



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE DOS PROYECTOS  
DIDÁCTICOS PARA LA ASIGNATURA DE  
DISEÑO Y MANUFACTURA ASISTIDOS POR  
COMPUTADORA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A N :

LUIS ISRAEL CORELLA VÁZQUEZ  
JORGE LUIS RAMÍREZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS  
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ



CD. UNIVERSITARIA

FEBRERO 2011

A mis padres José Luis Corella y Adela Vázquez

Por compartirme sus conocimientos y experiencias, por su gran amor y cariño, por haberme apoyado en los momentos más difíciles y por enseñarme a no darme por vencido.

A mis hermanos José y Fabiola

Por su gran compañía, por compartirme su amor y por contagiarme de su alegría.

Con Cariño  
Israel Corella

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, a mis profesores y compañeros.

Al Dr. Vicente Borja:

Por haber sido nuestro director de tesis, por habernos brindado su ayuda, compartido sus conocimientos y consejos en la realización de este trabajo.

Jorge Luis:

Mi compañero de tesis por su apoyo y su dedicación en la realización de esta tesis.

Al Dr. Álvaro Ayala:

Sinodal y asesor, le agradezco el apoyo brindado en la implementación del presente trabajo.

A nuestros sinodales:

Al Ing. Bernardo Fontana y MI Mariano García del Gallego, por sus comentarios y sugerencias que ayudaron a mejorar este trabajo.

A los talleres de mecánica:

Les estoy muy agradecido a todas las personas que me ayudaron en la realización de este trabajo, a quienes que me apoyaron en los cálculos teóricos y en la fabricación de los prototipos, gracias Dr. Eduardo Garduño, Ing. Israel Garduño, MI Rogelio Gutiérrez, Ing. Mario Sandoval, MI Jesús Trenado.

Al Instituto de Ingeniería:

Le agradezco a MI. Germán Carmona, Joaquín, Alex G, Alex F, a Héctor Medina , por haberme ayudado, enseñado y compartido los buenos momentos.

A mis compañeros:

Este trabajo es la culminación de una etapa de mi vida, en donde conocí a muchos compañeros, personas realmente invaluable Griselda, Fernanda, Adriana, Izza, Schere, Marcos Anzorena, Isaac Ortega, Efrén Hernández, David Ramírez , Juan Carlos, Andrés, Vicente Miguel ,Edgar Soto, Aldo, Carlitos, Mucio, Carreto, Filos, Hector "Pato", Rodrigo, Carlos Zamora, José Bonfil, David Medina, chavos le agradezco su amistad.

Israel Corella

# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Descripción del problema</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Definición del problema</i>	3
2.2 <i>Objetivos</i>	4
2.3 <i>Alcances</i>	4
2.4 <i>Proceso de trabajo</i>	5
<b>3. Antecedentes</b>	<b>6</b>
3.1 <i>Diseño y manufactura asistidos por computadora</i>	6
3.2 <i>Aprendizaje basado en proyectos</i>	7
3.3 <i>Bombas de desplazamiento positivo</i>	9
3.4 <i>Motores de vapor</i>	12
<b>4. Diseño conceptual</b>	<b>16</b>
4.1 <i>Identificación de necesidades</i>	16
4.2 <i>Especificaciones</i>	17
4.3 <i>Propuestas</i>	18
4.4 <i>Evaluación</i>	34
4.5 <i>Conclusiones</i>	37
<b>5. Ingeniería de detalle de la bomba</b>	<b>39</b>
5.1 <i>Componentes</i>	39
5.3 <i>Diseño de la bomba</i>	39
5.4 <i>Fabricación del primer prototipo</i>	45

5.5 Evaluación del primer prototipo	47
5.6 Rediseño	48
5.7 Fabricación del segundo prototipo	49
5.8 Evaluación del segundo prototipo	51
<b>6. Ingeniería de detalle del motor de vapor</b>	<b>53</b>
6.1 Motor de vapor	53
6.2 Componentes	54
6.3 Diseño del motor	55
6.4 Fabricación del primer prototipo	59
6.5 Evaluación del primer prototipo	64
6.6 Rediseño	65
6.7 Fabricación del segundo prototipo	73
6.8 Evaluación del segundo prototipo	77
<b>7. Definición del ejercicio</b>	<b>79</b>
7.1 Integración en la asignatura	79
7.2 Experiencia de aplicación	80
7.3 Diseño autónomo	82
7.4 Diseño asistido	84
7.5 Diseño simplificado	86
7.6 Resumen	88
<b>8. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>89</b>
<b>Bibliografía y referencias</b>	<b>92</b>

# 1. Introducción

El uso de la computadora actualmente se ha vuelto esencial en operaciones de ingeniería e investigación y en los últimos años ha demostrado ser una herramienta poderosa en el diseño y la manufactura; por este motivo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM se imparte la asignatura de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora que tiene por objetivo que el alumno conozca y aplique las herramientas para el análisis interdisciplinario en el diseño y la manufactura, utilizando las técnicas y tecnologías en CAD-CAM-CAE. Este trabajo surge por la necesidad de crear dos ejercicios didácticos que sirvan de ayuda para la impartición de dicha asignatura.

El objetivo de los ejercicios es ayudar a los alumnos a establecer los alcances del proyecto que tienen que realizar para la asignatura así como darles una base de inicio para la realización del mismo, para que puedan realizar su proyecto de manera eficiente, que de otra manera sin esta ayuda los alumnos podrían complicar demasiado su proyecto, al grado de que no se pueda realizar en el tiempo que disponen los alumnos.

Estos ejercicios didácticos aplicarán la estrategia de aprendizaje basada en proyectos en la cual los estudiantes adquieren una mayor responsabilidad de su propio aprendizaje y en donde aplican, en proyectos reales, las habilidades y conocimientos adquiridos en el salón de clase; esta estrategia busca enfrentar a los alumnos a situaciones que los lleven a rescatar, comprender y aplicar aquello que aprenden como una herramienta para resolver problemas.

Este trabajo consta de 8 capítulos.

En el capítulo 2 Descripción del problema; se expone detalladamente el problema que se quiere resolver que es la generación de dos proyectos didácticos para la asignatura, los objetivos y alcances de este trabajo y el proceso de trabajo a emplear que es el método de innovación de productos.

En el capítulo 3 Antecedentes; se exponen temas que se consideran importantes para la comprensión de este trabajo y permitirán al lector ubicarse dentro del contexto del mismo, entre ellos se destaca el aprendizaje basado en proyectos y el diseño y manufactura asistidos por computadora.

En el capítulo 4 Diseño conceptual; se analiza el problema propuesto, se proponen varios proyectos como solución, se establecen parámetros para evaluar de manera teórica o abstracta el desempeño de estos y se seleccionan las propuestas más viables que son la bomba y el motor de vapor.

En el capítulo 5 Ingeniería de detalle de la bomba; se expone el desarrollo de una bomba de engranes externos mostrando sus componentes principales, cubriendo las etapas de diseño, manufactura de un primer prototipo, seguido del rediseño y la construcción de un segundo modelo.

En el capítulo 6 Ingeniería de detalle del motor de vapor; se expone el desarrollo de un motor de aire mostrando sus componentes principales, cubriendo las etapas de diseño, manufactura de un primer prototipo, seguido del rediseño y la construcción de un segundo modelo el cual funciona con aire comprimido.

En el capítulo 7 Definición del ejercicio; expone la experiencia adquirida en la implementación del proyecto del motor de aire en la asignatura, se dan ejemplos de como los proyectos abarcan los temas de programa de estudio y se recomiendan tres escenarios distintos para la aplicación de los dos proyectos en la asignatura.

En el capítulo 8 Conclusiones y recomendaciones; se discuten los resultados y se establecen recomendaciones para continuar con este tema.

## 2. Descripción del problema

### 2.1 Definición del problema

La asignatura de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora impartida para las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, busca orientar a los alumnos en la aplicación de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera, mostrándoles las teorías de diseño; y guiándolos en el uso de las paqueterías empleadas. Integra las fases del diseño desde la idea inicial, el bosquejo, su representación bi/tridimensional, CAD, la creación de la secuencia y el código para su manufactura, CAM, y los análisis realizados para comprender su funcionamiento, CAE.

Acorde al método de proyectos como técnica didáctica, los alumnos de esta asignatura en el transcurso del curso deben realizar varios proyectos que constan de la fabricación de prototipos o modelos físicos funcionales, en los cuales se apliquen las distintas etapas del proceso de diseño seguido en el curso. Estos están delimitados por el costo, las herramientas disponibles para su fabricación y el tiempo que el profesor decida asignar. Comúnmente se realizan dos proyectos por semestre.

Es frecuente que en la realización de dichos proyectos los alumnos de esta asignatura generen modelos estáticos o prototipos que contienen geometrías complejas, que son complicadas de manufacturar. Esto provoca que los trabajos no se terminen en el tiempo establecido y dificulta que los alumnos evalúen los diseños generados. Estas situaciones se han identificado como oportunidades para mejorar el desarrollo de los proyectos elaborados en el curso, para que los alumnos apliquen el método de innovación de productos, aprendan el manejo y las capacidades de los programas computacionales, y adquieran destreza en la operación de las máquinas herramienta utilizadas actualmente.

La relación CAD-CAM-CAE es tan estrecha que cualquier descuido en las primeras etapas es reflejado en las demás. El planteamiento del proyecto debe darles una base de inicio, limitar los alcances y garantizar que los temas a ver en el curso sean abarcados por el mismo.



Los modelos propuestos deben cumplir con las siguientes necesidades:

- Interesante para el curso
- Fácil de fabricar
- Realizable con las máquinas herramienta de la facultad
- Involucrar varios procesos
- Bajo costo
- Realizable en 4 semanas por un equipo de 3 personas
- Realizar una función y tener piezas móviles
- Las piezas a fabricar deben interactuar entre sí
- Debe demostrar de una forma clara alguna característica para que los alumnos puedan evaluar su diseño
- El modelo no debe utilizar sustancias peligrosas

## 2.2 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es generar dos ejercicios didácticos que permitan a los estudiantes que cursan la signatura de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora aprender el manejo y las capacidades de programas computacionales y máquinas herramientas relacionadas con la disciplina, esto con el fin de que puedan utilizar los conocimientos adquiridos en futuros proyectos.

Estos ejercicios didácticos consistirán en que a los alumnos se les presentará un modelo funcional o prototipo, para que fabriquen un prototipo basado en el y mejoren su funcionamiento o corrijan problemas.

Al aplicar el proceso de innovación de productos los alumnos cubrirán y reforzarán los temas vistos en el temario de la asignatura, expandiendo sus capacidades profesionales e incrementando el interés por la asignatura.

## 2.3 Alcances

El resultado de esta tesis será la generación de la documentación necesaria para la fabricación de los dos proyectos didácticos en los cuales se incluya la información relacionada con su diseño y manufactura.

Para cada proyecto esta documentación consta de:

- 1.- El modelo funcional
- 2.- Planos de las piezas del modelo

- 3.- Secuencia de ensamble del modelo
- 4.- Parámetros de diseño y manufactura

## 2.4 Proceso de trabajo

El proceso de trabajo empleado en la resolución de este problema es el método de innovación de productos (Borja, 2006), el cual consta de las siguientes etapas.

- Descripción del problema.- En esta sección se presenta claramente el problema que se pretende resolver.
- Diseño conceptual.- Se proponen y analizan distintas propuestas para los dos proyectos de manera teórica o abstracta para evaluar la facilidad de manufactura, la relevancia para el curso y la complejidad técnica. En esta etapa se seleccionan los dispositivos a realizar en los proyectos.
- Ingeniería de detalle.- Se diseñan los dispositivos seleccionados en la etapa anterior de acuerdo con la teoría existente para cada proyecto y con los métodos aplicables de CAD/CAM se realiza su secuencia de manufactura.
- Fabricación y prueba de prototipos.- Se construyen los prototipos de los dispositivos evaluando el tiempo necesario para realizar su manufactura, el costo de los materiales y las herramientas necesarias; se evalúa la eficiencia de funcionamiento y se decide si es conveniente el rediseño y la fabricación de un segundo prototipo.
- Evaluación y propuesta de aplicación.- Se evalúan las características de cada proyecto y se plantean recomendaciones para la aplicación de los proyectos en el curso.

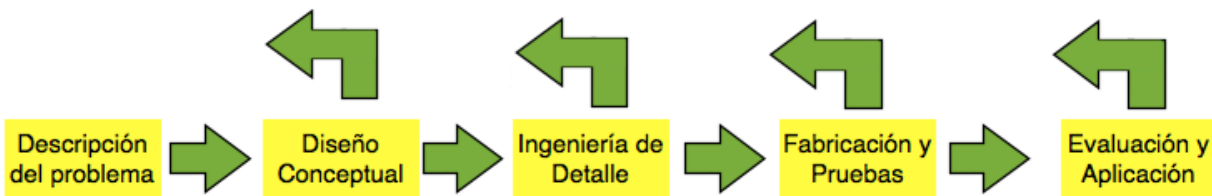


Figura 2.1. Proceso de trabajo

# 3. Antecedentes

En este capítulo se exponen temas que se consideran importantes para la comprensión de este trabajo, que permitirán al lector ubicarse en el contexto del mismo. Los temas se exponen de manera breve.

## 3.1 Diseño y manufactura asistidos por computadora

El uso de la computadora se ha vuelto esencial en operaciones de negocios, ingeniería, investigación y otras; y en los últimos años ha demostrado ser una herramienta poderosa en el diseño y la manufactura.

El Diseño Asistido por Computadora (CAD, *Computer-Aided Design*, por sus siglas en inglés) involucra a cualquier actividad de diseño en la cual se haga uso de la computadora para desarrollar, analizar o modificar diseños de ingeniería.

La Manufactura Asistida por Computadora (CAM, *Computer-Aided Manufacturing*, por sus siglas en inglés) implica el uso de las computadoras en varias actividades de manufactura. De manera general se refiere a las aplicaciones para resolver problemas de manufactura, como son:

- Control de las máquinas.
- Monitoreo de los equipos de fabricación.
- Simulación de los procesos de manufactura
- Comunicación entre las etapas de manufactura.

Estas dos disciplinas que nacieron separadas, se han integrado gradualmente de manera que los sistemas CAD/CAM son considerados como una disciplina única llamada Ingeniería Asistida por Computadora (CAE, *Computer-Aided Engineering*, por sus siglas en inglés)

Básicamente las condiciones que deben reunir los sistemas CAD/CAM/CAE pueden resumirse en (Mompín, 1986):

- El sistema debe ayudar al diseñador a realizar aquellas tareas en las que es más eficiente que él (rapidez en los cálculos realizados, almacenar grandes cantidades de información, mostrar información visual, etc.).
- El sistema debe ayudar en todos los procesos, desde el diseño conceptual hasta la manufactura.
- En la etapa de diseño conceptual, el sistema deberá facilitar una presentación efectiva del objeto diseñado.

Las ventajas obtenidas por el uso de estos sistemas son (Mompín, 1986):

- Se incrementa la productividad del diseñador.
- Se mejora la calidad del diseño.
- Se mejora la comunicación.
- Disminuyen los errores de documentación.

Para la formación de los futuros ingenieros, la Facultad de Ingeniería, UNAM, imparte la asignatura de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora para las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, que tiene como objetivo que: "El alumno conocerá y aplicará las herramientas para el análisis interdisciplinario en el diseño y la manufactura, utilizando las técnicas y tecnologías en CAD-CAM-CAE" (UNAM, 2008). El curso tiene una duración de 16 semanas y se imparte en 4 horas teóricas y 2 prácticas a la semana, y se ubica para la carrera de Ingeniería Mecánica en el noveno semestre y en el octavo semestre de la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

El curso se imparte siguiendo la estrategia del aprendizaje basado en proyectos; los alumnos desarrollan en equipo un proyecto de diseño de un producto, empleando los conocimientos adquiridos en el curso. A la fecha se ha trabajado sobre diversos proyectos pero no se ha obtenido el aprendizaje deseado, por lo que la definición del proyecto a realizar se ha visto como una oportunidad de mejora en el curso que puede impactar en forma relevante en el conocimiento significativo de los estudiantes.

### 3.2 Aprendizaje basado en proyectos

La estrategia de aprendizaje basado en proyectos (ITESM, 2004), emerge de una visión de la educación en la cual los estudiantes adquieren una mayor responsabilidad de su propio aprendizaje y en donde aplican, en proyectos reales, las habilidades y conocimientos adquiridos en el salón de clase.

Esta estrategia busca enfrentar a los alumnos a situaciones que los lleven a rescatar, comprender y aplicar aquello que aprenden como una herramienta para resolver problemas.

Cuando se utiliza esta estrategia de aprendizaje, los estudiantes estimulan sus habilidades más fuertes y desarrollan algunas nuevas.

Los estudiantes buscan soluciones a problemas no triviales al:

- Hacer y depurar preguntas.
- Debatir ideas.
- Hacer predicciones.
- Diseñar planes y/o experimentos.
- Recolectar y analizar datos.
- Establecer conclusiones.
- Comunicar sus ideas y descubrimientos a otros.
- Hacer nuevas preguntas.
- Crear artefactos.

Esta estrategia puede definirse como:

Un conjunto de atractivas experiencias de aprendizaje que involucran a los estudiantes en proyectos complejos y del mundo real, a través de los cuales desarrollan y aplican habilidades y conocimientos.

Estas experiencias en las que se ven involucrados hacen que aprendan a manejar y usar los recursos de los que disponen, como el tiempo y los materiales.

El trabajo con proyectos puede reducir la competencia entre los alumnos y permitir a los estudiantes colaborar, más que trabajar unos contra otros. Las condiciones en que se desarrollan los proyectos permiten al alumno desarrollar habilidades de colaboración, en lugar de competencia ya que la interdependencia y la colaboración son cruciales para lograr que el proyecto funcione.

Además, los proyectos pueden cambiar el enfoque del aprendizaje, pues se cambia de la simple memorización de hechos a la exploración de ideas.

Al trabajar con proyectos, el alumno aprende a investigar utilizando las técnicas propias de las disciplinas en cuestión, llevándolo así a la aplicación de estos conocimientos a otras situaciones.

El método de proyectos permite diversas aproximaciones al aprendizaje, ya que:

- Ofrece múltiples maneras para los estudiantes de participar y demostrar su conocimiento.

- Permite a los estudiantes alejarse de aquello que hacen cotidianamente.

- Los proyectos son un contexto ideal para aprender a usar la tecnología computarizada y las herramientas de artes gráficas, extendiendo así las capacidades de los estudiantes, preparándolos para el ejercicio de su profesión.

Cuando se usa la tecnología en los proyectos:

Se expanden las capacidades de los estudiantes para presentar y manipular la información.

Se incrementa el interés profesional de los estudiantes.

Se multiplican los medios en que los estudiantes pueden, como individuos, contribuir en proyectos de trabajo.

### 3.3 Bombas de desplazamiento positivo

La siguiente información se presenta como un antecedente para el capítulo 5 de este trabajo.

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc; y la armadura o el cilindro. "El movimiento del desplazamiento positivo" consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes como rotatorias, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y después disminuye volumen (impulsión), por esto a éstas máquinas también se les denomina "volumétricas". Estas bombas no tienen límite de presión máxima de impulsión, esta presión de salida puede llegar a valores que ponen en peligro la integridad de la bomba si el conducto de escape se cierra completamente. Para garantizar el funcionamiento seguro de ellas, es necesario la utilización de alguna válvula de seguridad que derive la salida en caso de obstrucción del conducto.

Si el ajuste es apropiado, estas bombas pueden bombear el aire de su interior y con ello, crear la suficiente depresión en el conducto de admisión para succionar el líquido a bombear desde niveles más bajos que la posición de la bomba, aun cuando estén llenas de aire. Se caracterizan porque el caudal de bombeo casi no es afectado por la presión de funcionamiento.

Algunos ejemplos de estas bombas son (VIEJO, 2004):

1.- Bombas reciprocantes o de émbolo: La figura 3.1 muestra una bomba reciprocante el funcionamiento de esta depende del llenado y vaciado sucesivo de cilindros de volumen fijo, para lo cual cierta cantidad de líquido es obligada a entrar

al cuerpo de la bomba en donde queda encerrada momentáneamente, para después ser forzada a salir por la tubería de descarga. De lo anterior se deduce, en términos generales, que el gasto de una bomba reciprocante es directamente proporcional a su velocidad de rotación y casi independiente de la presión de bombeo.

Estas bombas no son apropiadas para manejar líquidos que contengan arenas o materias en suspensión. El efecto de llenado y vaciado de los cilindros produce variaciones pulsantes de presión en las tuberías de salida y entrada que pueden deteriorar ciertos componentes de la instalación.

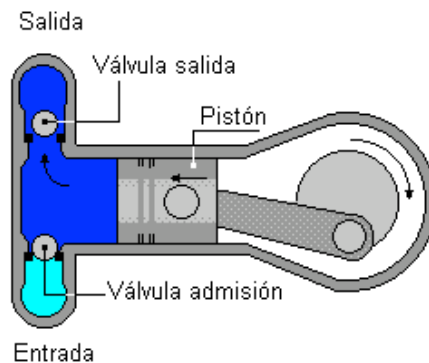


Figura 3.1. Bomba reciprocante

2.- Bomba de engranes: Hay diferentes variantes de las bombas de engranes, pero la más común es la bomba de engranes externos como la que se ilustra en la figura 3.2. En un carcasa cerrada están colocados dos engranes acoplados de manera que la holgura entre estos y la carcasa sea muy pequeña.

El accionamiento de la bomba se realiza por un árbol acoplado a uno de los engranes y que sale al exterior. Este engrane motriz arrastra el otro engrane que gira libremente.

Los engranes al girar atrapan el líquido en el volumen de la cavidad de los dientes en uno de los lados del cuerpo, zona de succión, y lo trasladan confinado por las escasas holguras hacia el otro lado. En este otro lado, zona de impulsión, el líquido es desalojado de la cavidad por la entrada del diente del engrane conjugado, por lo que se ve obligado a salir por el conducto de descarga.

La presión a la salida en estas bombas es pulsante como en las bombas reciprocantes, pero los pulsos de presión son en general menores en magnitud y más frecuentes. Este tipo de bombas es muy utilizado para la impulsión de aceites lubricantes en las máquinas y los sistemas de accionamiento hidráulico.

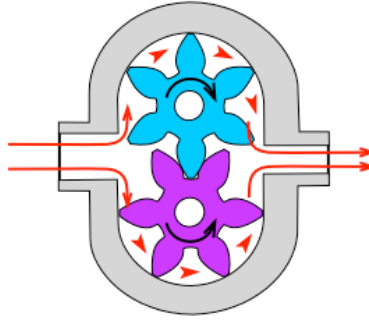


Figura 3.2. Bomba de engranes externos

3.- Bomba de lóbulos: Funcionan de manera similar a la de engranes con la ventaja de que desplazan un mayor volumen por revolución, pero con la necesidad de tener un sistema que sincronice el movimiento de los lóbulos, generalmente su costo es mayor y sus prestaciones de presión y velocidad son inferiores a las de las bombas de engranes. En la figura 3.3 se muestra un esquema de este tipo de bombas.

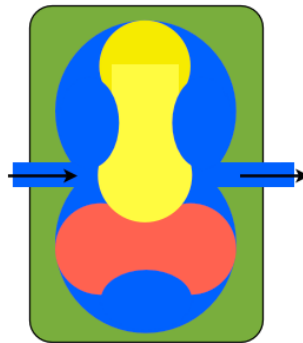


Figura 3.3. Bomba de Lóbulos

4.- Bombas de paletas: Una bomba de paletas como la de la figura 3.4 consta de una carcasa con una cavidad interior cilíndrica en la que se encuentra un rotor giratorio excéntrico por donde entra el movimiento a la bomba. En este rotor se han practicado unos canales que albergan a paletas deslizantes, construidas de un material resistente a la fricción. Cada paleta es empujada por un resorte colocado en el fondo del canal respectivo contra la superficie interior de la cavidad del cuerpo. Este resorte elimina la holgura entre la paleta y el interior de la bomba, con independencia de la posición del rotor, y además compensa el desgaste que puede producirse en ellas con el uso prolongado.

Cuando el rotor excéntrico gira, los espacios entre las paletas se convierten en cámaras que atrapan el líquido en el conducto de entrada, y lo trasladan al conducto de salida. Observe que, debido a la excentricidad, del lado de la entrada,



la cámara se agranda con el giro y crea succión, mientras que del lado de la salida, la cámara se reduce y obliga al líquido a salir presurizado.

La debida hermeticidad de las paletas y el cuerpo se garantiza por la presión del resorte colocado entre ellas.

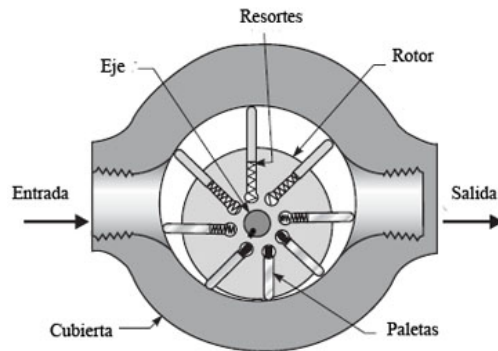


Figura 3.4. Bomba de paletas

### 3.4 Motores de vapor

La siguiente información se presenta como un antecedente para el capítulo 6 de este trabajo.

Clasificación de los motores de vapor

Las designaciones más comunes para los motores de vapor son las siguientes:

Por la disposición de la bancada:

- Horizontales
- Verticales

Por el número de cilindros para la expansión del vapor:

- Mono cilíndricos
- De dos cilindros
- De tres cilindros, etc.

Por el número de caras del embolo sobre las que actúa el vapor:

- Simple efecto
- Doble efecto.

Por la relación de la carrera y el diámetro del pistón:

Larga  
Corta

Por el escape:

Con condensador

Sin condensador

Teoría de funcionamiento y comportamiento (UNAM, 1953).

Un motor de vapor está constituido esencialmente por un mecanismo corredera-biela-manivela, donde el radio de acción es infinito o el centro instantáneo de movimiento de la corredera se encuentra en el infinito debido a que corresponde al movimiento recíprocamente de un pistón dentro de un cilindro o camisa. Este mecanismo se muestra en la figura 3.5

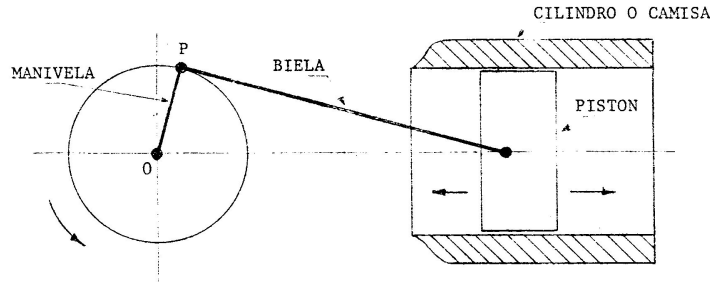


Figura 3.5 Modelo del motor de vapor

Por lo general, la manivela no es un vástago sencillo que gira y que tiene su centro en "O", sino que existe una masa completa a la que se fija la biela (se le conoce como cigüeñal) y en cuyo centro de giro se extiende una flecha que recibe el movimiento angular de la manivela.

Debe existir un mecanismo adicional que permita tanto la entrada de vapor al cilindro en el momento preciso en que se inicie la carrera en sentido positivo, como la salida del fluido al iniciarse la carrera de retorno. Este problema se puede solucionar con un juego de válvulas, llamadas de admisión y escape según su finalidad; cuya abertura y cierre se sincronizan con el movimiento del pistón, por lo general acoplándose al cigüeñal por medio de otra manivela o a través de engranes, de tal manera que al inicio de la carrera positiva del émbolo la válvula de admisión esté abierta, y la de escape cerrada. Antes de la mitad de la carrera esta válvula se cierra siguiendo, a continuación, el proceso de expansión del vapor. La misma inercia del mecanismo (la cual puede aumentarse por medio de volantes de inercia) obliga al émbolo a comenzar la carrera en sentido negativo y es aquí donde se acciona la válvula de escape para permitir el barrido del vapor que ya ha cedido su energía.

Poco después de la mitad de la carrera de retorno se cierra la válvula de escape, se comprime el poco vapor que queda dentro del cilindro y al llegar al extremo (punto muerto superior) la válvula de admisión se abre nuevamente, completándose, de esta manera, el ciclo de la máquina. Estos procesos se presentan en la figura 3.6 en diagramas de presión-volumen y temperatura-entropía, los procesos son:

1-2 Proceso isobárico, en él ocurre la admisión del vapor; el paso del fluido es directo desde la fuente de suministro.

2-3 Proceso isentrópico de expansión del vapor, en él se desarrolla el trabajo del ciclo. Se efectúa desde la presión de admisión hasta la del escape (presión atmosférica o del condensador).

3-4 Proceso isobárico de expulsión del vapor hacia el exterior del cilindro, en éste se absorbe cierta cantidad de trabajo.

4-1 Proceso isentrópico que corresponde al cierre de la válvula de escape y a cierta compresión del vapor residual.

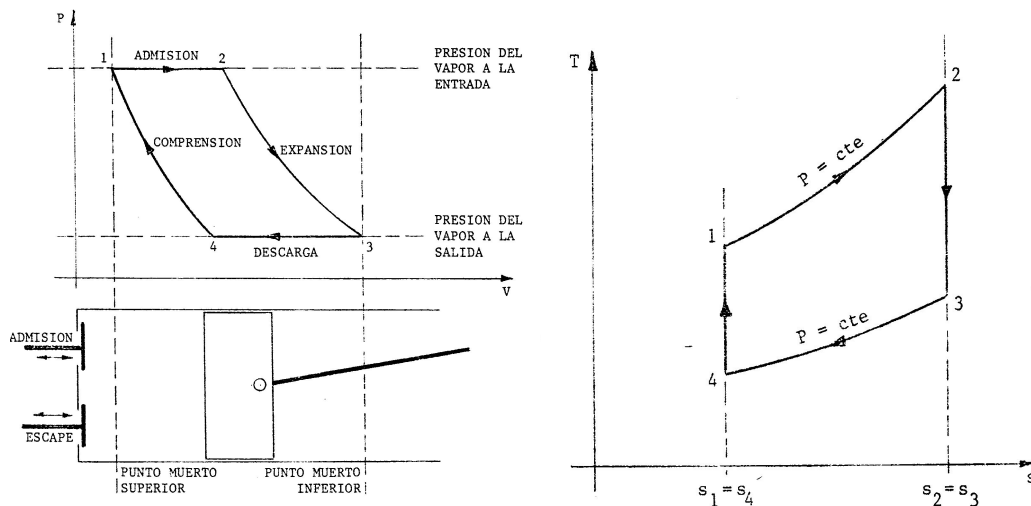


Figura 3.6 Diagramas presión-volumen y temperatura-entropía

La energía que absorbe el émbolo se transmite por la biela hasta la manivela o cigüeñal en donde la flecha, ahí acoplada, entregará el trabajo del motor de vapor en forma de un par a cierta velocidad angular.

Aplicaciones del motor de vapor

La aplicación industrial que antiguamente se le daba al motor de vapor (movimiento de maquinaria, bombas, ventiladores, generadores, etc.) ha sido desplazada principalmente por la utilización de la turbina de vapor. Las desventajas esenciales que han motivado esta situación son, primordialmente, el gran volumen que ocupa un motor de vapor con respecto a la potencia desarrollada, la eficiencia relativamente baja, las vibraciones que se originan por el movimiento recíprocante, etc. Por otro lado, el motor de vapor se escoge en casos en que se requiere desarrollar un alto par a muy bajas velocidades (inferiores a 300 rpm), o tener un equipo donde sea fácil y rápida (casi instantánea) la reversibilidad del sentido de rotación, o cuando se necesitan equipos auxiliares de fuerza teniendo una gran cantidad de calor disponible para otros procesos, o si se desea trabajar a bajas presiones, etc. Otra ventaja de este tipo de motores es su larga vida (debida a la ausencia de altas temperaturas y a la uniformidad de éstas, además de carecer de ondas de presión agudas), lo que origina que sea factible encontrar un motor de vapor en operación desde hace muchos años para robustecer la economía interna de una industria.

Lo anterior permite afirmar que el motor de vapor puede utilizarse, entre otras industrias, en la del papel, textil, azucarera y huleira; así como para el accionamiento de potentes prensas y molinos, y donde el vapor de escape se requiere para efectuar procesos químicos; también se utiliza en la industria del acero para martinets de golpeo y, por lo general, donde el vapor se genera a partir de los gases de escape de los hornos de fundición y tratamientos térmicos, etc.

# 4. Diseño conceptual

## 4.1 Identificación de necesidades

Las necesidades que debe satisfacer este trabajo se identificaron después de haber asistido y colaborado en las clases de la asignatura, del cuestionamiento a los alumnos que habían tomado el curso y de la revisión de proyectos anteriores. La interacción que se tuvo con los alumnos y profesores ayudó a determinar los puntos clave con los que se cumplirían los objetivos previamente establecidos.

En la tabla 4.1 se enumeran las necesidades, la importancia de estas se asignó bajo una escala de 1 a 5 donde 1 representa a las necesidades de mayor importancia mientras que 5 las de menos importancia; las necesidades de mayor importancia son aquellas que atraigan el interés y la atención de los alumnos hacia el proyecto y la asignatura.

Tabla 4.1 Necesidades del proyecto

No.		Necesidades	Importancia relativa
1	Los proyectos	Deben realizar una función y tener piezas móviles.	1
2	Los proyectos	Deben poseer alguna característica de funcionamiento medible.	1
3	Los proyectos	Deben tener piezas que interactúen entre si	1
4	Los proyectos	Deben provocar interés hacia el curso.	2
5	Los proyectos	Deben involucrar varios procesos.	2
6	Los proyectos	Deben ser realizados en un periodo determinado de tiempo.	3
7	Los proyectos	Deben ser realizados en equipo.	3
8	Los proyectos	Deben ser de fácil fabricación.	4
9	Los proyectos	Deben realizarse con las máquinas herramientas de la facultad.	4
10	Los proyectos	Deben ser de bajo costo.	5

## 4.2 Especificaciones

Tomando en cuenta estas necesidades, se establecieron las especificaciones que se muestran en la tabla 4.2, para evaluar por medio de una métrica las necesidades del proyecto, cada especificación esta respaldada por una o mas necesidades; la importancia relativa de una especificación se asigna de acuerdo con la importancia relativa de la necesidad de la cual proviene. A cada especificación se le asigno un valor ideal que representa la métrica objetivo de esta.

Tabla 4.2 Especificaciones del proyecto

No.	Especificación	Unidades	Valor ideal	Importancia relativa	Necesidad
1	Parámetros medibles en operación	Número	1	1	8,9
2	Piezas en operación conjunta	Número	3	1	10
3	Piezas móviles	Número	2	1	8
4	Procesos de manufactura	Número	3	2	4
5	Temas del curso afines	Número	4	2	1
6	Relación con otras asignaturas	Número	2	2	1
7	Tiempo de realización	Horas	36	3	6, 7
8	Operaciones de manufactura	Número	8	4	2
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	4	3
10	Costo máximo	Pesos	600	5	5

A continuación se detallan ciertos aspectos de las especificaciones.

Las máquinas herramientas disponibles para los alumnos son las siguientes:

1. Fresadora VMC-300
2. Fresadora VMC-100
3. Torno EMC-242
4. Máquina de electro erosionado
5. Máquina de prototipos rápidos en ABS
6. Máquina de prototipos rápidos en polvo cerámico.

Los temas a cubrir dentro del curso son (UNAM, 2008):

1. Modelado tridimensional de modelos sólidos.

2. Ensamble de modelos sólidos
3. Simulación de mecanismos
4. Simulación de inyección de plástico
5. Análisis de esfuerzos
6. Secuencias de maquinado
7. Programación de máquinas herramienta CNC

Asignaturas del plan de estudios con las que los proyectos pueden tener relación:

1. Dibujo
2. Análisis de Mecanismos
3. Análisis Dinámico de Maquinaria
4. Dinámica de Fluidos
5. Diseño de Elementos de Máquinas
6. Mecánica de Sólidos

Los proyectos pueden tener relación con otras asignaturas del plan de estudios pero se seleccionaron estas porque se considera que tienen mayor relación con el curso y ayudaran en la integración de conocimientos en esta asignatura.

### 4.3 Propuestas

Teniendo en cuenta las especificaciones planteadas en la sección anterior se realizó una búsqueda exhaustiva de información en las siguientes fuentes:

Internet  
Librerías  
Jugueterías  
Museos  
Proyectos de otras asignaturas  
Proyectos generados con anterioridad en esta asignatura  
Alumnos  
Profesores

Como resultado de esta búsqueda se eligieron los siguientes productos que presentamos a continuación como propuestas para la solución del problema:

- 1.- Tren/Carrito
- 2.- Helicóptero
- 3.- Bomba de agua
- 4.- Barco
- 5.- Motor de vapor

- 6.- Máquina de sellos
- 7.- Turbina
- 8.- Brazo Robótico
- 9.- Catapulta
- 10.- Avión
- 11.- Sacapuntas
- 12.- Pistola de agua
- 13.- Aspersor para regar plantas
- 14.- Molde de inyección

A continuación se describe cada propuesta y se hace un estimado de su desempeño.

#### 4.3.1 Tren/Carrito

El proyecto consiste en crear un sistema que transmita la potencia de un motor eléctrico a las ruedas de un vehículo, por medio de engranes o poleas. El sistema de transmisión y el chasis del vehículo son los elementos a diseñar y manufacturar. En la figura 4.1 se muestra una propuesta de este proyecto.



Figura 4.1. Propuesta de carro

El desempeño de los vehículos fabricados podrán evaluarse midiendo la distancia recorrida en un periodo de tiempo determinado.

La evaluación de las especificaciones para este proyecto se encuentra en la tabla 4.3



Tabla 4.3. Especificaciones del carrito

No.	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Velocidad
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	2	Engranajes
3	Piezas móviles	Número	2	
4	Procesos de manufactura	Número	2	Fresa, Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	5	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	2	Dibujo, mecanismos
7	Tiempo de realización	Horas	25	
8	Operaciones de manufactura	Número	4	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	300	

#### 4.3.2 Helicóptero

El proyecto consiste en crear un sistema que transmita la potencia de un motor eléctrico al eje de un rotor, por medio de engranes o poleas con el fin de crear sustentación aerodinámica, el sistema de transmisión, el chasis del vehículo y el rotor son los elementos a diseñar y manufacturar. En la figura 4.2 se presenta una propuesta de este proyecto.

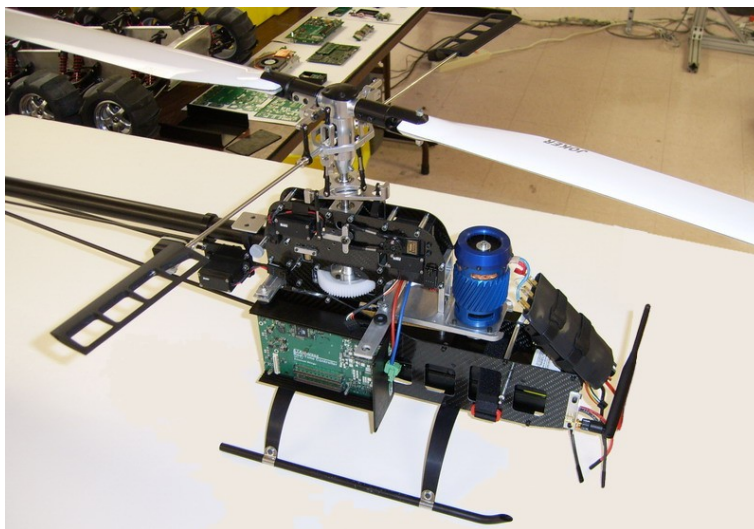


Figura 4.2. Propuesta de helicóptero

El desempeño de los vehículos fabricados podría evaluarse midiendo la carga que pueda elevar el helicóptero.

La evaluación de las especificaciones para este proyecto se encuentra en la tabla 4.4

Tabla 4.4. Especificaciones del helicóptero

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Velocidad
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	0	
3	Piezas móviles	Número	2	
4	Procesos de manufactura	Número	2	Fresa, Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	5	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	2	Dibujo, mecanismos
7	Tiempo de realización	Horas	50	
8	Operaciones de manufactura	Número	4	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	800	

### 4.3.3 Bomba de agua

El proyecto consiste en utilizar la energía de una fuente externa para mover una bomba de engranes como la de la figura 4.3. Los elementos a manufacturar son la armadura de la bomba y los impulsores del fluido.

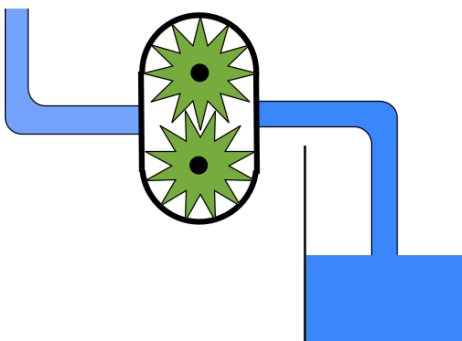


Figura 4.3. Boceto de bomba

El desempeño de la bomba se evaluara midiendo la cantidad de fluido desplazado a una altura determinada en un tiempo determinado.

La evaluación de las especificaciones para este proyecto se encuentra en la tabla 4.5

Tabla 4.5. Especificaciones de la bomba

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	2	Gasto, Potencia
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	3	Engranajes
3	Piezas móviles	Número	2	
4	Procesos de manufactura	Número	2	Fresa, Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	7	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	2	Dibujo, mecanismos
7	Tiempo de realización	Horas	41	
8	Operaciones de manufactura	Número	3	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	500	

#### 4.3.4 Barco

El proyecto consiste en crear un sistema que transmita la potencia de un motor eléctrico hacia el impulsor de un barco con el fin de impulsarlo por el agua. El sistema de transmisión, y el casco del barco son los elementos a manufacturar. Una propuesta de este sistema se encuentra en la figura 4.4.

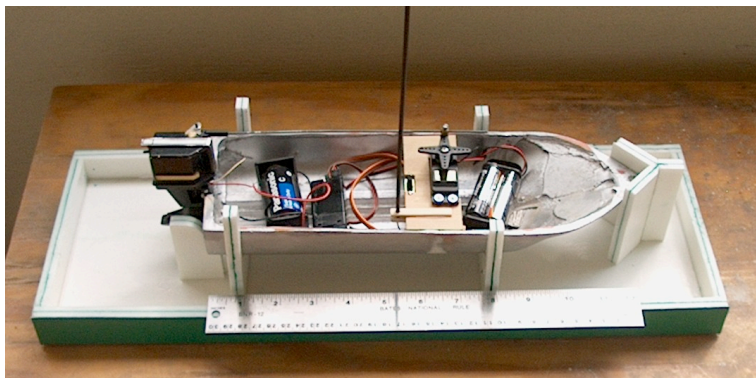


Figura 4.4. Propuesta de barco

El desempeño de los vehículos fabricados podrán evaluarse midiendo la distancia recorrida en un periodo de tiempo determinado.

La evaluación de las especificaciones para este proyecto se encuentra en la tabla 4.6

Tabla 4.6. Especificaciones del barco

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Velocidad
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	0	
3	Piezas móviles	Número	1	Hélice
4	Procesos de manufactura	Número	1	Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	4	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	3	Dibujo, mecanismos, fluidos
7	Tiempo de realización	Horas	15	
8	Operaciones de manufactura	Número	1	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	300	

#### 4.3.5 Motor de vapor

El proyecto consiste en crear una modelo a escala de un motor de vapor como el de la figura 4.5. El mecanismo cilindro-pistón, el sistema de generación y admisión de vapor son los elementos a fabricar.

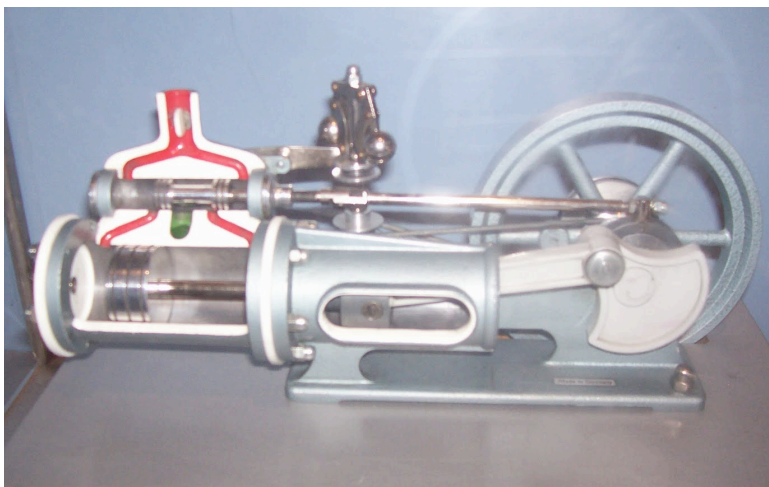


Figura 4.5. Propuesta de motor

El desempeño de los motores podrá evaluarse midiendo la potencia generada por estos.

La evaluación de las especificaciones para este proyecto se encuentra en la tabla 4.7

Tabla 4.7. Especificaciones del motor de vapor

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Potencia
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	4	
3	Piezas móviles	Número	3	
4	Procesos de manufactura	Número	3	Fresa, Prototipos rápidos, Torno
5	Temas del curso afines	Número	7	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	3	Dibujo Mecanismos, ADM
7	Tiempo de realización	Horas	41	
8	Operaciones de manufactura	Número	8	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	500	

#### 4.3.6 Máquina de sellos

Crear una máquina que corte pequeñas piezas de una tira de papel mediante un troquel que es accionado por un motor eléctrico. En el caso de requerir demasiada potencia para cortar el papel se marcará una figura con un sello. En la figura 4.6 se presenta un concepto de este proyecto.

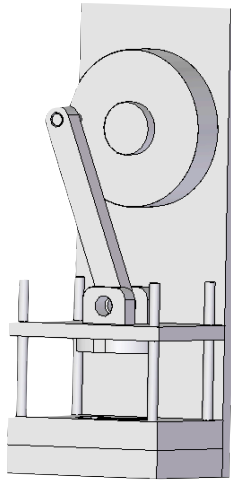


Figura 4.6. Propuesta de troquel

El desempeño de los proyectos se evaluará al medir cuantos sellos por minuto puede estampar la máquina.

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Especificaciones de la máquina de sellos

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Número de piezas
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	4	
3	Piezas móviles	Número	3	
4	Procesos de manufactura	Número	3	Fresa, Prototipos rápidos, Torno
5	Temas del curso afines	Número	7	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	3	Dibujo Mecanismos, ADM
7	Tiempo de realización	Horas	55	
8	Operaciones de manufactura	Número	12	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	750	

### 4.3.7 Turbina

Este proyecto consiste en construir una turbina como la de la figura 4.7 que ocupe el flujo de un compresor de aire para producir movimiento en un eje. Los elementos a manufacturar son el rotor y el eje de la turbina, opcionalmente podrá hacerse una armadura que dirija el flujo de aire hacia el fluido.



Figura 4.7. Propuesta de turbina

El desempeño de las turbinas se evaluará al medir la potencia que desarrollan para un mismo flujo de aire.

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Especificaciones de la turbina

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Potencia
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	0	
3	Piezas móviles	Número	1	
4	Procesos de manufactura	Número	2	Prototipos rápidos, Torno
5	Temas del curso afines	Número	6	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	3	Dibujo Fluidos, ADM
7	Tiempo de realización	Horas	50	
8	Operaciones de manufactura	Número	2	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	1250	

### 4.3.8 Brazo Robótico

Este proyecto consiste en crear un brazo robótico que pueda recoger un peso en una posición y lo deposite en otra posición. El movimiento del brazo se lograría a través de motores eléctricos que muevan los elementos del mismo. Las partes a manufacturar son las bases de acoplamiento de los motores, el mecanismo de transmisión de movimiento, y el sistema de control. La figura 4.8 presenta un ejemplo de este brazo robótico.

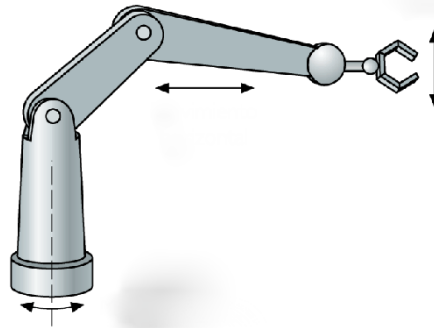


Figura 4.8. Ejemplo de brazo robótico

El proyecto se evaluará midiendo el tiempo que tarda en realizar una acción simple como recoger un peso y dejarlo en otra posición.

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Especificaciones del brazo robótico

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Tiempo de operación
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	5	
3	Piezas móviles	Número	3	
4	Procesos de manufactura	Número	2	Fresa, Prototipos rápidos,
5	Temas del curso afines	Número	7	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	2	Dibujo Mecanismos,
7	Tiempo de realización	Horas	70	
8	Operaciones de manufactura	Número	15	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	1200	



### 4.3.9 Catapulta

El proyecto consiste en fabricar una catapulta tipo trabuquete como la de la figura 4.9 que lance un peso establecido. Los elementos a manufacturar son el eje de giro y el brazo de la catapulta.

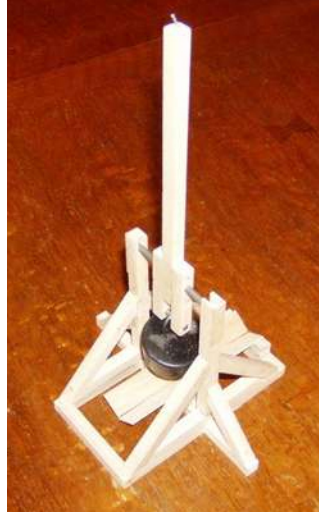


Figura 4.9. Ejemplo de catapulta

El proyecto se evaluara al medir la distancia de lanzamiento de un objeto y la dispersión de los lanzamientos.

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Especificaciones de la catapulta

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	2	Distancia, dispersión
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	0	
3	Piezas móviles	Número	1	
4	Procesos de manufactura	Número	1	Torno
5	Temas del curso afines	Número	4	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	1	Dibujo.
7	Tiempo de realización	Horas	25	
8	Operaciones de manufactura	Número	2	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	300	

### 4.3.10 Avión

El proyecto consiste en fabricar un modelo a escala de un planeador como el de la figura 4.10. Los elementos a manufacturar corresponden a las plantillas del perfil aerodinámico y un andamiaje para su fabricación.

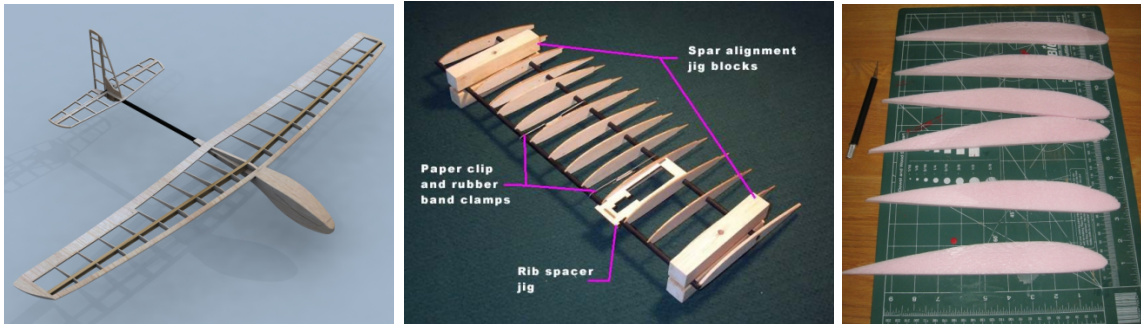


Figura 4.10. Planeador, andamiaje de fabricación, plantillas de perfil

El desempeño de los trabajos realizados podrá evaluarse midiendo la distancia recorrida por cada planeador

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Especificaciones del planeador

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Distancia.
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	0	
3	Piezas móviles	Número	0	
4	Procesos de manufactura	Número	1	Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	5	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	3	Dibujo, mecanismos
7	Tiempo de realización	Horas	75	
8	Operaciones de manufactura	Número	15	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	1000	

### 4.3.11 Sacapuntas

El proyecto consiste en crear un sistema que transmita la potencia de un motor eléctrico al mecanismo de un sacapuntas manual como el de la figura 4.11 por medio de engranes o poleas. El sistema de transmisión y sujeción son los elementos a diseñar y manufacturar. La

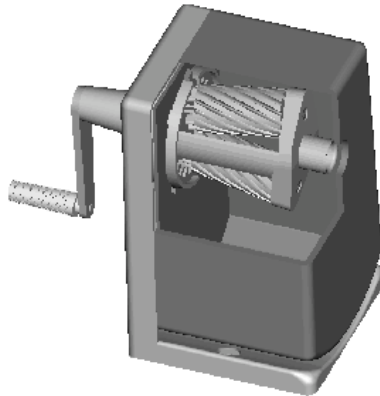


Figura 4.11. Boceto de sacapuntas

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.13.

Tabla 4.13. Especificaciones del sacapuntas

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	0	No hay parámetros de fácil medición.
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	2	Engranes
3	Piezas móviles	Número	2	
4	Procesos de manufactura	Número	1	Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	4	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	2	Dibujo, mecanismos
7	Tiempo de realización	Horas	25	
8	Operaciones de manufactura	Número	1	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	200	

### 4.3.12 Pistola de Agua

El proyecto consiste en diseñar un dispositivo que permita presurizar un depósito de agua y un gatillo que permita la expulsión del agua a presión.



Figura 4.12. Concepto de pistola de agua

El desempeño de las pistolas fabricadas podrá evaluarse midiendo la presión alcanzada en el depósito de agua.

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.14

Tabla 4.14. Especificaciones de la catapulta

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Presión
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	2	Cilindro de presión
3	Piezas móviles	Número	2	
4	Procesos de manufactura	Número	3	Torno, Fresa, Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	7	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	3	Dibujo, Mecanismos, Mecánica de Fluidos
7	Tiempo de realización	Horas	40	
8	Operaciones de manufactura	Número	6	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	500	

### 4.3.13 Aspersor

El proyecto consiste en crear un sistema que permita regular la salida de agua proveniente de una línea de suministro, así como ajustar el chorro de salida de agua desde concentrado a nebulizado. Los elementos a manufacturar son el mecanismo regulador de flujo de agua y el sistema de ajuste de salida del chorro. En la figura 4.13 se presenta un concepto de este aspersor.

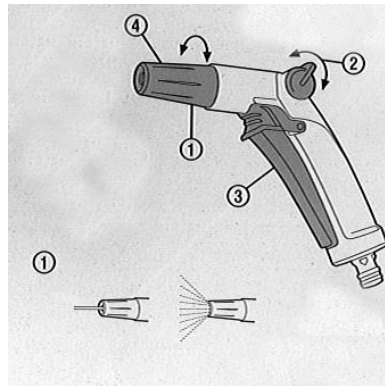


Figura 4.13. Concepto de aspersor

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.15.

Tabla 4.15. Especificaciones del aspersor de agua

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	0	No hay parámetros de fácil medición.
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	3	Boquilla, válvula, cuerpo.
3	Piezas móviles	Número	3	
4	Procesos de manufactura	Número	3	Torno, Fresa, Prototipos rápidos
5	Temas del curso afines	Número	7	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	2	Dibujo, Mecanismos Mecánica de fluidos
7	Tiempo de realización	Horas	30	
8	Operaciones de manufactura	Número	4	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	200	

#### 4.3.14 Molde para inyección de plástico

El proyecto consiste en diseñar y fabricar un molde de inyección de un producto de plástico previamente establecido. Los elementos a diseñar y manufacturar son los moldes de inyección, el sistema de distribución de plástico líquido y el sistema de sujeción del molde a la maquina de inyección. La figura 4.14 muestra un ejemplo de esto.

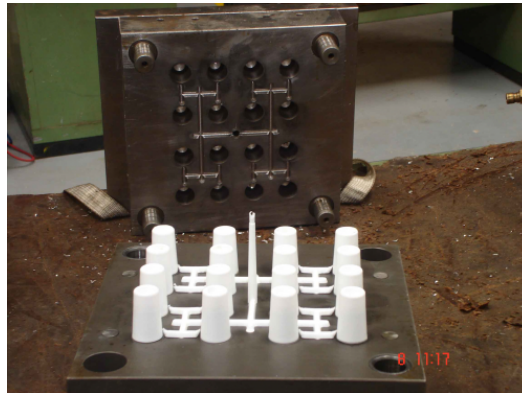


Figura 4.14. Molde de inyección

La evaluación de las especificaciones se encuentra en la tabla 4.16.

Tabla 4.16. Especificaciones del molde de inyección

Número	Especificación	Unidades	Valor estimado	Nota
1	Parámetros medibles en operación	Número de parámetros	1	Tiempo de inyección
2	Piezas de operación conjunta	Número de piezas	2	
3	Piezas móviles	Número	0	
4	Procesos de manufactura	Número	1	Fresa.
5	Temas del curso afines	Número	5	
6	Relación con otras asignaturas	Número de asignaturas	1	Dibujo.
7	Tiempo de realización	Horas	55	
8	Operaciones de manufactura	Número	2	
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	
10	Costo	Pesos	600	

Se concentran los valores estimados de los proyectos en la tabla 4.17

Tabla 4.17 Valores estimados de los proyectos.

No.	Criterio	Valores ideales	Carrito	Helicóptero	Bomba de agua	Barco	Motor de vapor	Maquina de sellos	Turbina	Brazo robótico	Catapulta	Avión	Sacapuntas	Pistola de agua	Asoersor	Molde de inyección
1	Parámetros medibles en operación	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	0	1	0	1
2	Piezas en operación conjunta	3	2	0	3	0	4	4	0	8	0	0	2	2	3	2
3	Piezas móviles	2	2	2	2	1	3	3	1	3	1	0	2	2	3	0
4	Procesos de manufactura	3	2	2	2	1	3	3	2	2	1	2	1	3	3	1
5	Temas del curso afines	5	5	5	7	4	7	7	6	7	4	5	4	7	7	5
6	Relación con otras asignaturas	2	2	2	2	3	3	3	3	2	1	3	2	3	2	1
7	Tiempo de realización	36	25	50	41	15	41	55	50	90	25	75	25	40	30	55
8	Operaciones de manufactura	8	4	4	3	1	8	12	2	15	2	12	1	6	4	2
9	Manufactura externa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Costo máximo	600	300	800	500	300	500	750	1250	1200	300	1000	200	500	200	600

#### 4.4 Evaluación

En la sección 4.3 se expuso una serie de propuestas que podrían cumplir con las especificaciones del proyecto, para elegir las mejores propuestas se procedió a evaluarlas siguiendo un modelo de calificación ponderada para resaltar las diferencias entre las distintas propuestas (Ulrich, 2007).

A cada especificación se le asigna una importancia específica de acuerdo con su importancia relativa como se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Importancia relativa y específica

No.	Especificación	Importancia relativa	Importancia específica [%]
1	Parámetros medibles en operación	1	15
2	Piezas en operación conjunta	1	15
3	Piezas móviles	1	15
4	Procesos de manufactura	2	10
5	Temas del curso afines	2	10

No.	Especificación	Importancia relativa	Importancia específica [%]
6	Relación con otras asignaturas	2	10
7	Tiempo de realización	3	8
8	Operaciones de manufactura	4	6
9	Manufactura externa	4	6
10	Costo máximo	5	5

El valor estimado de las propuestas en cada especificación se traducirá a un desempeño numérico, este desempeño numérico se obtendrá por una interpolación lineal entre dos puntos conocidos, el primer punto de referencia corresponde al valor ideal de cada especificación y tiene un desempeño de 5; el segundo punto de referencia corresponde al valor menos favorable de cada especificación y se le asigna un desempeño numérico de cero.

En la tabla 4.19 se presenta el valor ideal y el valor menos favorable de cada especificación, estos valores se definieron con base en la experiencia de proyectos anteriores.

Tabla 4.19 Valores extremos de las especificaciones

No.	Especificación	Unidades	Valor ideal	Valor menos favorable
1	Parámetros medibles en operación	Número	1	0
2	Piezas en operación conjunta	Número	3	0
3	Piezas móviles	Número	2	0
4	Procesos de manufactura	Número	3	0
5	Temas del curso afines	Número	4	0
6	Relación con otras asignaturas	Número	2	0
7	Tiempo de realización	Horas	36	96
8	Operaciones de manufactura	Número	8	12
9	Manufactura externa	Número de operaciones	0	2
10	Costo máximo	Pesos	600	1000

Para definir la calificación total de cada proyecto el desempeño numérico se multiplicara por la importancia específica de cada especificación obteniéndose así el desempeño ponderado, la suma de estos será la calificación total de cada proyecto, por ejemplo:



Si en un proyecto el valor estimado del tiempo de realización es de 64 horas, haciendo una interpolación lineal entre los puntos (36,5) y (96,0) se obtiene que el desempeño numérico es de 2.7.

El desempeño ponderado será el resultado de multiplicar este valor por la importancia específica que en este caso es de 8%, por lo que el desempeño ponderado en esta especificación será de 21.3.

La calificación total de un proyecto es la suma de los desempeños ponderados en cada especificación.

En la tabla 4.20 se muestra el desempeño numérico de todos los proyectos.

Tabla 4.20. Desempeño numérico

No.	Criterio	Valores ideales	Carrito	Helicóptero	Bomba de agua	Barco	Motor de vapor	Maquina de sellos	Turbina	Brazo robótico	Catapulta	Avión	Sacapuntas	Pistola de agua	Asoersor	Molde de inyección
1	Parámetros medibles en operación	5	5	5	10	5	5	5	5	5	10	5	0	5	0	5
2	Piezas en operación conjunta	5	3.3	0	5	0	6.7	6.7	0	13.3	0	0	3.3	3.3	5	3.3
3	Piezas móviles	5	5	5	5	2.5	7.5	7.5	2.5	7.5	2.5	0	5	5	7.5	0
4	Procesos de manufactura	5	3.3	3.3	3.3	1.7	5	5	3.3	3.3	1.7	3.3	1.7	5	5	1.7
5	Temas del curso afines	5	5	5	7	4	7	7	6	7	4	5	4	7	7	5
6	Relación con otras asignaturas	5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	5	2.5	7.5	5	7.5	5	2.5
7	Tiempo de realización	5	5.9	3.8	4.6	6.8	4.6	3.4	3.8	0.5	5.9	1.8	5.9	4.7	5.5	3.4
8	Operaciones de manufactura	5	10	10	11.3	13.8	5	0	12.5	-3.8	12.5	0	13.8	7.5	10	12.5
9	Manufactura externa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	Costo máximo	5	8.8	2.5	6.3	8.8	6.3	3.1	-3.1	-2.5	8.8	0	10	6.3	10	5

En la tabla 4.21 se muestra el desempeño ponderado y la calificación total de todos los proyectos.

## 4.5 Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos en la matriz de decisión de la tabla 4.21 se concluyo que la bomba y el motor de vapor son las propuestas que presentan mayores posibilidades de éxito.

Debido a que las dos propuestas tienen calificaciones muy similares, que en el curso se desarrollan dos proyectos y que se ve la posibilidad de que los dos proyectos interactúen se decidió desarrollar ambos.

En los capítulos siguientes se presenta el diseño y manufactura de estos dos dispositivos.

Tabla 4.21. Desempeño ponderado

No.	Criterio	Valores ideales	Carrito	Helicóptero	Bomba de agua	Barco	Motor de vapor	Maquina de sellos	Turbina	Brazo robótico	Catapulta	Avión	Sacapuntas	Pistola de agua	Asensor	Molde de inyección
1	Parámetros medibles en operación	75	75	75	150	75	75	75	75	75	150	75	0	75	0	75
2	Piezas en operación conjunta	75	50	0	75	0	100	100	0	200	0	0	50	50	75	50
3	Piezas móviles	75	75	75	75	37.5	112.5	112.5	37.5	112.5	37.5	0	75	75	112.5	0
4	Procesos de manufactura	50	33.3	33.3	33.3	16.7	50	50	33.3	33.3	16.7	33.3	16.7	50	50	16.7
5	Temas del curso afines	50	50	50	70	40	70	70	60	70	40	50	40	70	70	50
6	Relación con otras asignaturas	50	50	50	50	75	75	75	75	50	25	75	50	75	50	25
7	Tiempo de realización	40	47.3	30.7	36.7	54	36.7	27.3	30.7	4	47.3	14	47.3	37.3	44	27.3
8	Operaciones de manufactura	30	60	60	67.5	82.5	30	0	75	-22.5	75	0	82.5	45	60	75
9	Manufactura externa	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
10	Costo máximo	25	43.8	12.5	31.3	43.8	31.3	15.6	-15.6	-12.5	43.8	0	50	31.3	50	25
	Suma total	500	514.4	416.5	618.8	454.4	610.4	555.5	400.9	539.8	465.3	277.3	441.5	538.6	541.5	374

# 5. Ingeniería de detalle de la bomba

En este capítulo se desarrolla el diseño y la manufactura del primer proyecto que consiste en una bomba de engranes externos, este tipo de bomba produce caudal al transportar un fluido entre los dientes de dos engranes acoplados. Uno de ellos es accionado por el eje de la bomba (motriz), y este hace girar al otro (libre), con esto se evita el uso de un sistema de sincronización.

## 5.1 Componentes

Los componentes principales de esta bomba los cuales se ilustran en la figura 5.2 son:

1. Armadura o carcasa
2. Engrane impulsor
3. Engrane libre
4. Eje de transmisión
5. Polea de impulso
6. Canales de entrada y salida del flujo

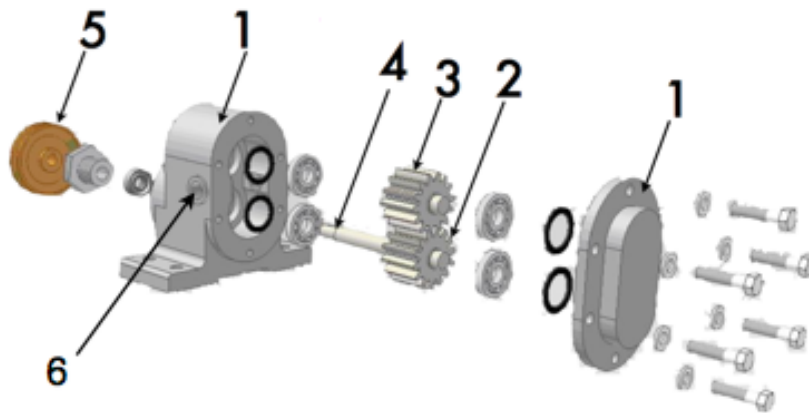


Figura 5.2. Componentes de la bomba de engranes

## 5.3 Diseño de la bomba

### 5.3.1 Dimensiones

Se establecieron las siguientes especificaciones para limitar el tamaño de la bomba y que sea factible su construcción.

- 1.- Se considerará una potencia de entrada de 3 W @ 250 rpm.

- 2.- Se usará una placa de 12.7 mm de espesor de aluminio para construir la armadura de la bomba, por lo que la profundidad máxima de maquinado se establece de 11 mm. El espesor de los engranes será de 8 mm.
- 3.- La altura de bombeo del agua se establece de 0.5 m.
- 4.- La relación de velocidad del eje de la bomba y el eje del motor es de 1:1.
- 5.- Se utilizarán engranes rectos con un ángulo de presión de 25° (MAITRA, 1994).
- 6.- Los engranes tendrán 12 dientes para evitar interferencia (MAITRA, 1994).
- 7.- Se seguirán las recomendaciones para engranes con dientes de altura completa de acuerdo con la norma española UNE 18016 (FAIRES, 1992).
- 8.- La eficiencia de los engranes se establece de 0.85 (FAIRES, 1992).

La potencia de la bomba ( $W_1$ ) es la suma de la potencia del engrane impulsor ( $W$ ) más la potencia consumido por el engrane libre ( $W$ ) entre la eficiencia del engrane ( $\eta$ ) o sea:

$$W_1 = W + \frac{W}{\eta}$$

La potencia del engrane se calcula como (WHITE, 2006):

$$W = V_d \omega \rho g h$$

Donde:

$W$  = Potencia [W]

$V_d$  = Volumen desplazado por revolución [ $\text{mm}^3$ ]

$\omega$  = Velocidad de la bomba [revoluciones/segundo]

$\rho$  = Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{mm}^3$ ]

$g$  = Aceleración de la gravedad = 9.81 [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$h$  = Altura de bombeo [m]

Con los siguientes datos:

$h = 0.5$  [m]

$g = 9.81$  [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$\omega = 250/60$  [revoluciones/segundo]

$\rho = 0.000001$  [ $\text{kg}/\text{mm}^3$ ]

Se obtiene:

$$W = V_d \cdot 2.04375 * 10^{-5}$$

De acuerdo con la norma UNE 18016 y con base en la figura 5.2 se tiene:

El módulo del engrane es la relación del diámetro primitivo o diámetro base entre el número de dientes

$$M = \frac{D_p}{N_d}$$

El diámetro exterior o diámetro de addendum del engrane es de la circunferencia que limita la parte exterior del engrane y se calcula con la ecuación:

$$D_a = D_p + 2M$$

El diámetro de dedendum del engrane es el diámetro de la circunferencia que limita el pie del diente y se determina mediante la expresión:

$$D_d = D_p - 2.5M$$

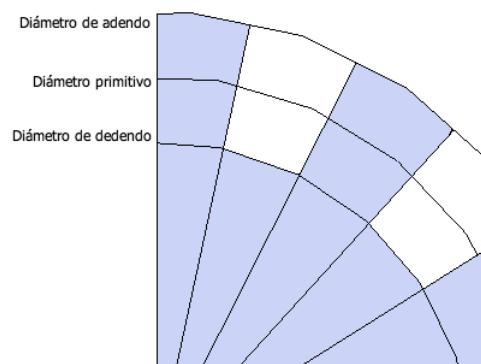


Figura 5.2 Características de un engrane

El volumen desplazado por revolución por cada engrane se aproxima considerando que el área que existe entre cada diente es un sector de círculo; este volumen se determina mediante la expresión:

$$V_d = \frac{N_d \cdot \theta e}{8} (D_a^2 - D_d^2)$$

En el que  $\theta$  es el ángulo del sector y  $e$  es el espesor del engrane, para este diseño el ángulo  $\theta$  es de  $15^\circ$  y el espesor del diente es de 8 mm.

La potencia total requerida se calculará como 4 veces la potencia de la bomba para tener un margen de seguridad en el diseño debido a factores no considerados en este calculo como son: la fricción entre las paredes de la armadura y los engranes, la

fricción del eje de transmisión con la armadura y la eficiencia del sistema de poleas que unirá al motor con la bomba.

$$W_{total} = 4 * W_1$$

Con estas fórmulas se trabajó en una hoja de cálculo para obtener la potencia total requerida por la bomba en función del diámetro base del engrane. La tabla 5.1 presenta los resultados de este cálculo tomando como entrada el diámetro base en incrementos de 5 mm.

Tabla 5.1. Potencia de la bomba para distintos diámetros base

Diámetro Base	Módulo	Da	Dd	Vd	W	W1	Wtotal
[mm]	[mm/diente]	[mm]	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[W]	[W]	[W]
5	0.42	5.83	3.96	57.7	0.003	0.004	0.014
10	0.83	11.67	7.92	230.7	0.010	0.017	0.057
15	1.25	17.50	11.88	519.1	0.023	0.038	0.128
20	1.67	23.33	15.83	922.8	0.041	0.068	0.227
25	2.08	29.17	19.79	1441.9	0.064	0.107	0.355
30	2.50	35.00	23.75	2076.4	0.092	0.153	0.512
35	2.92	40.83	27.71	2826.2	0.125	0.209	0.696
40	3.33	46.67	31.67	3691.4	0.164	0.273	0.910
45	3.75	52.50	35.63	4671.9	0.207	0.345	1.151
50	4.17	58.33	39.58	5767.8	0.256	0.426	1.421
55	4.58	64.17	43.54	6979.0	0.310	0.516	1.720
60	5.00	70.00	47.50	8305.6	0.368	0.614	2.046
65	5.42	75.83	51.46	9747.5	0.432	0.720	2.402
70	5.83	81.67	55.42	11304.8	0.501	0.836	2.785
75	6.25	87.50	59.38	12977.5	0.576	0.959	3.197
80	6.67	93.33	63.33	14765.5	0.655	1.091	3.638
85	7.08	99.17	67.29	16668.8	0.739	1.232	4.107
90	7.50	105.00	71.25	18687.6	0.829	1.381	4.604

En este caso se eligió que el diámetro base para el engrane sea de 45 mm, debido a que está por debajo de la potencia crítica de 3 [W] y se considera de un tamaño adecuado para el diseño.

Los componentes de este prototipo se diseñaron en el programa NX 6.0 el cual es un programa avanzado de CAD/CAM/CAE utilizado entre otras cosas para: modelado de superficies y sólidos, análisis mecánico de elementos y manufactura de partes a través de su módulo de manufactura.

### 5.3.2 Diseño del engrane impulsor

Elegido el diámetro primitivo del engrane de 45 mm los datos presentados en la tabla 5.2 se obtienen con base a la norma UNE 18016 (FAIRES, 1992).

Tabla 5.2.- Características del engrane propuesto.

Diámetro primitivo	45 mm
Modulo	3.75 mm/diente
Addendum	3.75 mm
Dedendum	4.687 mm
Diámetro exterior	52.5 mm
Diámetro de dedendum	35.63 mm
Diámetro base de involuta.	40.7838 mm

El engrane impulsor y el engrane libre giran sobre un eje de 20 mm de diámetro que es parte de la armadura, en el caso del engrane impulsor el eje solo esta presente en la mitad del espesor del engrane y la otra mitad se utiliza para acoplarse al eje de transmisión. En el anexo 3 se describe con más detalle el diseño de los engranes.

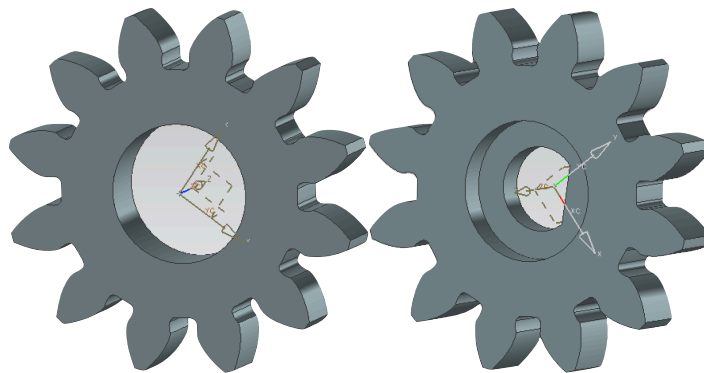


Figura 5.3. Engrane impulsor y engrane libre

### 5.3.3 Diseño de la armadura

Se establece que la longitud de arco que los engranes estarán en contacto con la armadura será de  $60^\circ$ , como se muestra en la figura 5.4.



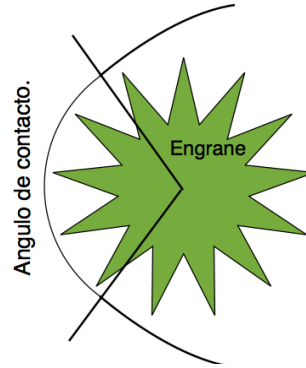


Figura 5.4. Ángulo de contacto entre la armadura y el engrane

El diseño final de la armadura se obtuvo de unir los segmentos de arco de contacto entre los engranes y la armadura con un círculo que fuera tangente a ambos como se muestra en la figura 5.5.

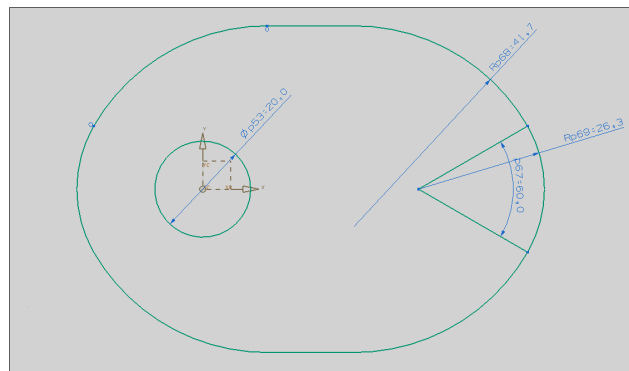


Figura 5.5. Diseño final de la armadura

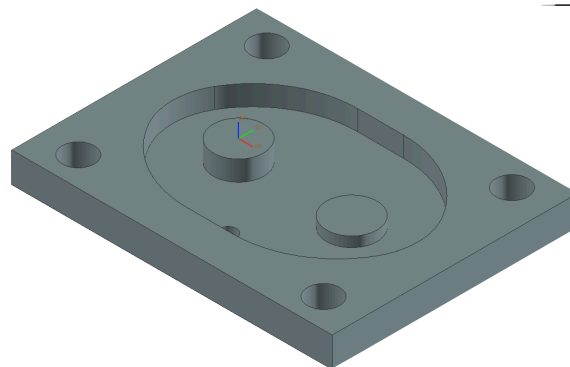


Figura 5.6. Modelo tridimensional de la armadura

### 5.3.4 Diseño de tapa de armadura

La tapa tiene barrenos para el eje de transmisión y para pernos que la mantendrán unida con la armadura como se muestra en la figura 5.7. En la figura 5.8 se muestra el ensamble de la bomba.

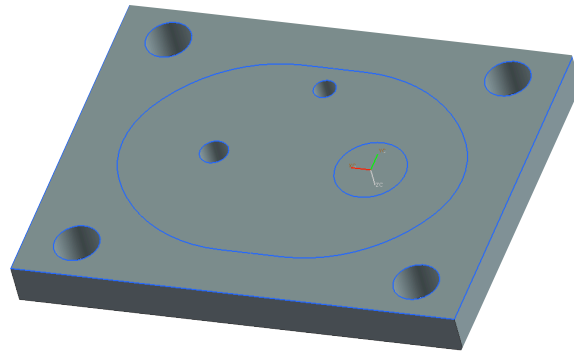


Figura 5.7. Modelo de la cubierta de la armadura

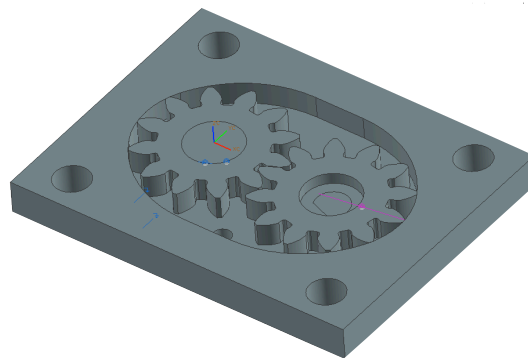


Figura 5.8. Ensamble de la bomba

## 5.4 Fabricación del primer prototipo

### 5.4.1 Maquinado de la armadura

En el programa NX 6.0 y se realizaron las trayectorias de corte con un cortador recto de 12.7 mm para realizar todos los cortes.

El proceso de simulación arrojó un tiempo de maquinado de 35 minutos para la armadura y 14 minutos para la cubierta. Se maquinaron las dos piezas en la máquina VMC-300 teniendo un tiempo total de manufactura de 1 hora con 20 minutos, incluyendo la puesta a punto de la máquina. En las figuras 5.9 se muestran los modelos terminados de la armadura y la cubierta.

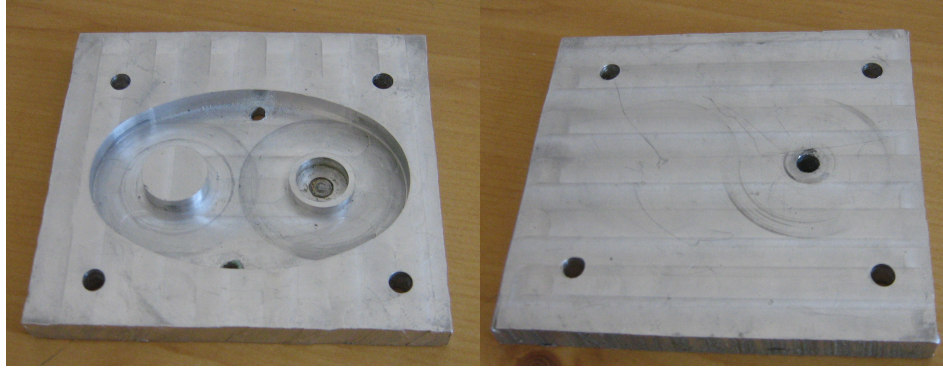


Figura 5.9. Armadura y cubierta

#### 5.4.2 Maquinado de los engranes

Los engranes se manufacturaron en su totalidad con una máquina de prototipos rápidos, en plástico ABS; la máquina toma el modelo computacional y lo imprime teniéndose así un modelo real como el que se muestra en la figura 5.10.

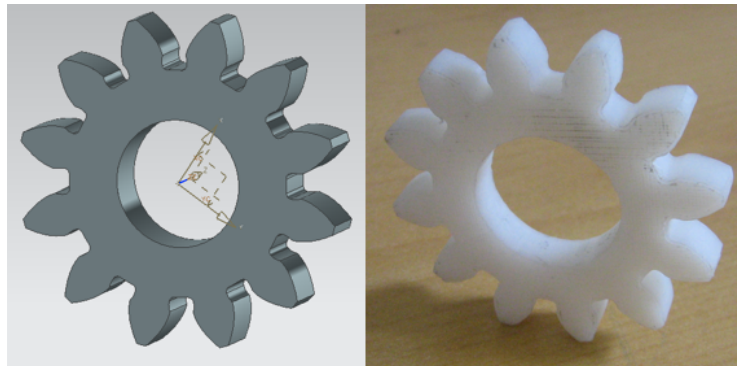


Figura 5.10. Modelo computacional y modelo real del engrane

El costo total de manufactura de los dos engranes fue de \$160.00 MXP con un tiempo total de fabricación de 2 horas 20 minutos.

#### 5.4.3 Ensamble

Para el ensamble de la bomba mostrado en la figura 5.11 se requirieron los siguientes componentes comerciales:

- Pernos de 1.5 x 1/4
- Tuercas hexagonales de 1/4 de pulgada
- Llave Allen de 3/16 de pulgada
- Polea de 1 pulgada

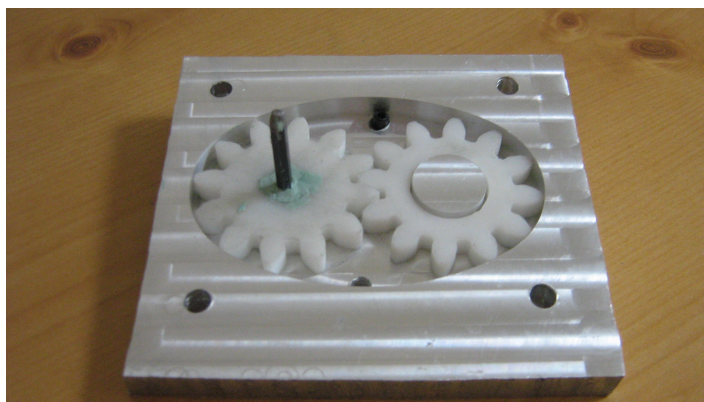


Figura 5.11. Ensamble de los engranes y la armadura

## 5.5 Evaluación del primer prototipo

### 5.5.1 Costo

En la tabla 5.3 se enumeran el costo de materiales y herramientas necesarios para la construcción del prototipo así como el proveedor.

Tabla 5.3. Costo del prototipo.

Unidad	Proveedor	Costo [MXP]
Placa de aluminio de 120X300X12.7 mm	Metales La Paloma	\$76.55
Cortado recto 1/2"	León-Weill de México	\$86.16
Engranes de ABS	FI UNAM	\$160.00
Pernos, polea y eje	Home Depot	\$45.25
	Total	\$367.96

### 5.5.2 Evaluación dinámica

En la evaluación del comportamiento dinámico del prototipo se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1.- La potencia requerida para mover la bomba se estima en 8 W.
- 2.- Los engranes tienen dificultad para girar sobre el eje propuesto.
- 3.- El eje hexagonal es inestable dentro de la armadura lo que provoca una alineación errónea con la polea de impulso.

4.- Falla catastrófica entre el conjunto del eje hexagonal y del engrane impulsor, el par aplicado en el eje rompió parte del engrane impulsor y provocó desplazamiento relativo entre ambos perdiendo la transmisión de potencia hacia los engranes.

5.- Existe deslizamiento entre la polea y la banda de accionamiento.

## 5.6 Rediseño

### 5.6.1 Mejoras al diseño

De acuerdo con los problemas encontrados en la evaluación de este prototipo se realizaron las siguientes modificaciones al modelo.

1.- Se aumenta el diámetro del eje a 8 mm con el objetivo de reducir el par de arrastre entre este y el eje impulsor.

2.- Se montaran los ejes sobre rodamientos con el fin de asegurar una correcta alineación de los engranes, reducir la potencia necesaria para mover la bomba y asegurar que el eje de transmisión de la polea no cambie su orientación.

3.- El espesor de los engranes se reducirá a 4 mm.

4.- El ángulo de contacto entre la armadura y el engrane se aumentará a  $180^\circ$  para mejorar el sellado entre los engranes y la armadura.

5.- La cubierta de la armadura se fabricara en plástico transparente para que el funcionamiento de la bomba se pueda apreciar de manera mas clara.

6.- Se aumentará el diámetro de la polea de accionamiento para que la banda de acoplamiento no patine sobre esta.

### 5.6.2 Rediseño del engrane impulsor

El engrane impulsor y el engrane libre mostrados en la figura 5.12 mantienen el mismo diseño que en la sección 5.3.2 reduciendo el espesor de estos y modificando la manera en que el engrane impulsor se acopla al eje de accionamiento.

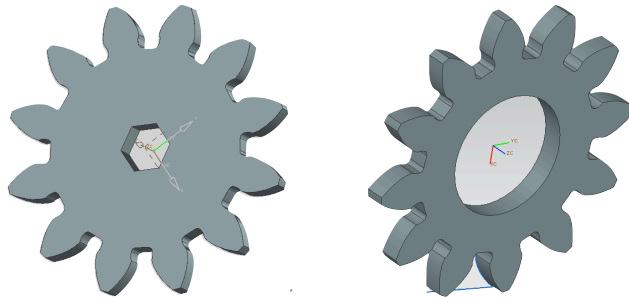


Figura 5.12. Engrane impulsor y engrane libre.

### 5.6.3 Rediseño de la armadura

Para el rediseño de la armadura se decidió aumentar el ángulo de contacto a  $180^\circ$ , se agregó un canal para la colocación de un sello de goma, se aumentó a seis el número de pernos que sujetan las dos partes de la armadura y se hicieron espacios para el acomodo de los rodamientos. Esta se muestra en la figura 5.13.

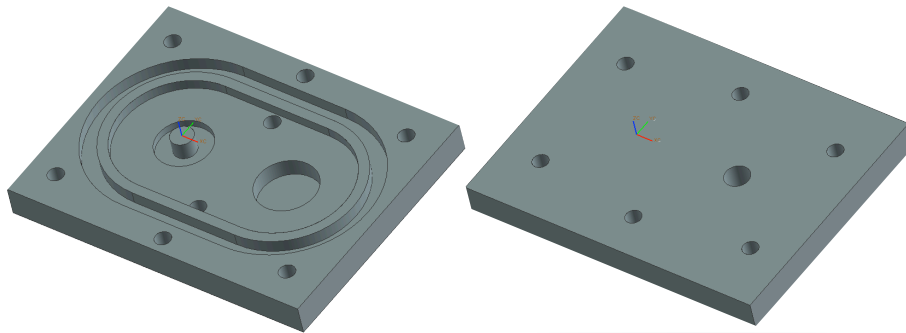


Figura 5.13. Modelo tridimensional de la armadura

Los planos de la bomba se encuentran en el anexo 1.

## 5.7 Fabricación del segundo prototipo

### 5.7.1 Maquinado de la armadura

Para maquinar este prototipo se realizaron las trayectorias de corte utilizando un cortador recto de 12.7 mm, un cortador recto de 6.35 mm para operaciones de acabado y una broca de 6.35 mm para los barrenos.

El proceso de simulación arrojó un tiempo de maquinado de 1 hora 15 minutos para la armadura y 45 minutos para la cubierta

Se maquinó la armadura mostrada en la figura 5.14 en la máquina VMC-300, con un tiempo total de manufactura de 3 horas con 20 minutos, incluyendo la puesta a punto de la máquina.

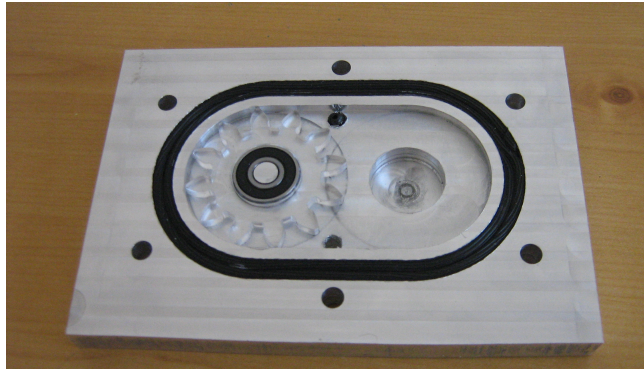


Figura 5.14. Armadura

La cubierta mostrada en la figura 5.15 se mandó manufacturar externamente en un equipo de corte láser. Con el objeto de mostrar los elementos internos se fabricó en acrílico. El costo de fabricación fue de \$ 80.00 MXP

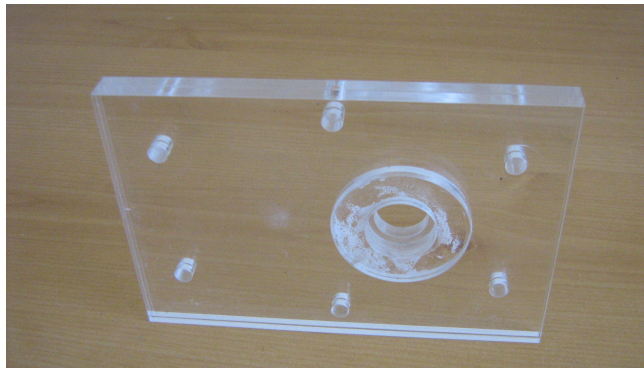


Figura 5.15. Cubierta de la armadura

### 5.7.2 Maquinado de los engranes.

Los dos engranes mostrados en la figura 5.16 también fueron fabricados en corte láser en una lámina de acrílico de 4 mm. El costo total de manufactura de los dos engranes fue de \$15.00 MXP.



Figura 5.16. Engrane de acrílico.

### 5.7.3 Ensamble

Para el ensamble de los componentes de la bomba mostrado en la figura 5.17 se requirieron los siguientes componentes comerciales:

- Pernos de 1.5 x 1/4.
- Tuercas hexagonales de 1/4 de pulgada.
- Llave Allen de 8 mm.
- Rodamientos de 8 y 9 mm.
- Sello de goma

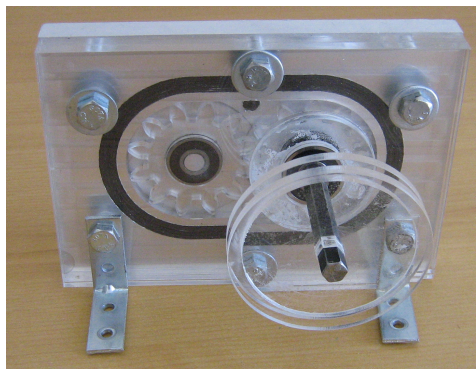


Figura 5.17. Ensamble de la bomba.

## 5.8 Evaluación del segundo prototipo

### 5.8.1 Costo

En la siguiente tabla se enumeran el costo de materiales y herramientas necesarios para la construcción del prototipo así como el proveedor.



Tabla 5.4 . Costo del prototipo.

Unidad	Proveedor	Costo [MXP]
Placa de aluminio de 120X300X12.7 mm	Metales La Paloma	\$80.00
Cortador recto 1/2"	León-Weill de México	\$86.16
Cortador recto 1/4"	León-Weill de México	\$64.00
Corte Láser	Banshee	95.00
Pernos y eje	Home Depot	\$45.25
Rodamientos	Metales Sommer	125.00
	Total	495.41

En la tabla 5.5 se presenta el tiempo utilizado para la realización del prototipo.

Tabla 5.5 Tiempo de realización

Bomba	Tiempo [horas]
<b>Ingeniería de detalle</b>	
Modelado de partes.	6
Simulación	4
<b>Fabricación y pruebas</b>	
Generación de códigos.	1
Corte láser	0.5
Fresado.	5
Ensamble.	0.5
<b>Total</b>	<b>17</b>

### 5.8.1 Evaluación dinámica

En la evaluación del comportamiento dinámico del prototipo se lograron resolver los problemas que presento el primer prototipo, se observa que la potencia requerida por la bomba esta debajo del valor de diseño de 3 W y los engranes y el eje se mantienen alineados gracias a los rodamientos que se añadieron al dispositivo.

La cubierta puede ser fabricada en aluminio y los engranes pueden ser realizados en prototipos rápidos sin afectar el funcionamiento de la bomba, por lo que se puede fabricar una nueva bomba sin necesidad de realizar operaciones de manufactura externa.

# 6. Ingeniería de detalle del motor de vapor

En este capítulo se desarrolla el diseño y la manufactura del segundo proyecto que consiste en un motor de vapor, cubriendo el diseño a detalle y la manufactura del dispositivo.

## 6.1 Motor de vapor

Los motores de vapor se clasifican según la disposición del mecanismo encargado de recoger y transmitir la energía producida por el émbolo en su movimiento y pueden clasificarse en:

1.- Máquinas de cilindro fijo y embolo alternativo. El movimiento rectilíneo alternativo se convierte en circular continuo por un mecanismo biela-manivela. Un ejemplo de este motor se ilustra en la figura 6.1.

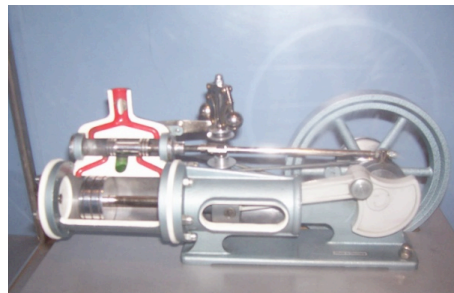


Figura 6.1. Motor de vapor de cilindro fijo.

2.- Máquinas de cilindro oscilante. El cilindro oscila sobre dos muñones. Esta disposición se ha empleado algunas veces en máquinas para barcos de ruedas de paletas. En la figura 6.2 se muestra este tipo de motor.

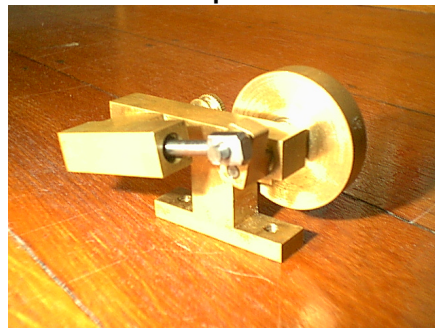


Figura 6.2. Motor de vapor de cilindro oscilante.

Los motores de vapor de cilindro fijo requieren de un mecanismo de válvulas como el que se muestra en la figura 6.3, cuya finalidad específica es sincronizar de manera efectiva la admisión y escape de vapor con respecto al cilindro, debido a que las máquinas de cilindro oscilante no requieren de esta sincronización se han elegido como modelo para este proyecto.

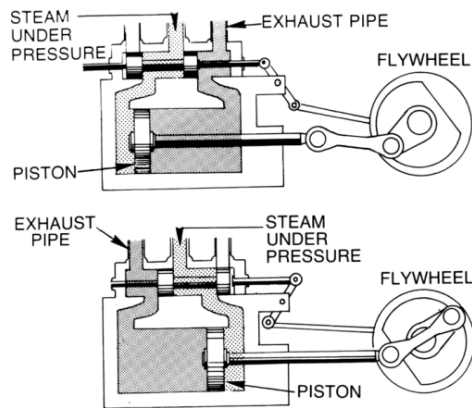


Figura 6.3. Mecanismo de válvulas.

## 6.2 Componentes

Para tratar de entender el funcionamiento del motor y que componentes son críticos, se elaboraron algunos bosquejos y se determinaron los componentes mostrados en la figura 6.4 como principales. Estos componentes son:

- Soporte-válvula
- Cigüeñal (Eje y Manivela)
- Volante de inercia
- Bloque (Cilindro, Pivote, Resorte y Tuerca)
- Pistón (Embolo y Conector)

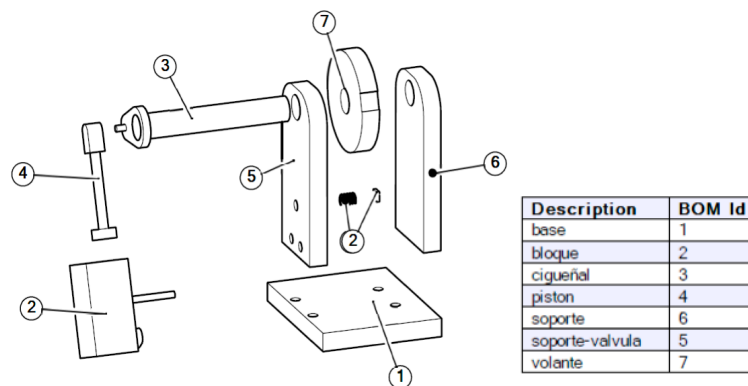


Figura 6.4. Componentes principales del motor de cilindro oscilante.

## 6.3 Diseño del motor

### 6.3.1 Dimensiones

Para determinar las dimensiones ideales del motor se tomaron en cuenta las dimensiones de las materias primas existentes con los proveedores, así como los procesos y herramientas de manufactura disponibles.

Debido a la gran cantidad de variables necesarias para el cálculo del motor se propuso la siguiente configuración con el objeto de experimentar con estas variables para acelerar el desarrollo del motor y reconocer las variables principales.

El motor será elaborado a partir de:

Placa de aluminio de 0.375" x 2.5" x 15".

Barra redonda de aluminio de 0.5" x 5.0"

Barra cuadrada de aluminio de 1.0" x 2.0"

El diseño de los componentes del motor fue realizado en CATIA V5 que es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos.

### 6.3.2 Diseño del embolo

Se establece el diámetro del pistón de 12.4 mm y 50 mm de longitud. Este diseño se muestra en la figura 6.5.

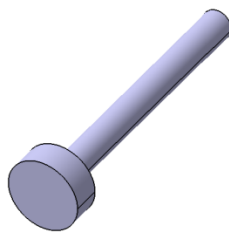


Figura 6.5. Embolo

### 6.3.3 Diseño del conector

Debido a la necesidad de conectar eficazmente el embolo con la manivela se generó un conector presentado en la figura 6.6.

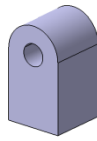


Figura 6.6. Conector.

#### 6.3.4 Diseño de la manivela

Se diseñó una la manivela de la figura 6.7 con una distancia entre centros de la manivela en 17 mm.

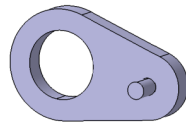


Figura 6.7. Manivela

#### 6.3.5 Diseño del eje

Con el material disponible se diseñó un eje de 12.4 mm de diámetro mostrado en la figura 6.8.

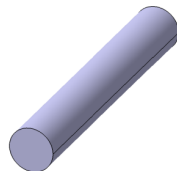


Figura 6.8. Eje

#### 6.3.6 Diseño del cilindro

El cilindro mostrado en la figura 6.9 será fabricado con la barra cuadrada de 1.0", se propone la vía de alimentación con diámetro de 4.763 mm a 20 mm del eje de rotación del bloque.

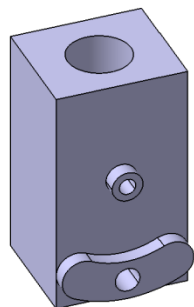


Figura 6.9. Cilindro

### 6.3.7 Diseño de soportes

Con las medidas propuestas en los otros elementos se diseña el soporte para colocar estos. La distancia entre los centros de rotación se calcula empleando la información de la distancia entre centros de la manivela, la longitud total del pistón y la distancia entre el centro de rotación del bloque y su vía de admisión, estos elementos se situaron en la posición de punto muerto superior como se muestra en la figura 6.10.

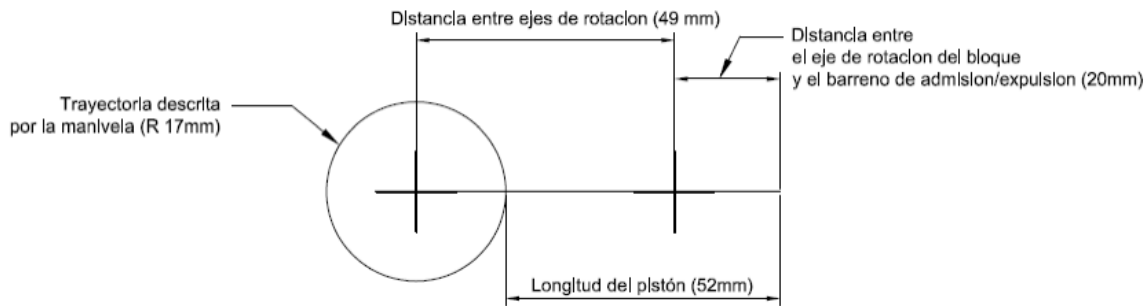


Figura 6.10. Cálculo de la distancia entre ejes

La distancia calculada fue de 49 mm, se decidió agregar 1 mm extra como tolerancia, por lo que la distancia final es de 50 mm, esta configuración se muestra en la figura 6.11.

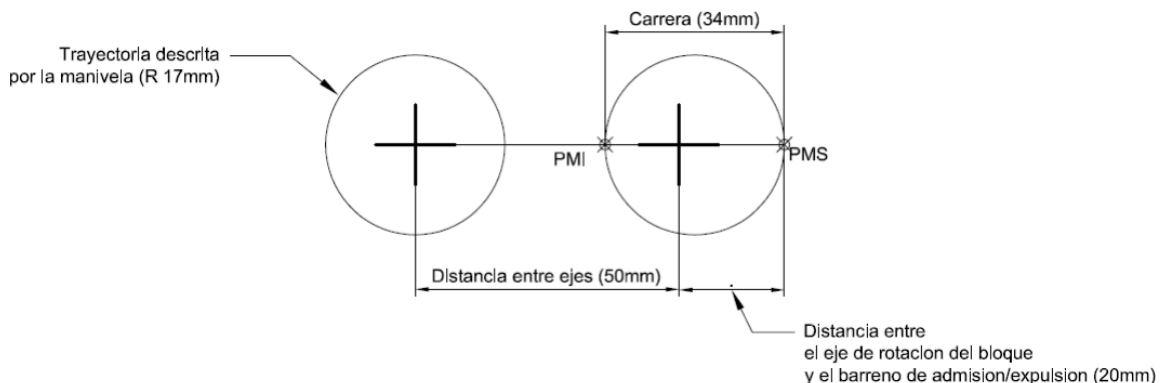


Figura 6.11. Dimensiones empleadas en el diseño del soporte-válvula

Se establece que la vía de admisión se encuentre en la posición totalmente abierta cuando el cigüeñal ha girado  $90^\circ$  a partir de la posición de Punto Muerto Superior (PMS), mostrado en la figura 6.12. Y la vía de expulsión se encuentra en la posición totalmente abierta cuando el cigüeñal ha girado  $270^\circ$  a partir de la posición de Punto Muerto Superior (PMS) como muestra la figura 6.13. Con estos datos se obtuvo el diseño de los soportes mostrado en la figura 6.14.

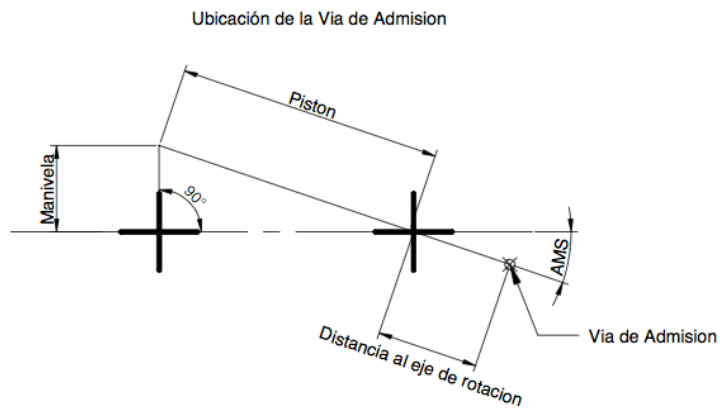
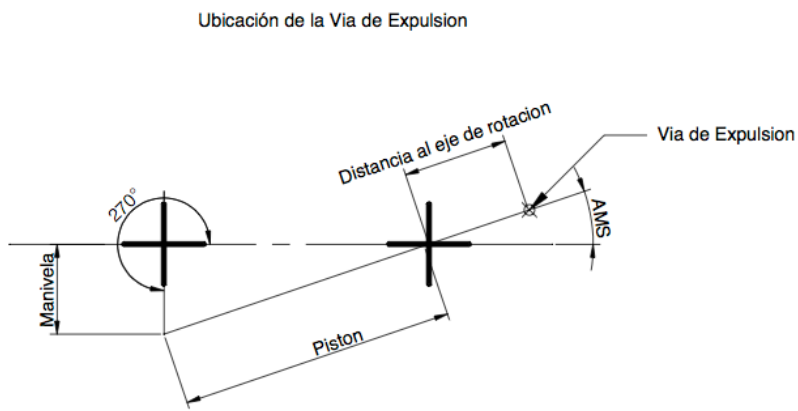


Figura 6.12. Ubicación del barreno para la admisión de vapor



AMS: Ángulo Medio de Oscilación

Figura 6.13. Ubicación del barreno para la expulsión de vapor

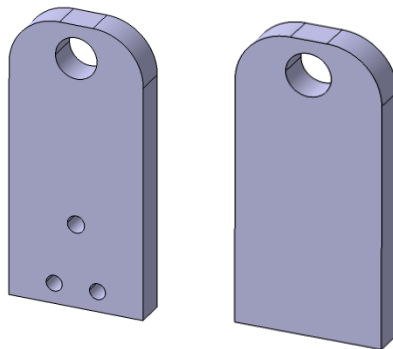


Figura 6.14. Soportes del motor

### 6.3.8 Diseño del volante de inercia

Se propone un volante de inercia de 50 mm de diámetro mostrado en la figura 6.15.

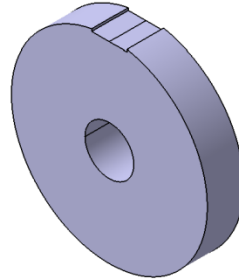


Figura 6.15. Volante de inercia

## 6.4 Fabricación del primer prototipo

### 6.4.1 Elementos fresados

Se generaron las trayectorias de corte de los modelos de los soportes, la manivela y el cilindro, empleando las siguientes herramientas como se muestra en las figuras 6.16, 6.17, 6.18 y 6.19.

Cortador recto de 6.35 mm.

Broca de 3.968 mm.

Broca de 4.7625 mm.

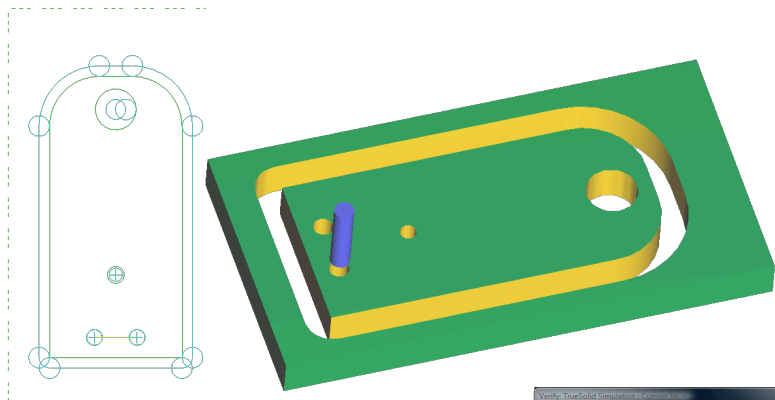


Figura 6.16. Patrón de corte generado y simulación del maquinado para el soporte válvula.



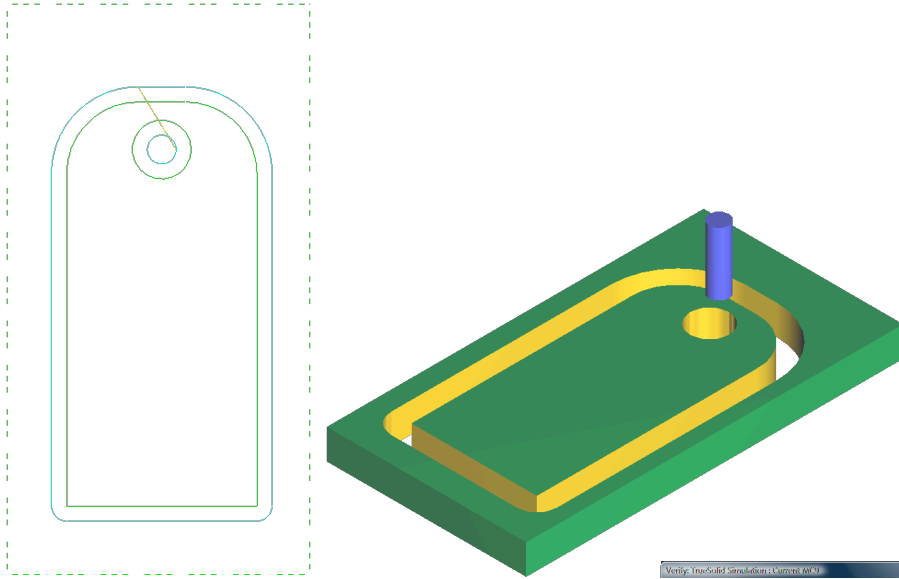


Figura 6.17. Patrón de corte generado y simulación del maquinado para el soporte.

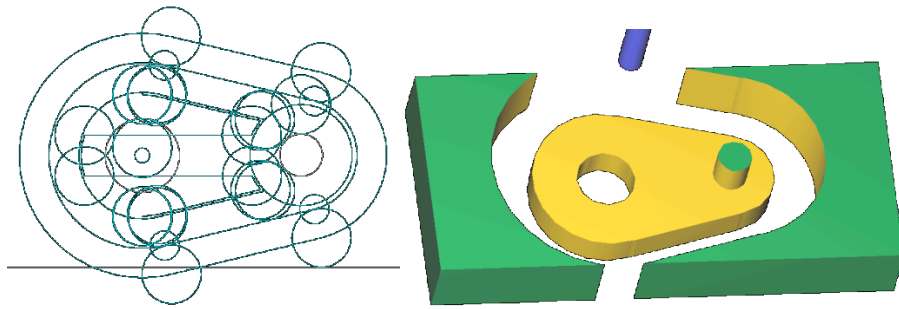


Figura 6.18. Patrón de corte generado y simulación del maquinado para la manivela.

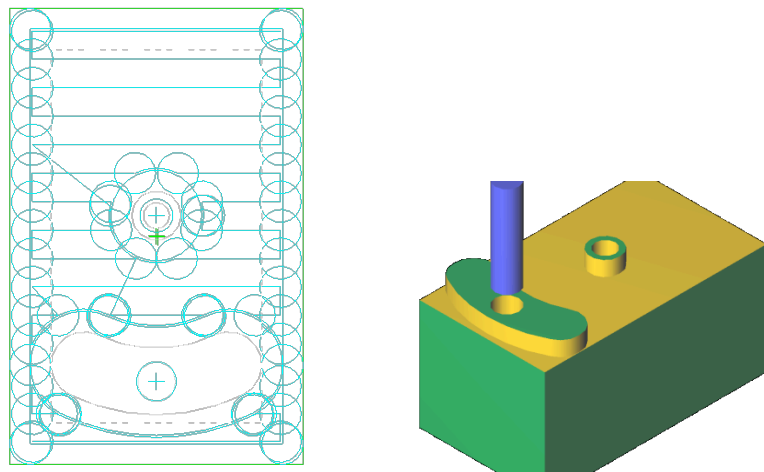


Figura 6.19. Patrón de corte generado y simulación del maquinado para el cilindro.

Las piezas se fabricaron utilizando el centro de maquinado VMC 300, en un tiempo total de 5 horas, las piezas terminadas se muestran en la figura 6.20.

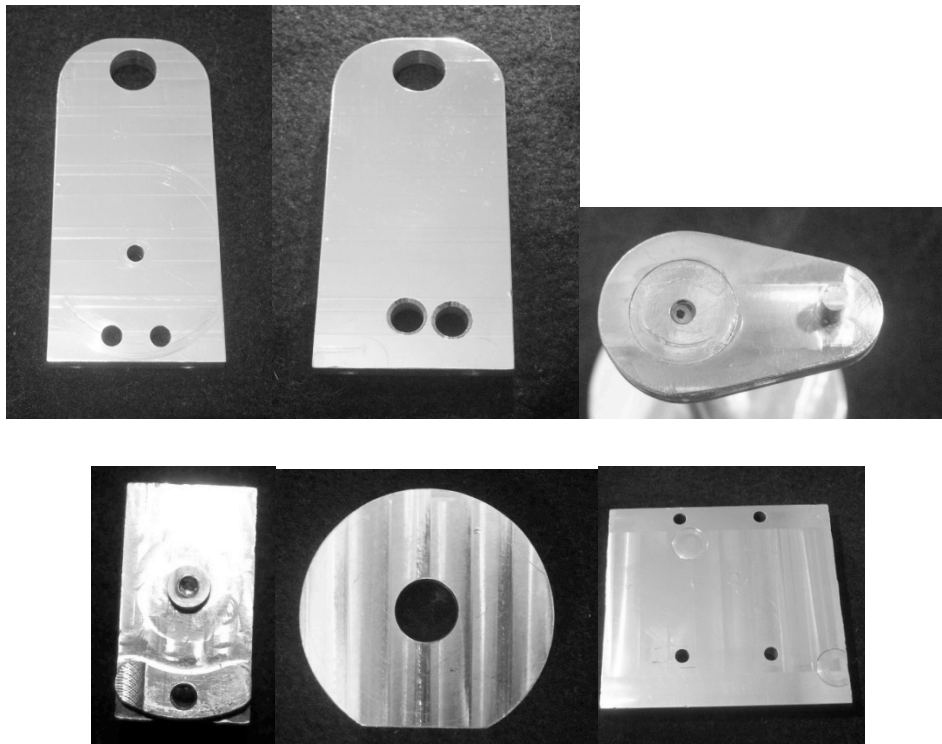


Figura 6.20. Piezas terminadas.

#### 6.4.2 Componentes torneados

Las piezas torneadas mostradas en la figura 6.21 se fabricaron utilizando el centro de maquinado VMC 242, en un tiempo total de 45 minutos.

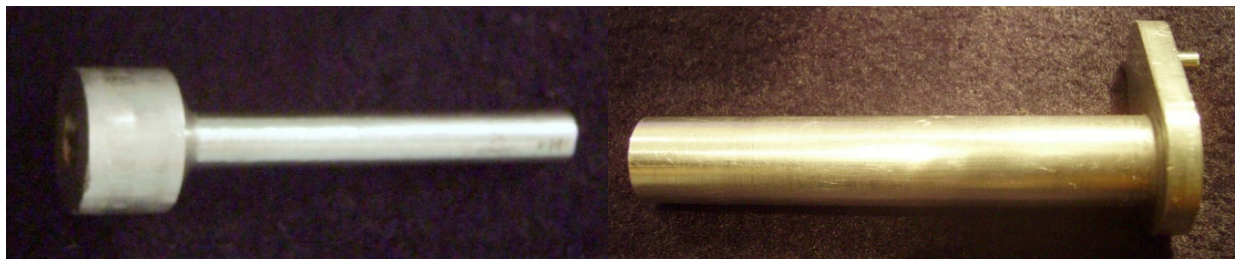


Figura 6.21. Eje y émbolo.

#### 6.4.3 Componentes plásticos

La unión entre el émbolo y la manivela se realizó empleando la máquina de prototipos rápidos, el conformado de esta pieza mostrada en la figura 6.22 tomó un tiempo de 10 min.



Figura 6.22. Conector

#### 6.4.4 Ensamble

Para el ensamble de los componentes del motor mostrados en la figura 6.23 se requirieron los siguientes componentes comerciales:

- Tornillos de 1/8" x 1.0"
- Tuercas de 1/8"
- Rondana
- Resorte
- Cianoacrilato
- Machuelo de 5/32 NS32

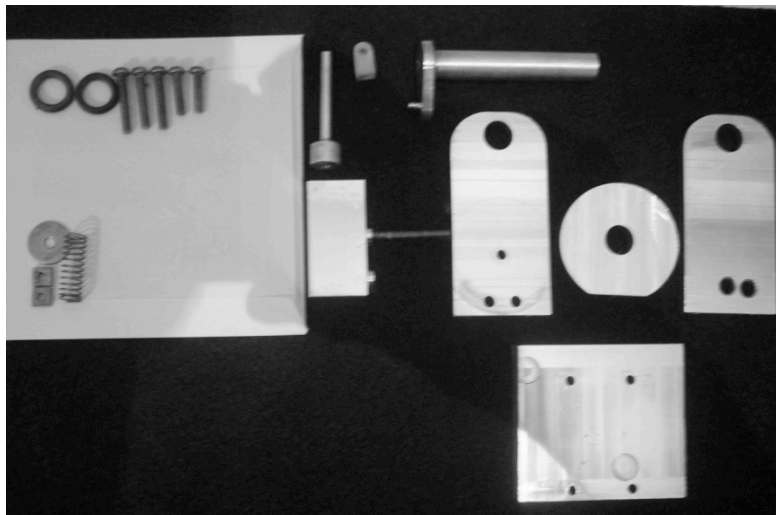


Figura 6.23. Componentes del motor.

En las figuras 6.24, 6.25 y 6.26 se muestran distintas etapas del ensamble del prototipo.

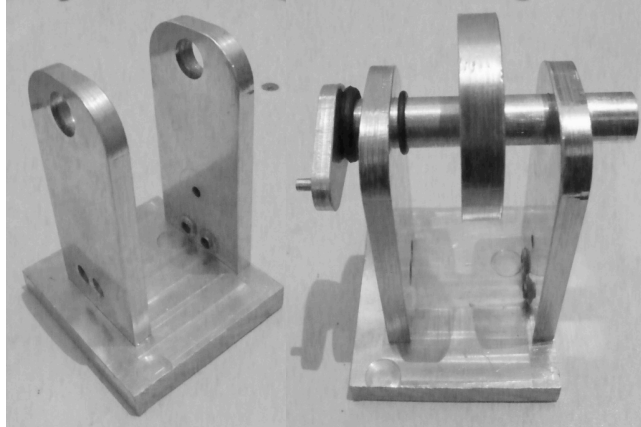


Figura 6.24. Ensamble de los soportes y cigüeñal

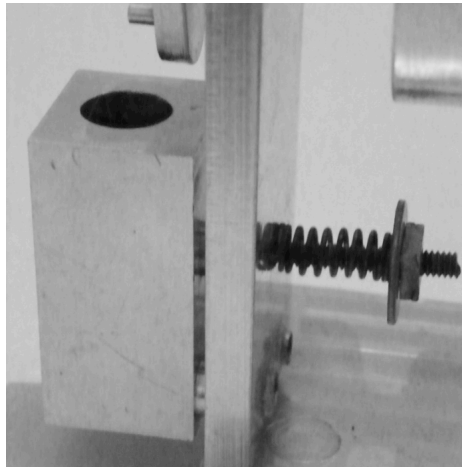


Figura 6.25. Ensamble final del bloque

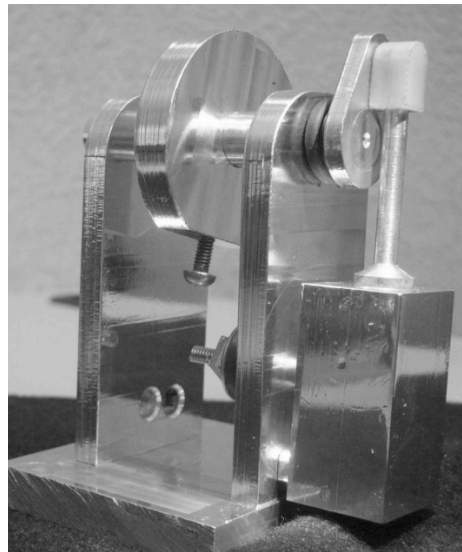


Figura 6.26. Ensamble final

## 6.5 Evaluación del primer prototipo

### 6.5.1 Costo del prototipo

En la siguiente tabla se enumeran el costo de materiales y herramientas necesarios para la construcción del prototipo así como el proveedor.

Tabla 6.1 . Costo del prototipo.

Unidad	Proveedor	Costo [MXP]
Placa de aluminio de 100x350x9.5 mm	Metales La Paloma	\$110.00
Herramientas de corte	FI UNAM	\$180.00
Conector de ABS	FI UNAM	\$10.00
Tornillos, resorte y rondanas	Varios	\$15.00
	Total	\$315.00

### 6.5.2 Evaluación dinámica

En la evaluación del comportamiento del prototipo se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1.- Las vías de admisión y expulsión de aire se ubicaron bajo la hipótesis de que se encuentran a  $90^\circ$  y  $270^\circ$  con respecto al punto muerto superior, esta hipótesis no es válida por lo que se debe proponer un nuevo diseño; en el que se analicen detalladamente la ubicación de las vías.
- 2.- El volante de inercia se sujeta al eje por medio de un tornillo opresor, causando fuertes vibraciones en el motor; por lo que se debe proponer un nuevo diseño en el que se omita el tornillo opresor.
- 3.- El eje puede correr libremente de manera longitudinal, por lo que se debe proponer un nuevo eje que restrinja este movimiento.
- 4.- En la fabricación de la manivela se observó un excesivo corte de material, por lo que se debe proponer otro método de manufactura.
- 5.- El maquinado de la cara del bloque provoca un aumento en el tiempo de maquinado, por lo que se debe proponer la omisión de esta operación sobre el bloque.
- 6.- El tiempo de maquinado de los soportes se incrementa por la necesidad de barrenarlos en la zona más delgada del material, por lo que se debe proponer eliminar esta operación.

- 7.- El soporte de apoyo obstruye el conducto de alimentación, por lo que se debe crear una abertura por donde pueda pasar la vía.
- 8.- La operación del motor es complicada debido a que no se cuenta con un suministro constante de vapor, se debe proponer una nueva alternativa de fuente de suministro.

## 6.6 Rediseño

### 6.6.1 Mejoras al prototipo

Con la información recolectada del primer prototipo se propuso un segundo diseño, en el cual se solucionaron los problemas encontrados en el primero.

En el prototipo anterior se observó que la vía de admisión se encontraba en una zona mostrada en la figura 6.27 que no permitía la admisión ni la expulsión del gas, nuestro objetivo es minimizar esta zona.

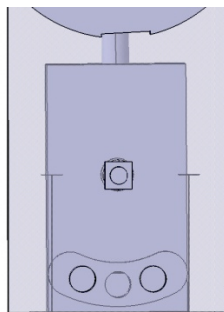


Figura 6.27. Zona muerta.

Para encontrar las posiciones óptimas de las vías de admisión y escape se realizó el siguiente análisis del mecanismo.

El ángulo de oscilación del bloque ( $\theta_3$ ) mostrado en la figura 6.28 está en función de la distancia entre centros de rotación (de aquí en adelante llamada "a"), la distancia entre centros de la manivela (de aquí en adelante llamada "b") y el ángulo de avance de la manivela ( $\theta_2$ ).

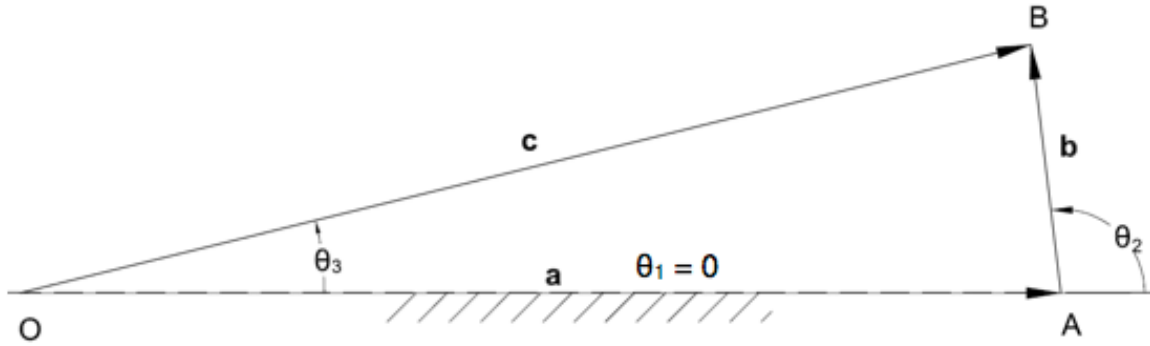


Figura 6.28. Ángulo de oscilación del bloque

De un análisis vectorial del mecanismo se obtienen las siguientes relaciones (NORTON, 2000):

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$$

Donde:

$$\begin{aligned} a &= \overline{OA} & \vec{a} &= ae^{i\theta_1} \\ b &= \overline{AB} & \vec{b} &= be^{i\theta_2} \\ c &= \overline{OB} & \vec{c} &= ce^{i\theta_3} \end{aligned}$$

$$ae^{i\theta_1} + be^{i\theta_2} = ce^{i\theta_3}$$

$$acis\theta_1 + bcis\theta_2 = ccis\theta_3$$

$$acos\theta_1 + aisen\theta_1 + bcos\theta_2 + bisen\theta_2 = ccos\theta_3 + cisen\theta_3$$

$$acos\theta_1 + bcos\theta_2 - ccos\theta_3 = 0 \quad (a)$$

$$aisen\theta_1 + bisen\theta_2 - cisen\theta_3 = 0 \quad (b)$$

Despejando c de la ecuación (a) se tiene:

$$c = \frac{acos\theta_1 + bcos\theta_2}{cos\theta_3}$$

Sustituyendo c en (b)

$$aisen\theta_1 + bisen\theta_2 = \left( \frac{acos\theta_1 + bcos\theta_2}{cos\theta_3} \right) sen\theta_3$$

$$(acos\theta_1 + bcos\theta_2) tan\theta_3 = aisen\theta_1 + bisen\theta_2$$

$$\tan\theta_3 = \frac{a\text{sen}\theta_1 + b\text{sen}\theta_2}{a\cos\theta_1 + b\cos\theta_2}$$

Si  $\theta_1 = 0^\circ$ , despejando para  $\theta_3$

$$\theta_3 = \arctan\left(\frac{b\text{sen}\theta_2}{a + b\cos\theta_2}\right)$$

Para obtener  $\theta_{3\max}$

$$\frac{d\theta_3}{d\theta_2} = \frac{d}{d\theta_2} \arctan\left(\frac{b\text{sen}\theta_2}{a + b\cos\theta_2}\right) = 0$$

$$\frac{d}{d\theta_2} \arctan\left(\frac{b\text{sen}\theta_2}{a + b\cos\theta_2}\right) = \frac{\dot{\theta}_2 (ab\cos\theta_2 + b^2)}{(a + b\cos\theta_2)^2 + (b\text{sen}\theta_2)^2}$$

$$ab\cos\theta_2 + b^2 = 0$$

$$\theta_2 = \arccos\frac{-b}{a}$$

Tras evaluar el valor de  $\theta_2$  en la función de  $\theta_3$  se encontró que el valor máximo de  $\theta_3$  representado en la figura 6.29 es:

$$\theta_{3\max} = \arcsen\frac{b}{a}$$

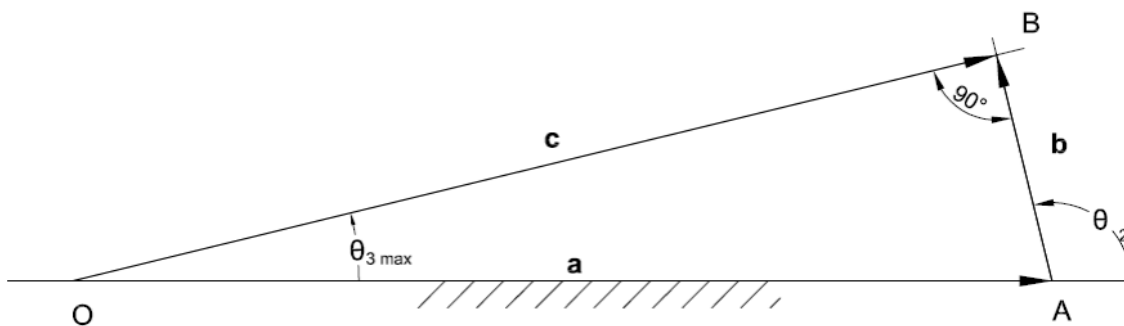
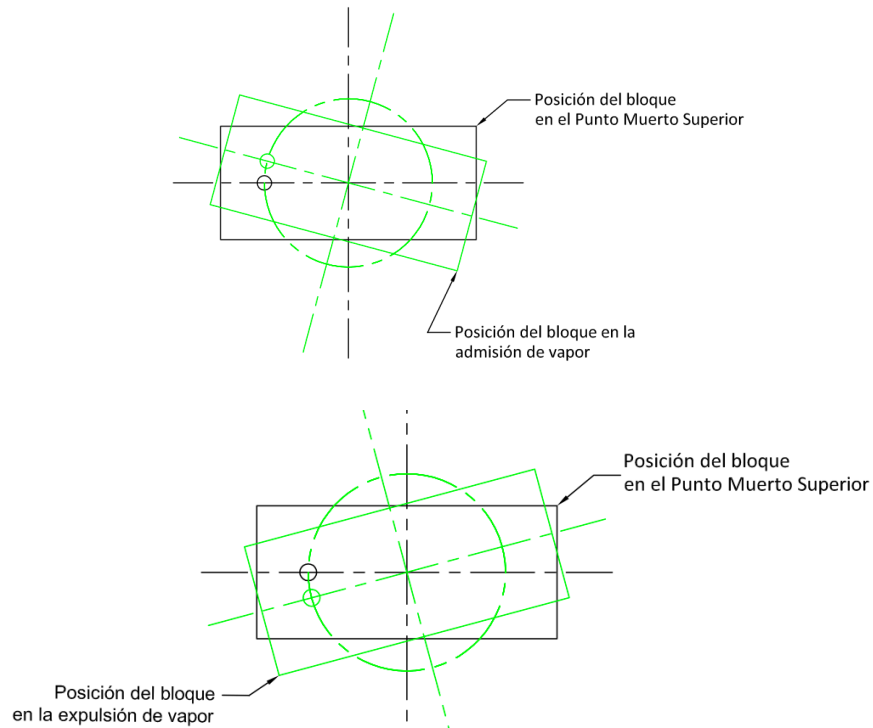


Figura 6.29. Oscilación máxima del mecanismo.

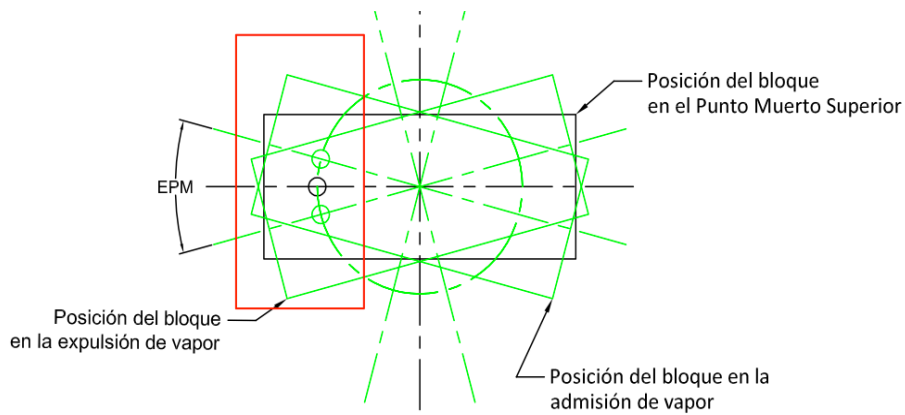
En la figura 6.30 se presentan las posiciones extremas de oscilación del bloque.





**Figura 6.30. Oscilación del bloque**

En la figura 6.31 se define el ángulo máximo de oscilación (EPM) entre el eje longitudinal del bloque y el segmento de línea entre el centro de giro y el centro del barreno conductor ( $R_a$ ). Este ángulo depende del ancho del bloque y del diámetro del barreno conductor ( $diamEs$ ) como se muestra en la figura 6.32



**Figura 6.31. Ángulo EPM**

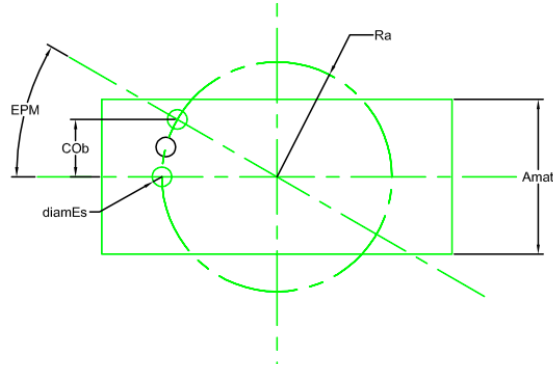


Figura 6.32. Ubicación de los barrenos.

$$EPM = \arcsen \frac{CO_b}{Ra}$$

Se define el ángulo mínimo de oscilación (alfa) mostrado en la figura 6.33 entre el eje longitudinal del bloque y el segmento de línea entre el centro de giro y el centro del barreno conductor. Este ángulo depende solamente del diámetro del barreno conductor. La distancia  $f$  es igual al diámetro del barreno conductor.

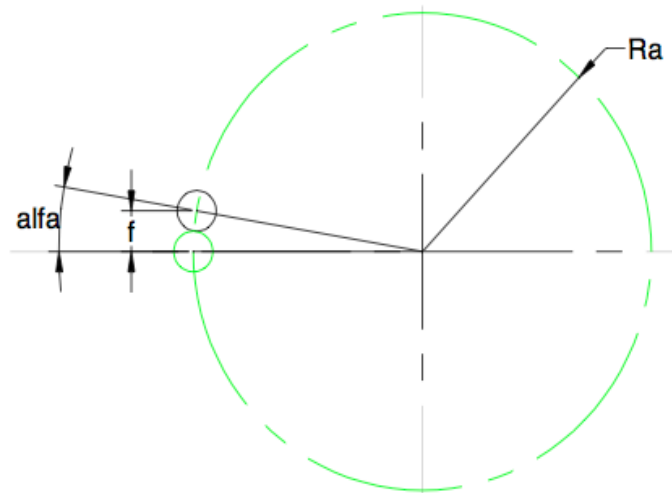


Figura 6.33 Ángulo de oscilación

Por la ley de cosenos

$$f^2 = Ra^2 + Ra^2 - 2 Ra Ra \cos \alpha$$

$$f^2 = 2 Ra^2 - 2 Ra^2 \cos \alpha$$

$$f^2 = 2 Ra^2 (1 - \cos \alpha)$$

$$\frac{f^2}{2 Ra^2} = (1 - \cos \alpha)$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{f^2}{2 Ra^2}$$

$$\alpha = \text{alfa} = \text{ArcCos} \left( 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{f}{Ra} \right)^2 \right)$$

Con estos dos límites se delimita una zona solución donde pueden colocarse los barrenos como se observa en la figura 6.34.

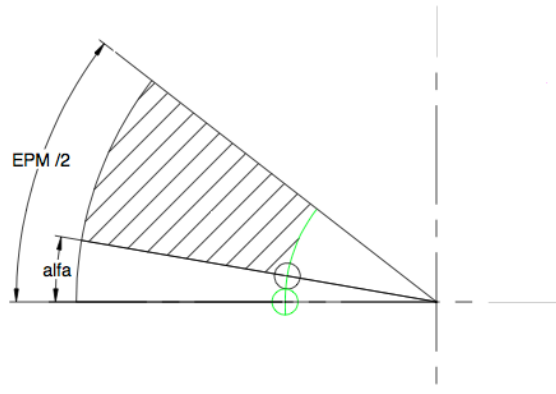


Figura 6.34. Zona de solución.

Esta zona de solución depende del ancho del bloque, de la manivela, de la distancia entre ejes de rotación y el diámetro de las vías de admisión y expulsión. Además se establecieron las siguientes restricciones.

- No debe haber Interferencia entre la manivela y el bloque, a este valor se le da un claro de 10 a 25 mm.
- El ángulo de oscilación  $\theta_3$  está limitado por:  $EPM \geq 2\theta_3 \geq \text{alfa}$ .
- La diferencia de magnitudes  $CO_b - f$  debe ser mínima.

Utilizando estas restricciones se creó un programa que calcula los valores óptimos para:

- Longitud del bloque
- Longitud del pistón
- Profundidad del cilindro.
- Posición de los barrenos de admisión expulsión.

Este programa fue creado en MATLAB 7.5, este es un programa informático matemático con un lenguaje de programación que entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos y la creación de interfaces de usuario.

Como datos de entrada para este programa se utilizaron:

$$a = (20, 80)$$

b= (7, 60)  
amat= 25.4  
diamEs =4.76  
Ra = (10, 30)

Los resultados del programa se encuentran en el Anexo 4.

En la tabla 6.2 se muestran las medidas elegidas para el nuevo prototipo, estas se eligieron debido a que se consideran medidas adecuadas para la manufactura.

Tabla 6.2. Medidas seleccionadas.

a	b	Longitud del bloque	Longitud pistón	Radio	Ángulo	Profundidad barreno pistón
50	12	43	54	22	13.88	37

#### 6.6.2 Diseño del émbolo

El pistón mostrado en la figura 6.35 tiene un diámetro de 12.3 mm y 52 mm de longitud.

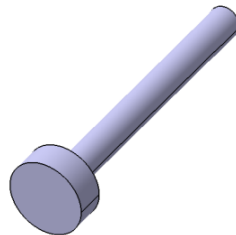


Figura 6.35. Émbolo.

#### 6.6.3 Diseño del conector

El nuevo diseño del conector se muestra en la figura 6.36.

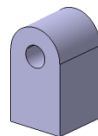


Figura 6.36. Conector.

#### 6.6.4 Diseño de la manivela

La distancia entre centros de la manivela mostrada en la figura 6.37 es de 12 mm.

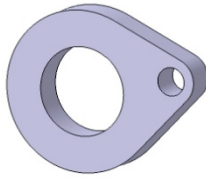


Figura 6.37. Manivela

#### 6.6.5 Diseño del eje

El nuevo diseño del eje se muestra en la figura 6.38.

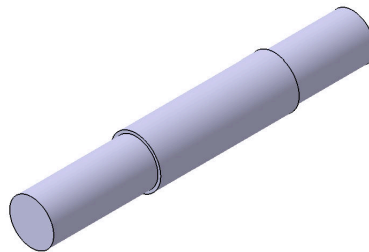


Figura 6.38. Eje

#### 6.6.6 Diseño del cilindro

El nuevo diseño del cilindro se muestra en la figura 6.39.

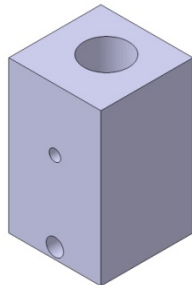


Figura 6.39. Cilindro

#### 6.6.7 Rediseño del soporte-válvula

Los soportes mostrados en la figura 6.40 se rediseñaron tomando en cuenta la información calculada en la sección 6.6.1 y se generó una cavidad en la superficie de contacto con el bloque para minimizar la fricción entre estos elementos.

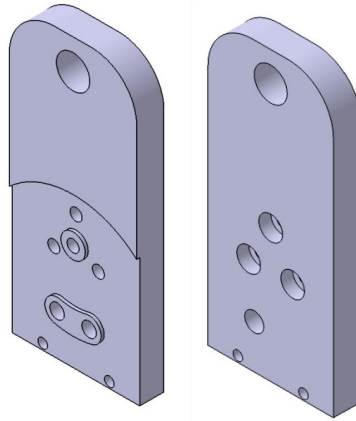


Figura 6.40. Soporte válvula y soporte

#### 6.6.8 Diseño del volante de inercia.

El nuevo diseño del volante de inercia se muestra en la figura 6.41.

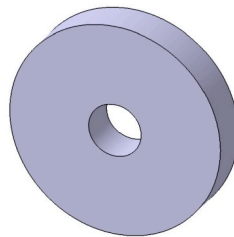


Figura 6.41. Volante de inercia

Los planos de este diseño se encuentran en el anexo 2

### 6.7 Fabricación del segundo prototipo

#### 6.7.1 Elementos fresados

Se generaron las trayectorias de corte de los soportes, el volante y el cilindro empleando las siguientes herramientas como se muestra en las figuras 6.42 y 6.43:

Cortador recto de 6.35 mm.

Broca de 3.968 mm.

Broca de 4.7625 mm.

Broca de 3.175 mm.

Broca de 12.3031 mm.

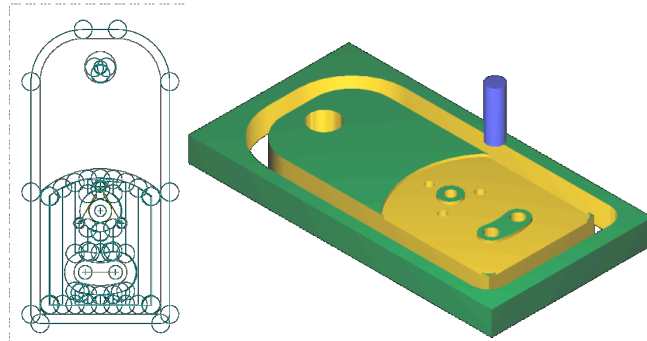


Figura 6.42. Patrón de corte generado y simulación del maquinado para el soporte válvula.

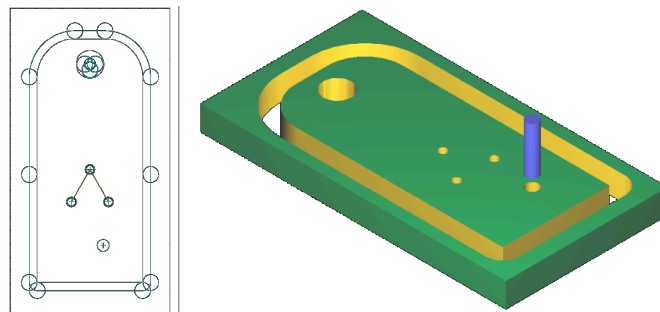


Figura 6.43. Patrón de corte generado y simulación del maquinado para el soporte.

Las piezas se fabricaron utilizando el centro de maquinado VMC 300, en un tiempo total de 3 horas y 30 minutos. Las piezas terminadas se muestran en la figura 6.44.

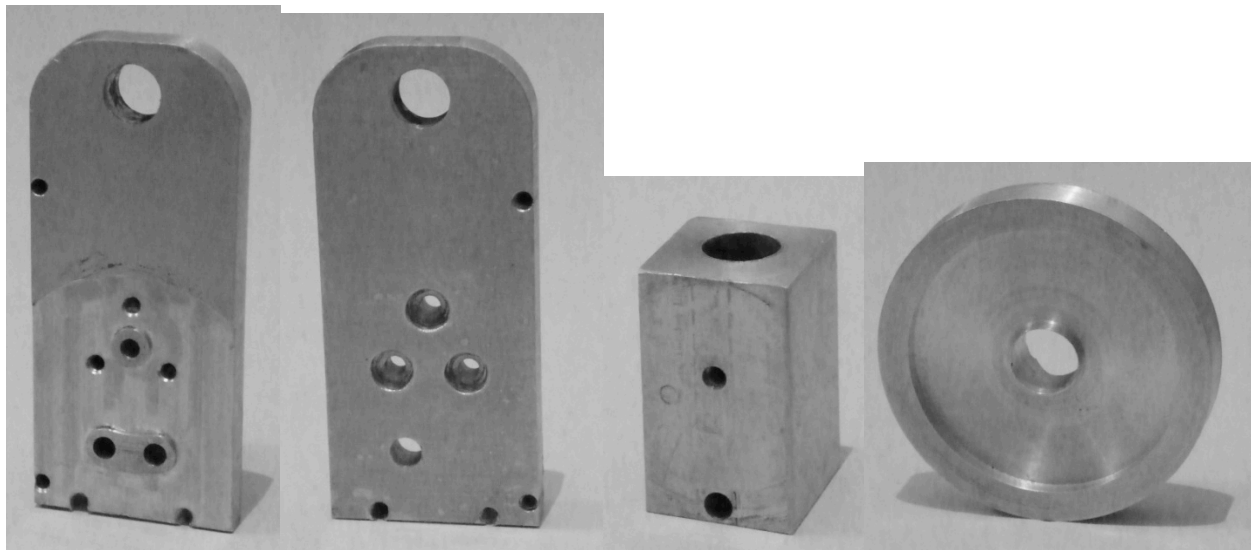


Figura 6.44. Soporte-válvula , soporte, cilindro y volante de inercia.

### 6.7.2 Componentes torneados

Las piezas torneadas mostradas en las figuras 6.45 y 6.46 se fabricaron utilizando el centro de maquinado VMC 242, en un tiempo total de 1 hora y 15 minutos.

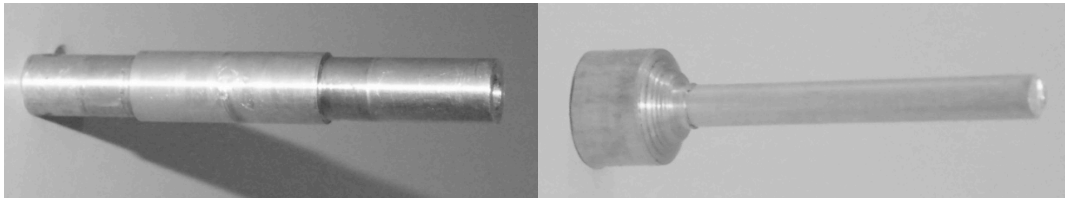


Figura 6.45. Eje y pistón



Figura 6.46. Separador.

### 6.7.3 Componentes plásticos

El conector y la manivela mostrados en la figura 6.47 se realizaron empleando la máquina de prototipos rápidos, el conformado de estas piezas tomó un tiempo de 20 minutos.

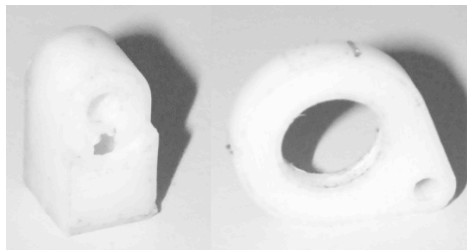


Figura 6.47. Conector y manivela

### 6.7.4 Ensamble

Para el ensamble de los componentes del motor mostrados en la figura 6.48 se requirieron los siguientes componentes comerciales:

Clavo  
Tornillos de 1/8" x 1.0"  
Tuercas de 1/8"  
Machuelo de 5/32 NS32

Resorte  
Rondana  
Cianoacrilato



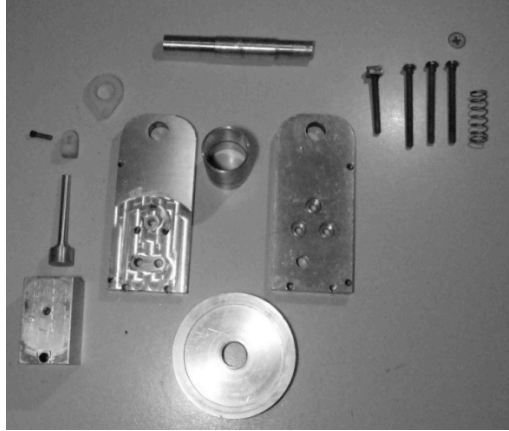


Figura 6.48. Componentes del motor.

En las figuras 6.49, 6.50 y 6.51 se muestran distintas etapas del ensamble del prototipo.

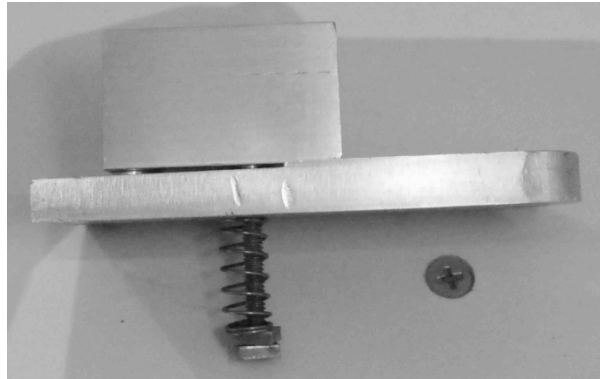


Figura 6.49. Ensamble del bloque con el soporte-válvula

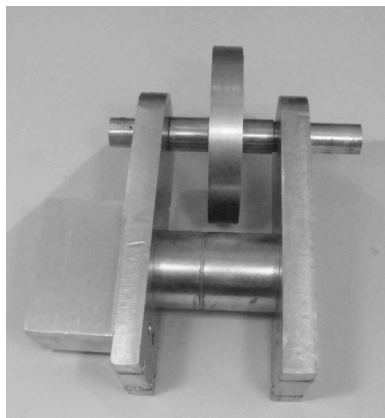


Figura 6.50. Ensamble soportes, volante y eje.

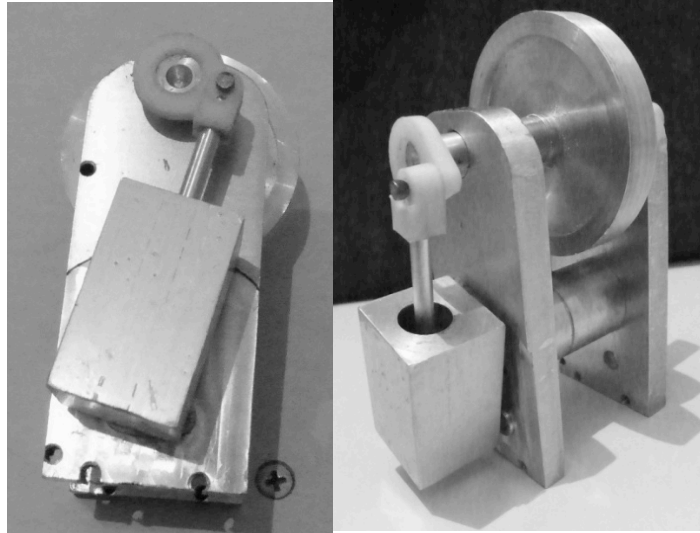


Figura 6.51. Ensamble final

## 6.8 Evaluación del segundo prototipo

### 6.8.1 Costo

En la tabla 6.3 se enumera el costo de materiales y herramientas necesarios para la construcción del prototipo así como el proveedor.

Tabla 6.3. Costo del prototipo

Unidad	Proveedor	Costo [MXP]
Placa de aluminio de 100x350x9.5 mm	Metales La Paloma	\$110.00
Herramientas de corte	FI UNAM	\$180.00
Piezas de ABS	FI UNAM	\$30.00
Tornillos, resorte y separador	Varios	\$35.00
	Total	\$355.00

En la tabla 6.4 se presenta el tiempo utilizado para la realización del prototipo.

Tabla 6.4 Tiempo de realización

Motor de aire		Tiempo [horas]
Ingeniería de detalle		
Modelado de partes.	8	11
Simulación	3	
Fabricación y pruebas		
Generación de códigos.	1.5	6.5
Prototipos rápidos	0.5	
Torneado	0.5	
Fresado.	3.5	
Ensamble.	0.5	
Total		17.5

### 6.8.2 Evaluación del prototipo

Tras evaluar el comportamiento del prototipo, se lograron resolver los problemas manifestados en el primer diseño, el motor tiene un funcionamiento estable, es decir que se logró reducir la vibración y las fugas de aire que se presentaban en el diseño anterior.

En este segundo diseño se eliminaron operaciones de manufactura como el maquinado en una de las caras del cilindro y en el canto de los soportes por lo que se redujo el tiempo de fresado en 1.5 horas.

No se presentaron situaciones que ameriten un rediseño.

# 7. Definición del ejercicio

En este capítulo se expone la experiencia adquirida en la implementación del proyecto del motor de aire en la asignatura y se recomiendan tres escenarios distintos para la aplicación de los dos proyectos en la asignatura.

## 7.1 Integración en la asignatura

El programa de estudio de la asignatura divide el curso en las siguientes secciones (UNAM, 2008):

1. Introducción.
2. Diseño asistido por computadora.
3. Ingeniería asistida por computadora.
4. Manufactura asistida por computadora.

Como resultado de la evaluación del plan de estudios vigente se detectaron temas en los cuales los proyectos pueden ayudar a la comprensión de aquellos.

Estos temas son:

1. Introducción.  
Proceso de innovación de productos.
2. Diseño asistido por computadora.  
Modelado tridimensional.  
Ensamble de modelos sólidos.  
Simulación de mecanismos.
3. Ingeniería asistida por computadora.  
Simulación de inyección de plástico.  
Análisis de esfuerzos.
4. Manufactura asistida por computadora.  
Secuencias de maquinado.  
Programación de máquinas herramienta CNC.

En la tabla 7.1 se presentan ejemplos de aplicación sobre estos temas.

Tabla 7.1 Ejemplos de aplicación

Tema	Bomba	Motor
Modelado	Modelado de engranes y armadura	Modelado de soporte, bloque, pistón y manivela.
Ensamble	Ensamble del modelo	Ensamble del modelo

Tema	Bomba	Motor
Simulación de mecanismos	Simulación de funcionamiento	Simulación de funcionamiento
Simulación de inyección de plástico	Engranés	Conector, manivela
Análisis de esfuerzo	Esfuerzo en eje, esfuerzo de contacto en engrane	Compresión pistón, torsión manivela, esfuerzo bloque durante expulsión.
Secuencia de manufactura	Determinación de secuencia	Determinación de secuencia
Programación CNC	Parámetros de corte y trayectorias	Parámetros de corte y trayectorias

Aparte de integrar los conocimientos adquiridos por los alumnos con anterioridad, los proyectos sirven como ejemplo práctico para la visualización y aprendizaje de estos temas.

## 7.2 Experiencia de aplicación

El proyecto del motor de aire ha sido implementado en la asignatura desde el semestre 2010-1 al 2011-1 presentando a los alumnos el prototipo desarrollado y dándoles la libertad de generar sus propios modelos. Se ha observado una mejora con respecto a los semestres anteriores, que constaban de un proyecto teórico y uno práctico, con este modelo todos los alumnos se involucran en el proceso de manufactura desde el primer proyecto y para el segundo proyecto todos los equipos realizan exitosamente la manufactura de su prototipo y se observa que los alumnos aplican con mayor naturalidad el proceso de innovación de productos. En la figura 7.1 se muestran algunos de estos proyectos.

Algunas de las conclusiones de los alumnos que realizaron este proyecto son:

“Al desarrollar el proyecto entendimos mejor todo lo que implican las etapas de diseño de un producto.”

“Una de las cosas más importantes aprendidas es que para proyectos de este tipo se debe tener una planificación muy detallada para desarrollarlo de manera exitosa.”

“En general, con este proyecto los integrantes del equipo nos pudimos dar cuenta de las problemáticas a las que se enfrenta un ingeniero al crear nuevos productos. Algunas cosas vistas durante todo este proceso son muy importantes, nos dan una gran idea de lo que es la realidad, nos prepara para futuros proyectos, tanto escolares como en industria. Fomenta el trabajo en equipo, colaboración, coordinación.”

“Al momento de diseñar debemos tener en cuenta los productos comerciales disponibles que nos pueden ahorrar tiempo.”

“Se nos presentaron dificultades durante el proceso de manufactura debido al desconocimiento total de la manera de operar las máquinas herramientas.”

Mejoras que los alumnos sugieren para el proyecto.

“La planeación más estructurada de las etapas de diseño y maquinado, tomando en cuenta los tipos de materiales, geometrías y herramientas disponibles.”

“Es de suma importancia tomar en cuenta el tiempo de maquinado ya que no todos los equipos pudimos terminar a tiempo.”

“Nos gustaría que antes del proyecto aprendiéramos sobre los procesos de manufactura.”

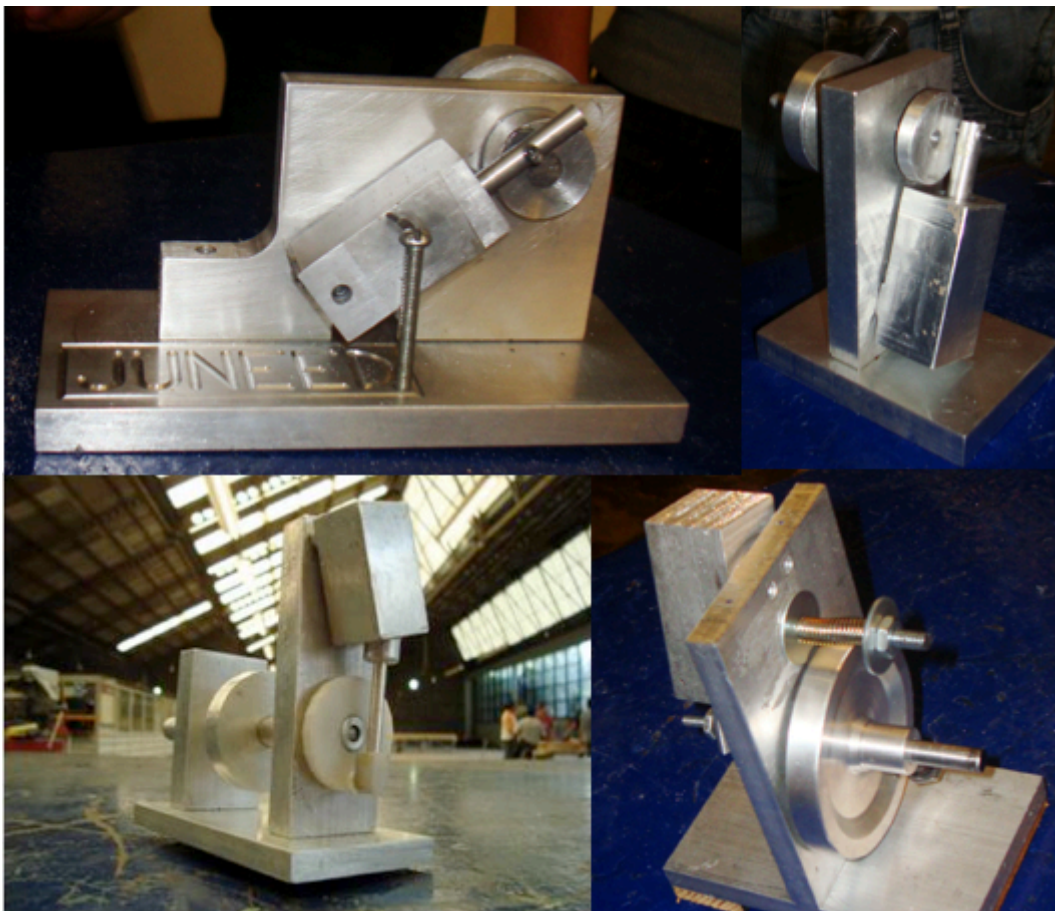


Figura 7.1 Prototipos realizados por los alumnos

Con base en esta experiencia previa se presentan tres escenarios distintos de aplicación de tal forma que el titular de la asignatura elegirá cuál de ellos implementar en su clase, los escenarios son:

- Diseño autónomo.
- Diseño asistido.

## Diseño simplificado.

Diseño autónomo.- Este escenario está pensado para aquellos alumnos que cuentan con experiencia en el área de diseño y manufactura; que han cursado asignaturas como: sistemas de manufactura flexible, procesos de corte, procesos de conformado, diseño del producto, ingeniería de diseño, temas selectos de diseño.

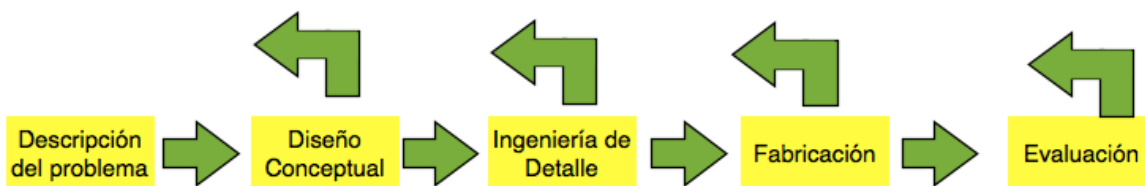
Diseño asistido.- Esta pensado para aquellos alumnos que no están familiarizados con el proceso de diseño, y tienen un nivel medio de conocimientos de manufactura; que han cursado asignaturas como: sistemas de manufactura flexible, procesos de corte, procesos de conformado.

Diseño simplificado.- Este escenario es para aquellos alumnos que no tienen conocimientos en al área de manufactura y se pronostica una baja disponibilidad de las máquinas herramienta.

### 7.3 Diseño autónomo

El ejercicio consiste en que el profesor presente a los alumnos uno de los prototipos desarrollados, el proyecto que los alumnos deben entregar debe ser un prototipo generado con características similares al mostrado, teniendo en cuenta que deben aplicar los pasos de innovación de productos (Ulrich, 2007), (Borja, 2006).

En este escenario los alumnos tienen control sobre los avances y procesos del proyecto.



7.2 Proceso de innovación de productos

El ejercicio consistirá en las siguientes etapas:

Descripción del problema: En esta etapa el profesor les mostrará el prototipo y explicará los alcances del proyecto.

**Diseño conceptual:** Consiste en buscar información sobre el funcionamiento de la máquina propuesta, analizar el funcionamiento del modelo seleccionado, reconocer oportunidades de mejora, proponer y evaluar mejoras al diseño.

**Ingeniería de detalle:** Consiste en crear el modelo sólido del producto, de partes y de ensamble, la simulación de su funcionamiento y el análisis de esfuerzos en los elementos que conforman al prototipo.

**Fabricación:** En esta etapa se definirán las operaciones de manufactura, herramientas, simulación de manufactura, generación de código, maquinado de piezas y ensamble.

**Evaluación:** La evaluación del prototipo se realizará comparando el funcionamiento del modelo de cada equipo con respecto a los demás; los alumnos evaluarán su desempeño en el proyecto. Y deberán presentar los resultados de su proyecto, los planos y la documentación correspondiente.

En la tabla 7.2 y 7.3 se presenta el tiempo estimado de realización para cada ejercicio.

Tabla 7.2 Tiempos de realización de la bomba

Bomba		Tiempo [horas]
Descripción del proyecto		2
<b>Diseño conceptual</b>		23
Buscar Información	10	
Analizar el funcionamiento	8	
Reconocer oportunidades de mejora	2	
Proponer modificaciones	2	
Evaluar modificaciones	1	
<b>Ingeniería de detalle</b>		11
Modelado de partes.	6	
Modelado de ensamble.	1	
Simulación	4	
<b>Fabricación y pruebas</b>		7
Generación de códigos.	1	
Prototipos rápidos.	1.5	
Fresado.	4	
Ensamble.	0.5	
<b>Evaluación</b>		2
Total		45



Tabla 7.3 Tiempos de realización del motor de aire

Motor de aire		Tiempo [horas]
Descripción del proyecto		2
<b>Diseño conceptual</b>		26
Buscar Información	10	
Analizar el funcionamiento	6	
Reconocer oportunidades de mejora	3	
Proponer modificaciones	6	
Evaluar modificaciones	1	
<b>Ingeniería de detalle</b>		8
Modelado de partes.	3	
Modelado de ensamble.	1	
Simulación	4	
<b>Fabricación y pruebas</b>		9
Generación de códigos.	1	
Prototipos rápidos.	0.5	
Fresado.	4	
Torneado	2	
Ensamble.	1.5	
<b>Evaluación</b>		2
<b>Total</b>		<b>47</b>

Considerando que se trabajará en equipos de tres integrantes y que cada integrante aporte 5 horas efectivas por semana. Las primeras tres etapas pueden completarse en un periodo de dos semanas. Este calculo se basa en que la asignatura es de 10 créditos, lo que exige 10 horas por semana.

El tiempo restante, correspondiente a la fabricación se podrá distribuir en un periodo de dos semanas considerando que los laboratorios de manufactura se comparten con otros departamentos de la facultad y la disponibilidad de los equipos se encuentra limitada; pero consideramos que este es un tiempo adecuado para que no exista interferencia entre grupos y los alumnos terminen su proyecto.

#### 7.4 Diseño asistido

El ejercicio consiste en que el profesor presente a los alumnos uno de los prototipos desarrollados, además de un documento donde se exponen parámetros de diseño importantes para el prototipo(Ver anexo 3 y 4). Con el objeto de agilizar la etapa de diseño de configuración.

El proyecto consiste en las siguientes etapas.

**Descripción del problema:** El profesor les mostrará el prototipo, entregará los parámetros de diseño y explicará los alcances del proyecto.

**Diseño conceptual:** Los alumnos analizarán el modelo y diseñarán la configuración final.

**Ingeniería de detalle:** Esta etapa consiste en crear el modelo sólido del producto, de partes, ensamble, simulación de su funcionamiento y la simulación FEM de los elementos.

**Fabricación:** En esta etapa se definirán las operaciones de manufactura, herramientas, simulación de manufactura, generación de código, maquinado de piezas y ensamble.

**Evaluación:** La evaluación del prototipo se realizará comparando el funcionamiento del modelo de cada equipo con respecto a los demás; los alumnos evaluarán su desempeño en el proyecto, y deberán presentar los resultados de su proyecto, los planos y la documentación correspondiente.

En la tabla 7.4 y 7.5 se presenta el tiempo estimado de realización para cada ejercicio.

**Tabla 7.4 Tiempos de realización de la bomba**

Bomba		Tiempo [horas]
Descripción del proyecto		2
Diseño conceptual		8
Análisis del modelo	2	
Diseño de configuración	6	
Ingeniería de detalle		11
Modelado de partes.	6	
Modelado de ensamble.	1	
Simulación	4	
Fabricación y pruebas		8
Generación de códigos.	1	
Prototipos rápidos.	2	
Fresado.	4	
Ensamble.	1	
Evaluación		2
Total		31

Tabla 7.5 Tiempos de realización del motor de aire

Motor de aire		Tiempo [horas]
Descripción del proyecto		2
Diseño conceptual		
Análisis del modelo	2	8
Diseño de configuración	6	
Ingeniería de detalle		
Modelado de partes.	3	8
Modelado de ensamble.	1	
Simulación	4	
Fabricación y pruebas		
Generación de códigos.	1	10
Prototipos rápidos.	1	
Fresado.	4	
Torneado	2	
Ensamble.	2	
Evaluación		2
Total		30

Considerando que se trabajará en equipos de tres integrantes y que cada integrante aporte 5 horas por semana. Las primeras tres etapas pueden completarse en un periodo de una semana.

El tiempo restante correspondiente a la fabricación se podrá distribuir en un periodo de tres semanas.

En los anexos 3 y 4 se encuentran los documentos de apoyo de cada proyecto, en los cuales se presenta la información mas relevante para el diseño de los proyectos.

## 7.5 Diseño simplificado

En este escenario se suspende totalmente la etapa de diseño y el proyecto consiste en entregar a los alumnos los planos generados en este trabajo con el objeto de que los reproduzcan.

Las etapas en que consistirá este proyecto son.

Descripción del problema: En esta etapa el profesor les mostrará el prototipo, entregará los planos y explicará los alcances del proyecto.

Fabricación: En esta etapa se generarán los modelos sólidos, operaciones de manufactura, herramientas, simulación de manufactura, generación de código, maquinado de piezas y ensamble.

Evaluación. La evaluación del proyecto será a través de la documentación de manufactura que generen los alumnos y una validación dimensional del prototipo, es decir, las cotas medidas directamente en el modelo generado deben coincidir con las dimensiones indicadas en los planos.

En la tabla 7.6 y 7.7 se presenta el tiempo estimado de realización para cada ejercicio.

Tabla 7.6 Tiempos de realización de la bomba

Bomba	Tiempo [horas]
Descripción del proyecto	2
Fabricación y pruebas	
Generación de modelos.	4
Generación de códigos.	1
Prototipos rápidos.	2
Fresado.	4
Ensamble.	1
Evaluación	2
Total	16

Tabla 7.7 Tiempos de realización del motor de aire

Motor de aire	Tiempo [horas]
Descripción del proyecto	2
Fabricación y pruebas	
Generación de modelos.	3
Generación de códigos.	1
Prototipos rápidos.	0.5
Fresado.	4
Torneado	2
Ensamble.	1.5
Evaluación	2
Total	16

Se recomienda un tiempo de 4 semanas para la realización de este proyecto.

## 7.6 Resumen

En este capítulo se desarrollaron tres escenarios diferentes para la aplicación del proyecto, cada uno de los escenarios fue pensado de acuerdo con tiempo disponible, del nivel técnico que presente el grupo y la disponibilidad de los equipos de manufactura.

El profesor elegirá el escenario que más se adecue a sus necesidades, de acuerdo con los antecedentes del grupo, el tiempo y la disponibilidad de los equipos de manufactura.

Idealmente, el primer proyecto del semestre se realizaría bajo el escenario de diseño asistido, para que los alumnos realicen el proyecto en poco tiempo; y el segundo proyecto se debe realizar bajo el escenario de diseño autónomo, en el cual los alumnos tendrían más control sobre su proyecto.

Si el primer proyecto es el motor de aire, el segundo proyecto de la bomba podría integrarse con el primero de manera que la bomba deba ser movida por el motor que construyeron previamente los alumnos como se muestra en la figura 7.2; dándole una continuidad a los proyectos durante el semestre.

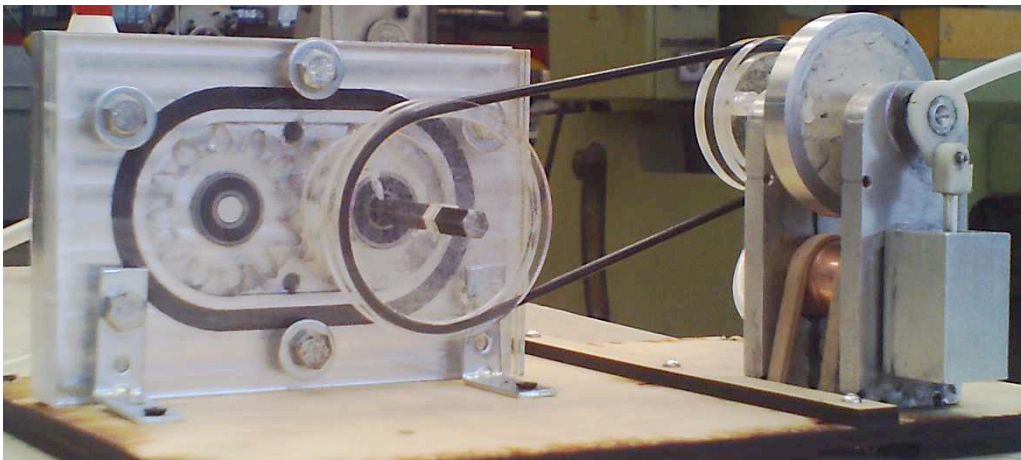


Figura 7.2. Conjunto motor-bomba

El caso contrario en el que el primer proyecto sea la bomba de agua también sería válido, empleando un motor eléctrico como fuente motriz inicial.

Para evaluar el aprendizaje de los alumnos el profesor tendrá que comparar el desempeño de estos en los proyectos realizados durante el semestre. Teniendo que observarse una notable mejoría en la forma de trabajo y en los resultados entregados por los alumnos del primer proyecto al siguiente.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

Se generaron dos proyectos para la asignatura de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora, que cumplen con:

- Al utilizar la estrategia de aprendizaje basado en proyectos, los alumnos aprenden el manejo y las capacidades de programas computacionales y máquinas herramientas relacionadas con la disciplina, expandiendo sus capacidades profesionales.
- Se generó la documentación necesaria para la fabricación de los dos dispositivos; la cual consta de:
  - El modelo funcional, planos, lista de partes y parámetros de diseño de los dispositivos, los cuales se encuentran en los anexos.
  - Información que detalla el proceso el diseño de detalle de los dispositivos, esta se encuentra en los capítulos 5 y 6.
  - Información detallada del proceso de diseño conceptual y la selección de los proyectos a realizar en el curso, esta se encuentra en el capítulo 4.
  - Recomendaciones para la aplicación de los proyectos en la materia y la continuación de este trabajo, esta información se encuentra en los capítulos 7 y 8.
- Los dispositivos realizan una función medible y sus componentes interactúan entre si, lo que permite a los alumnos comparar su proyecto con otros.
- Los dispositivos atraen interés hacia la asignatura al involucrar los temas vistos en esta, además de integrar conocimientos aprendidos en otras asignaturas.
- Involucran varios procesos de manufactura lo que permite a los alumnos familiarizarse con ellos.
- Los proyectos promueven el trabajo en equipo y la competencia entre equipos lo que logra mantener el interés y la motivación de los alumnos, esto permite tener un ambiente propicio para el aprendizaje de las tecnologías CAD/CAM/CAE, extendiendo así las capacidades de los estudiantes y preparándolos para el ejercicio profesional.
- Son realizables en un periodo máximo de seis semanas con las máquinas disponibles en la facultad y con una inversión no mayor a 500 pesos por equipo, incluyendo materiales y cortadores y sin contar los costos indirectos asociados al laboratorio de manufactura avanzada. Permitiendo al profesor

insertar el proyecto en el curso sin perturbar el desarrollo de su clase y resultan ser económicamente viables para los alumnos.

De este trabajo se concluye lo siguiente:

- La aplicación de este trabajo esta orientada para los alumnos de diseño y manufactura asistidos por computadora y se basa para su implementación en el método de proyectos.
- Esta manera de trabajo así como puede ayudar a mejorar significativamente el aprendizaje y contribuir a la motivación y participación de los alumnos, también puede retrasar el progreso del mismo y distraer a los alumnos de los objetivos del proyecto.
- El éxito o fracaso en la aplicación de estos proyectos esta de acuerdo con los antecedentes de los alumnos. Es de suma importancia la valoración que el profesor haga de estos, es importante que el profesor discrimine entre actividades que resulten un reto para el desarrollo de los alumnos y actividades que sólo pueden aportar frustración.
- Debido a que la complejidad del proyecto es regulable, como se vio en el capítulo anterior. Idealmente los alumnos podrían realizar el primer proyecto del semestre con el escenario de diseño asistido, y el segundo proyecto con el escenario de diseño autónomo.
- Durante el desarrollo de este trabajo se observo que para tener mayores oportunidades de éxito del proyecto los alumnos necesitan tener conocimientos previos sobre los métodos de manufactura por lo que se recomienda ampliamente que esta asignatura sea consecuente de otra asignatura del área de manufactura, preferentemente con Sistemas de Manufactura Flexible.
- Los modelos propuestos presentan la posibilidad de que los alumnos personalicen sus propios modelos, ya sea durante el proceso de diseño al modificar la configuración, o en caso de que fabriquen el mismo modelo, pueden personalizarlo al hacer una marca o diseño distintivo con la máquina de control numérico.
- El proyecto del motor de aire ha sido implementado en la asignatura desde el semestre 2010-1 al 2011-1 y los alumnos han expresado su apoyo para la realización de este tipo de proyectos e incluso lo han elegido como segundo proyecto.

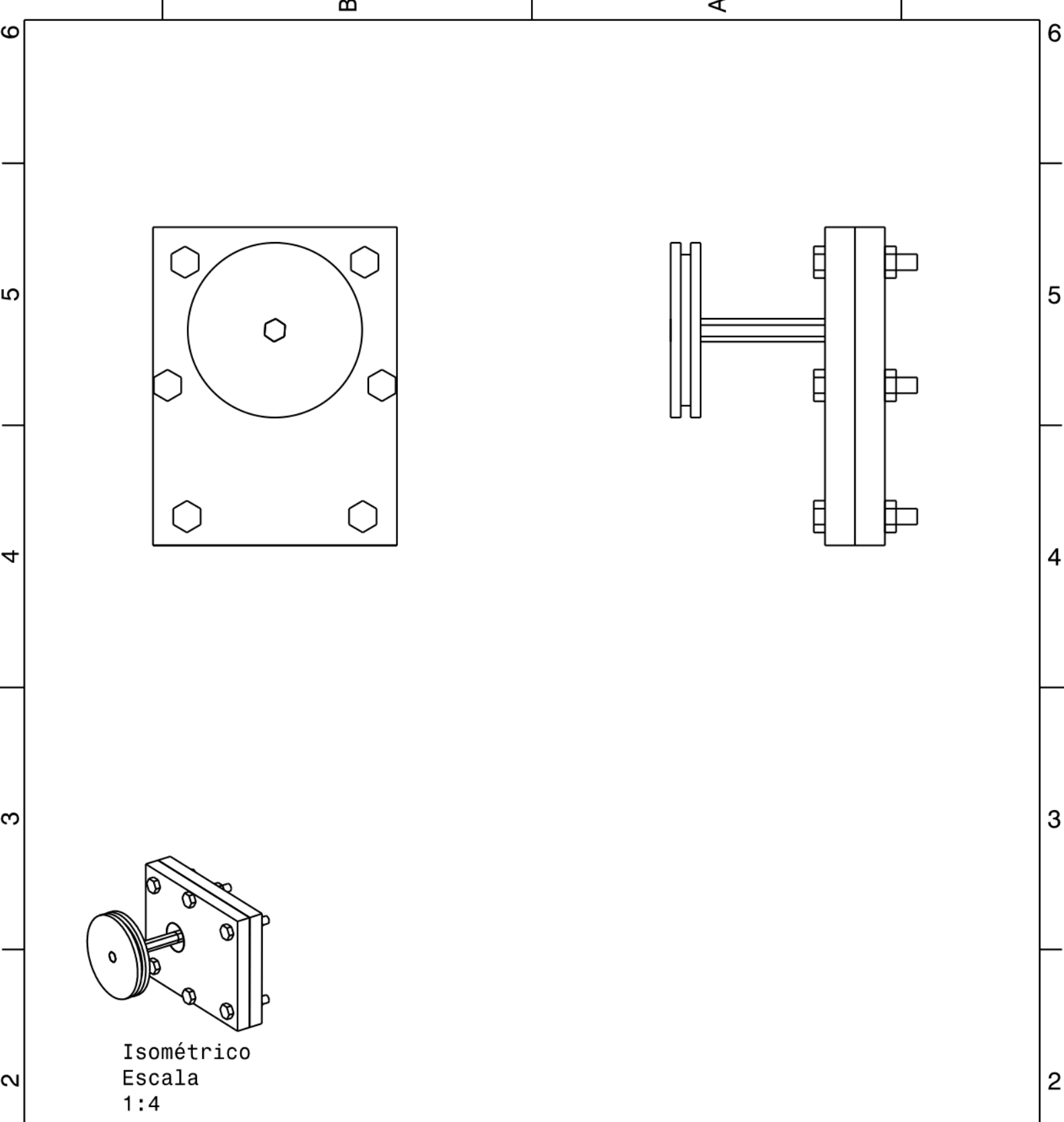
En esta tesis se presenta una metodología de trabajo para la generación de proyectos para la asignatura, se enlistan las siguientes recomendaciones para la continuación de este trabajo.

- Es de suma importancia que en la etapa de diseño conceptual se consideren las capacidades de las maquinas herramientas disponibles en la Facultad.
- Las especificaciones deben definirse tomando en cuenta el contexto de aplicación de los proyectos.
- No desechar conceptos en la etapa de diseño conceptual hasta no haber realizado su evaluación numérica.
- En la etapa de ingeniería de detalle antes de hacer cálculos detallados sobre el dispositivo se recomienda crear un prototipo para analizar las variables de mayor importancia para el funcionamiento del mismo, con el objeto de reducir el tiempo de desarrollo.



## Anexo 1. Planos de la bomba.

Lista de partes del proyecto bomba				
BOM Id	Parte	Plano	Material	Notas de manufactura
1	Armadura	3	Aluminio	
2	Balero 9mm	Comercial		609RS
3	Balero 8mm	Comercial	Plástico ABS	608RS
4	Engrane Libre	4	Acrílico/Plástico ABS	
5	Engrane Impulsor	5	Acrílico/Plástico ABS	
6	Eje	Comercial	Acero	Llave Allen de 5/16"
7	Sello	Comercial	Hule	
8	Cubierta	6	Aluminio	
9	Tornillo	Comercial	Acero	1/4" x 1/2"
10	Tuerca	Comercial	Acero	1/4" NS 22
11	Polea	7	Acrílico/Plástico ABS Aluminio/Comercial	Aplicar pegamento entre la polea y el eje



Isométrico  
Escala  
1:4

DISEÑADO POR: Jorge Luis Ramirez Garcia	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:2	MATERIAL

<h1>Conjunto Bomba</h1>	
<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>	
DIBUJO	Bomba
UNIDADES	mm

PLANO:	1
--------	---

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

B

A

6

6

5

5

4

4

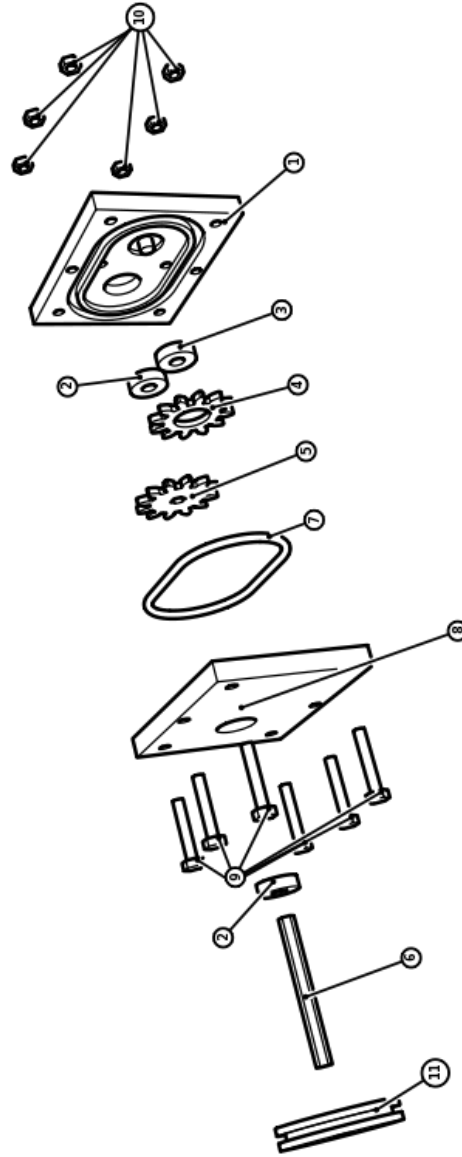
3

3

2

2

Description	BOM Id	Qty
Armadura	1	1
Balero de 9mm	2	2
Balero de 8mm	3	1
Engrane Libre	4	1
Engrane impulsor	5	1
Eje	6	1
Sello	7	1
Cubierta	8	1
Tornillos	9	6
Tuercas	10	6
polea	11	1



DISEÑADO POR:  
 Jorge Luis Ramirez Garcia  
 FECHA:  
 21/12/2010

REVISADO POR:  
 Vicente Borja Ramirez  
 FECHA:  
 XXX

FORMATO  
 Carta



ESCALA  
 1:1

MATERIAL

DIBUJO

# Explosivo

Facultad de Ingeniería, UNAM

Bomba

UNIDADES  
 mm

PLANO:

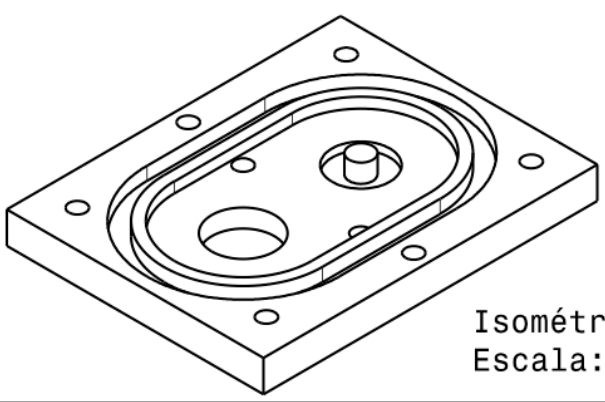
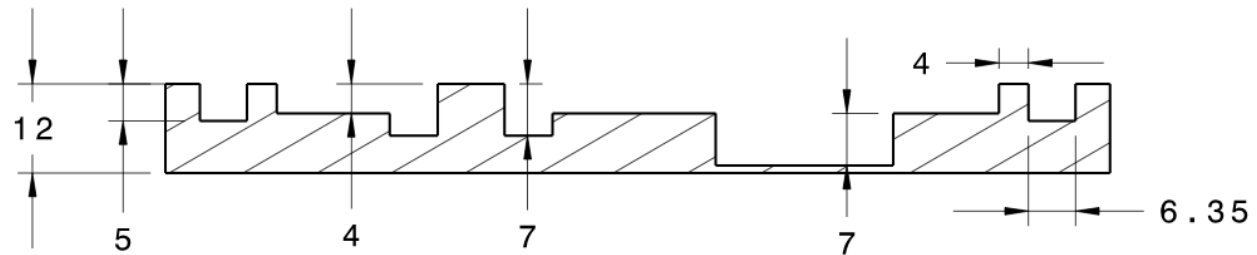
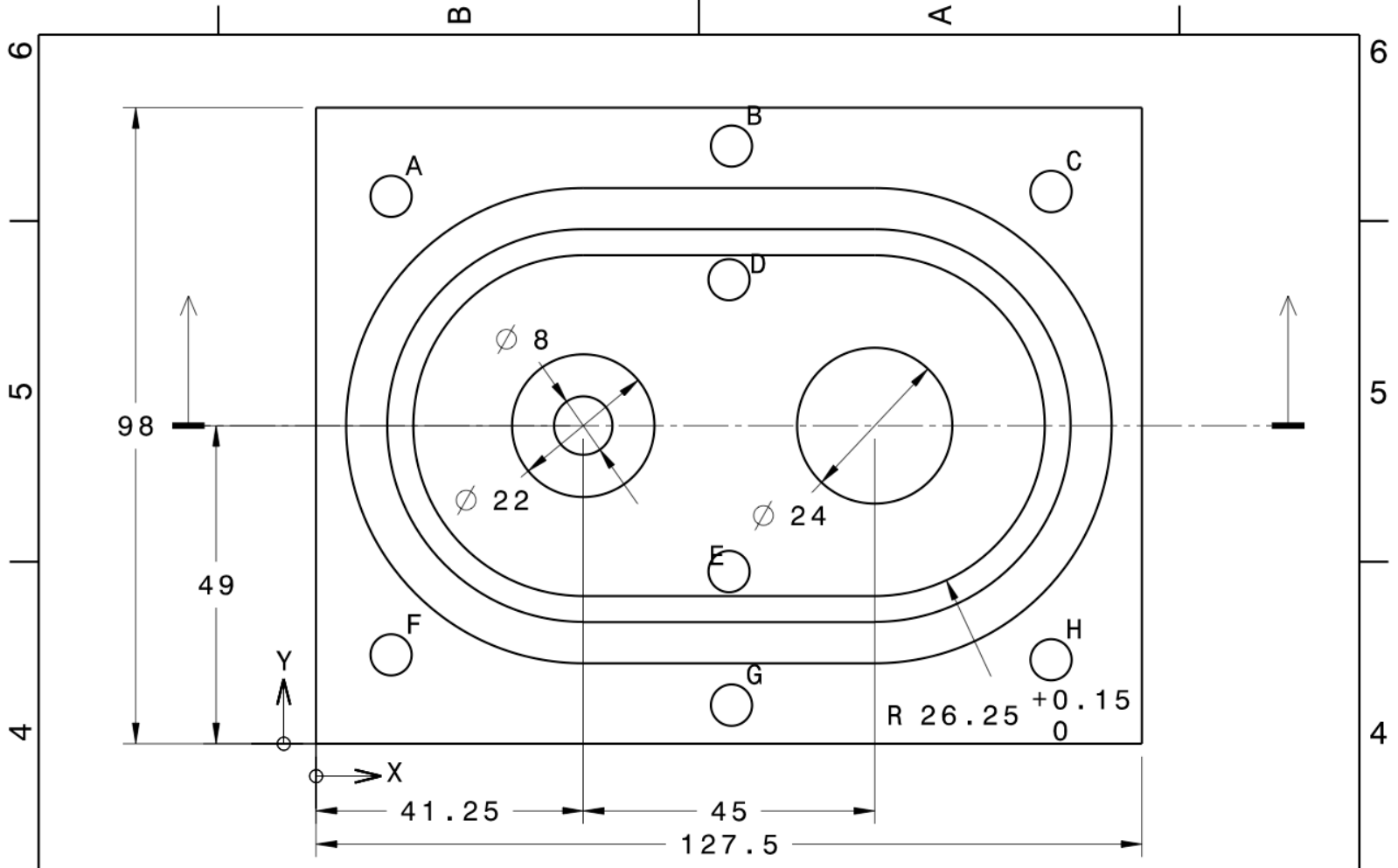
Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

B

A

1

1



Isométrico  
Escala: 1:2

Ubicación Barrenos		
REF.	X	Y
A	11.56	84.32
B	64.13	92.07
C	113.48	85.07
D	63.75	71.48
E	63.75	26.52
F	11.56	13.68
G	64.13	5.93
H	113.48	12.93

DISEÑADO POR: Jorge Luis Ramirez Garcia	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio

<h1>Armadura</h1>	
<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>	
DIBUJO	Bombas
UNIDADES	mm

PLANO:	3
--------	---

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

B

A

6

6

5

5

4

4

3

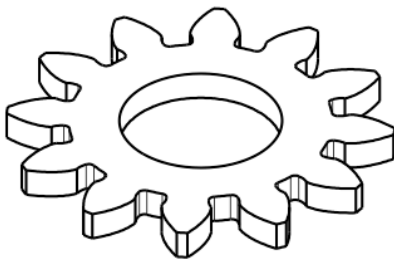
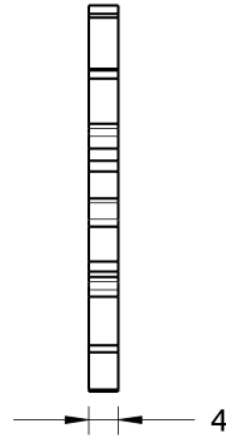
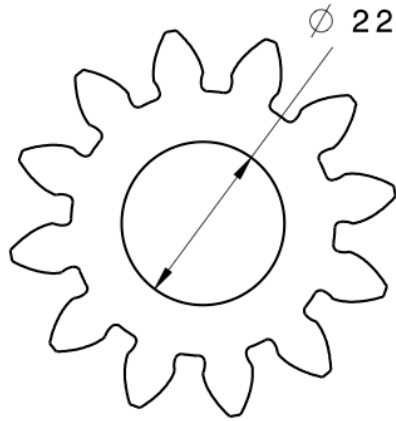
3

2

2

1

1

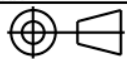


Diámetro primitivo	45 mm
Módulo	3.75 mm/diente
Addendum	3.75 mm
Dedendum	4.69 mm
Diámetro exterior	52.5 mm
Diámetro de dedendum	36.63 mm

DISEÑADO POR:  
 Jorge Luis Ramirez Garcia  
 FECHA:  
 21/12/2010

REVISADO POR:  
 Vicente Borja Ramirez  
 FECHA:  
 XXX

FORMATO  
 Carta



ESCALA  
 1:1

MATERIAL

DIBUJO  
 Bomba

UNIDADES  
 mm

# Engrane Libre

Facultad de Ingeniería, UNAM

PLANO:

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

4

B

A

B

A

6

6

5

5

4

4

3

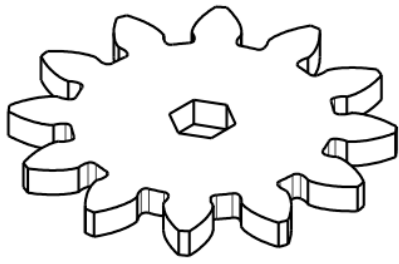
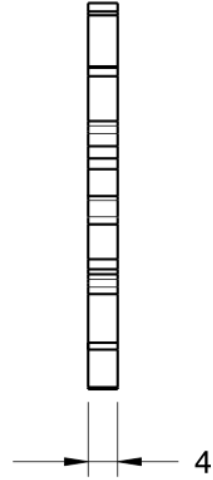
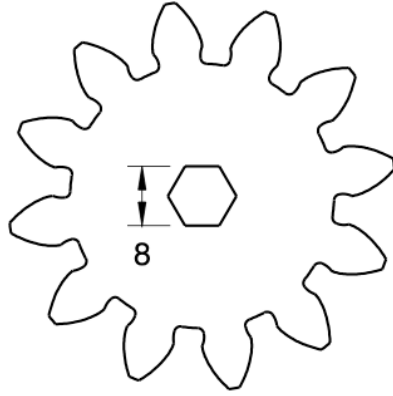
3

2

2

1

1



Diámetro primitivo	45 mm
Módulo	3.75 mm/diente
Addendum	3.75 mm
Dedendum	4.69 mm
Diámetro exterior	52.5 mm
Diámetro de dedendum	36.63 mm

DISEÑADO POR: Jorge Luis Ramirez Garcia	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL

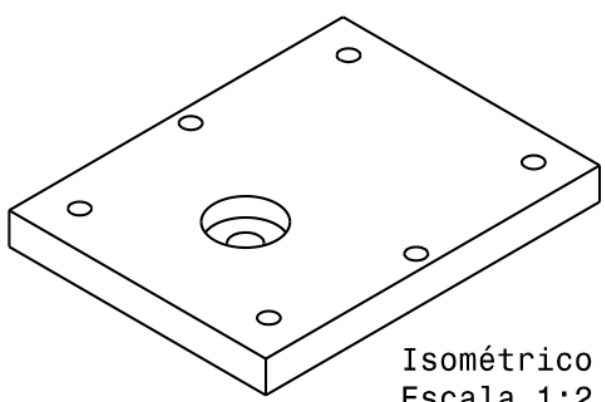
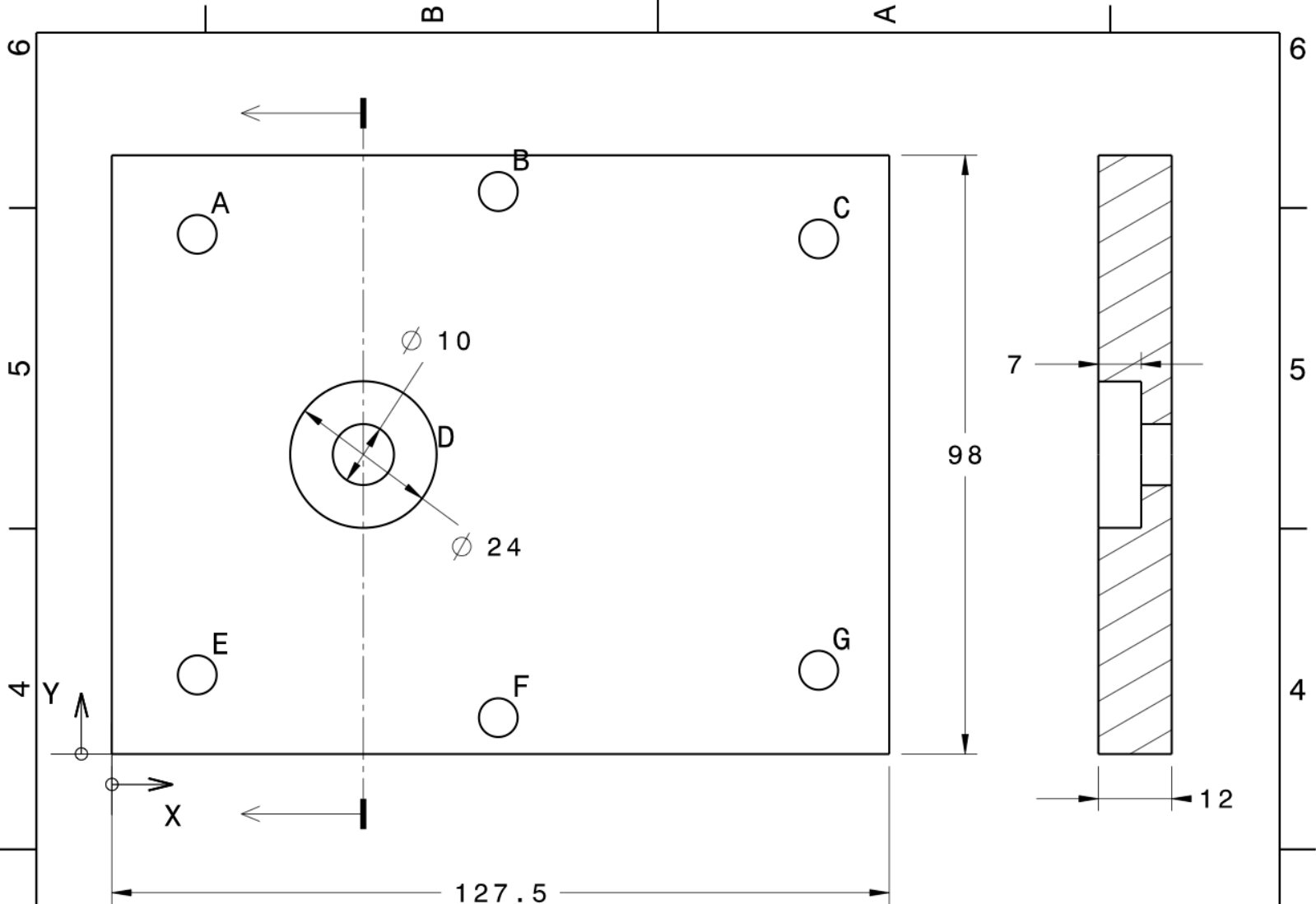
<h1>Engrane Impulsor</h1>	
<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>	
DIBUJO	Bombas
UNIDADES	mm

PLANO:	5
--------	---

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

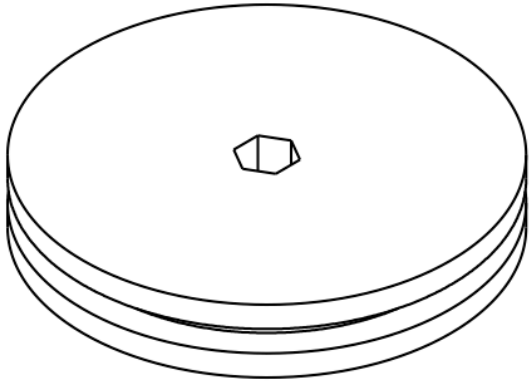
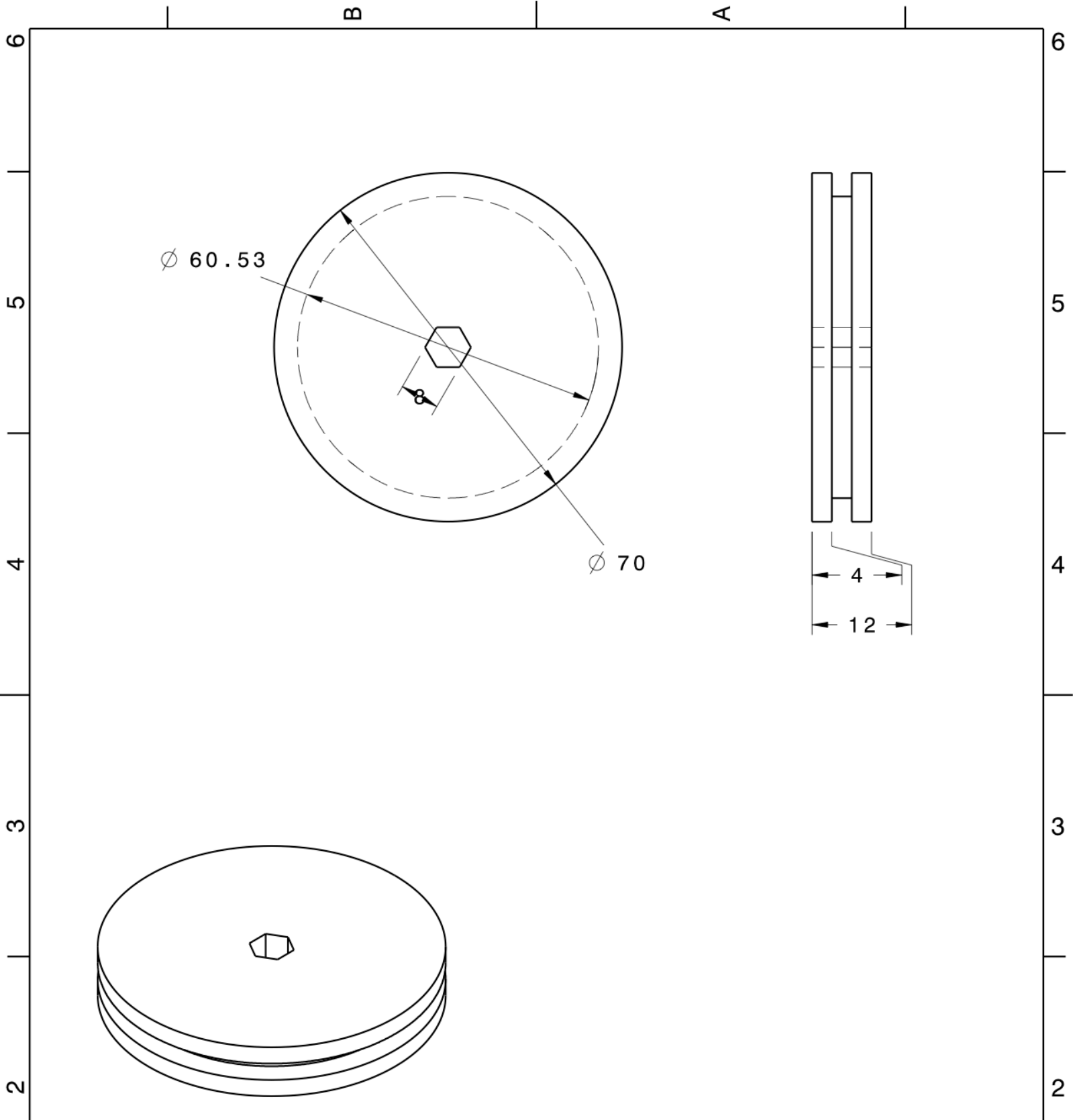
B

A



Ubicación Barrenos		
REF.	X	Y
A	14.02	85.07
B	63.37	92.07
C	115.94	84.32
D	41.25	49
E	14.02	12.93
F	63.37	5.93
G	115.94	13.68

DISEÑADO POR: Jorge Luis Ramirez Garcia		<h1>Cubierta</h1>	
FECHA: 21/12/2010			
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez		<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>	
FECHA: XXX			
FORMATO Carta		<h3>Bomba</h3>	
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio		
DIBUJO		UNIDADES mm	PLANO: 6
Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM			



DISEÑADO POR: Jorge Luis Ramirez Garcia	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL

<h1>Polea</h1>	
Bomba	
UNIDADES mm	

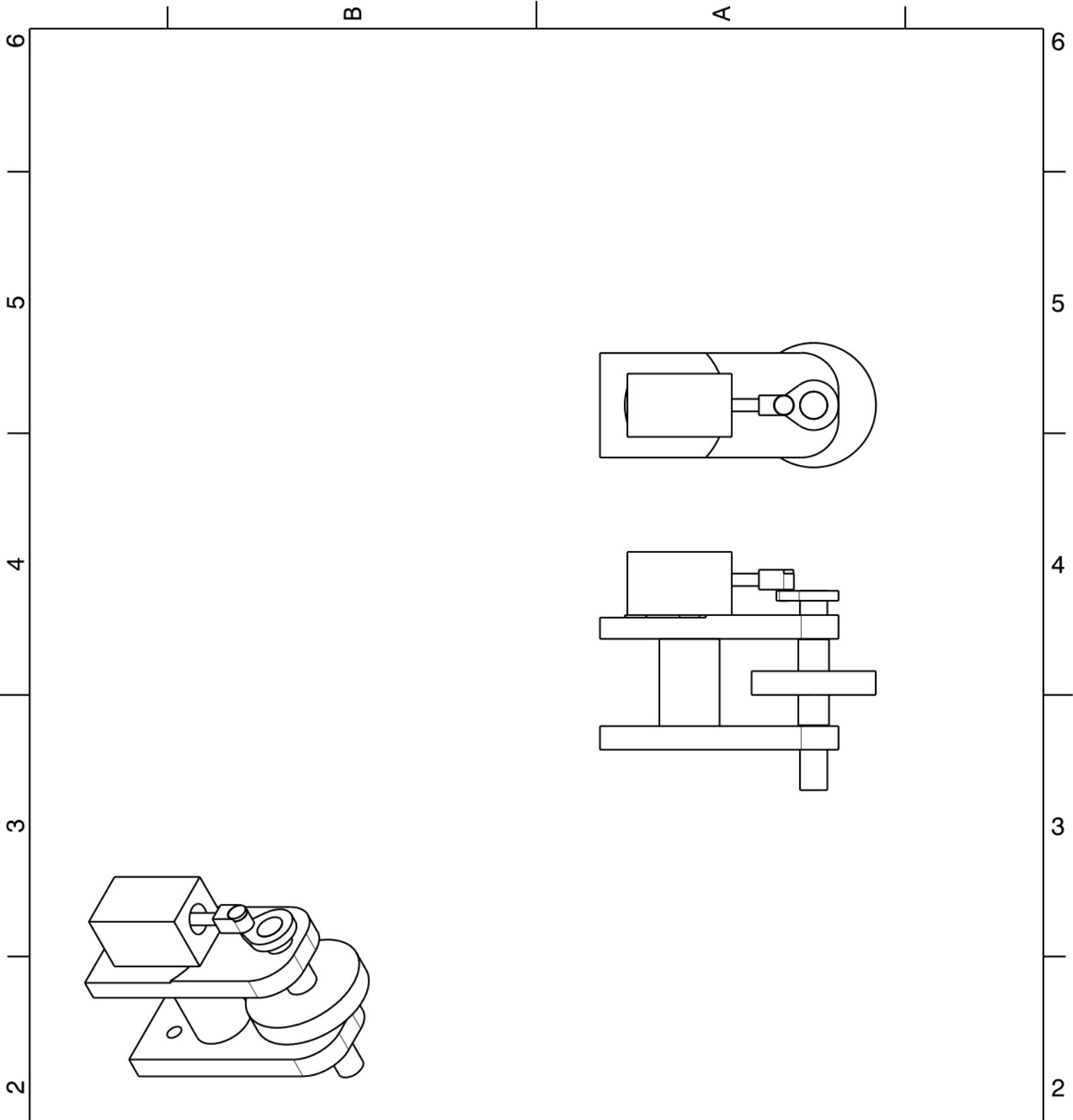
PLANO: 7
-------------

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM



## Anexo 2. Planos del motor de aire.

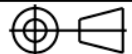
Lista de partes del proyecto motor oscilante					
BOM Id	Parte	Plano	Material	Cantidad	Notas de manufactura
1	Cilindro	3	Aluminio	1	
2	Pivote	Comercial	Acero	1	Cuerpo de un tornillo de [5/32 NS32] X 45 mm
3	Soporte-válvula	4	Aluminio	1	
4	Resorte	Comercial	Acero	1	
5	Tuerca	Comercial	Acero	2	[5/32 NS32]
6	Volante	5	Aluminio	1	
7	Eje	6	Aluminio	1	Aplicar pegamento en la unión del Volante con el eje
8	Separador	Comercial	Cobre	1	Cople de 1/2" de diámetro x 35 mm, rectificar caras en torno.
9	Soporte	7	Aluminio	1	
10	Tornillos	Comercial	Acero	3	[5/32 NS32] x 2"
11	Manivela	8	Plástico ABS	1	Aplicar pegamento en la unión de la Manivela con el eje
12	Émbolo	8	Aluminio	1	
13	Conector	8	Plástico ABS	1	Aplicar pegamento en la unión del Émbolo con el conector
14	Perno	Comercial	Acero	1	Cabeza de un clavo de 2.8 mm de diámetro



DISEÑADO POR:  
Luis I. Corella V  
FECHA:  
21/12/2010

REVISADO POR:  
Vicente Borja Ramirez  
FECHA:  
XXX

FORMATO  
Carta



ESCALA  
1:2

MATERIAL

DIBUJO  
Motor Oscilante

UNIDADES  
mm [in]

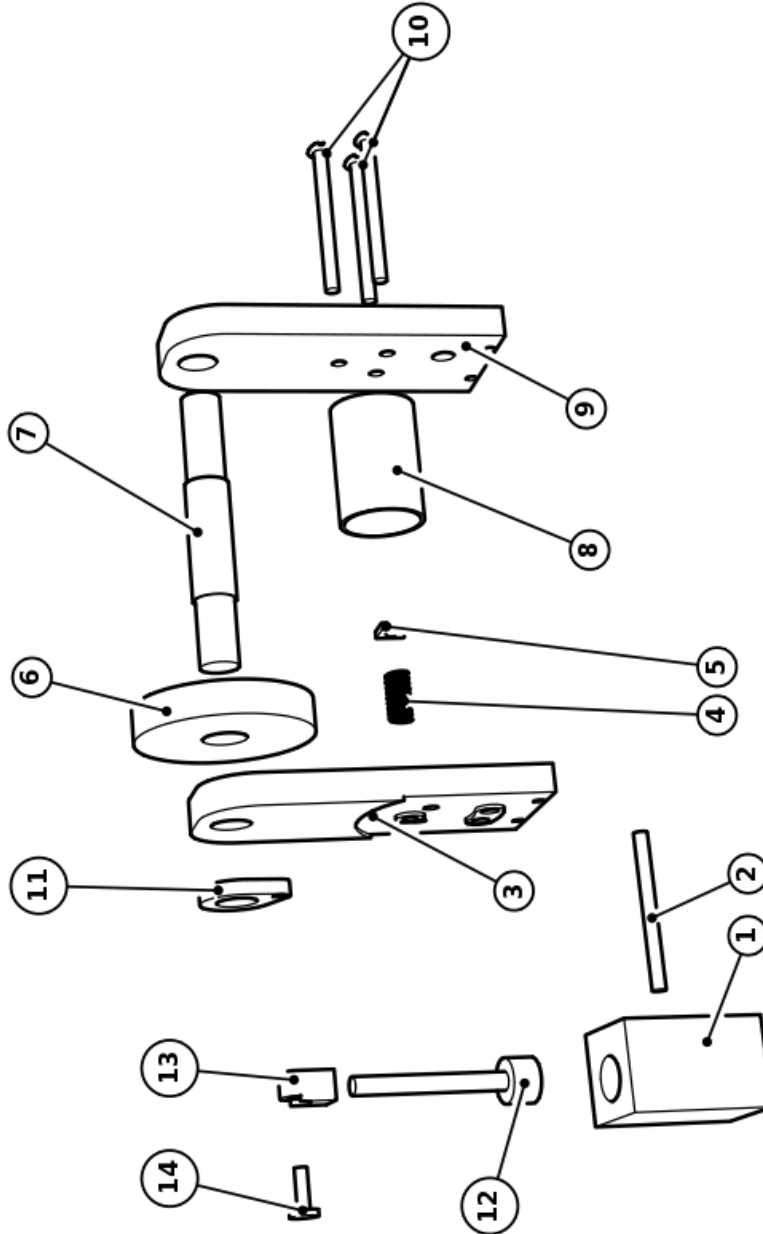
PLANO

1

# Conjunto Motor

Facultad de Ingeniería, UNAM

Description	BOM Id
Cilindro	1
Pivote	2
Soporte-Valvula	3
Resorte	4
Tuerca	5
Volante	6
Eje	7
Separador	8
Soporte	9
Tornillo	10
Manivela	11
Embolo	12
Conector	13
Perno	14



DISEÑADO POR: Luis I. Corella V	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio

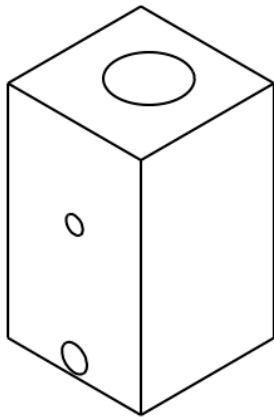
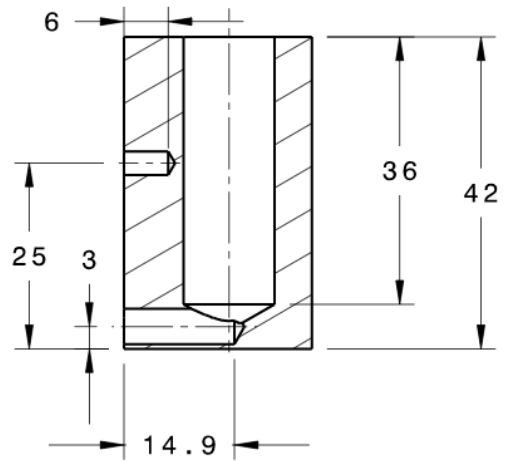
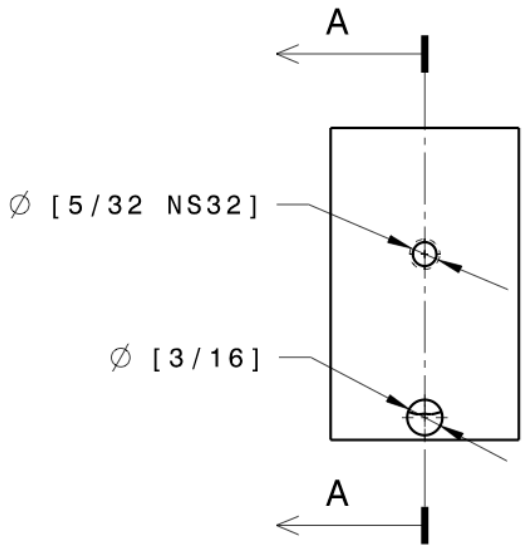
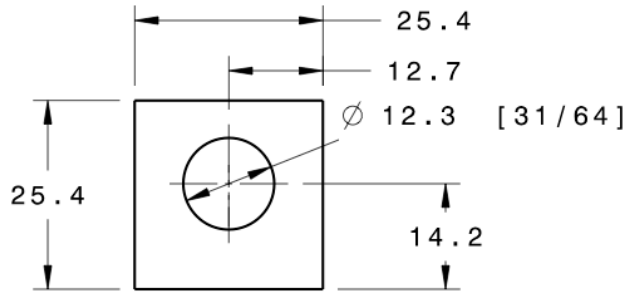
<h1>Explosivo</h1>	
<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>	
<h3>Motor Oscilante</h3>	
UNIDADES mm [in]	

PLANO	2
-------	---

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

B

A



DISEÑADO POR: Luis I. Corella V	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio

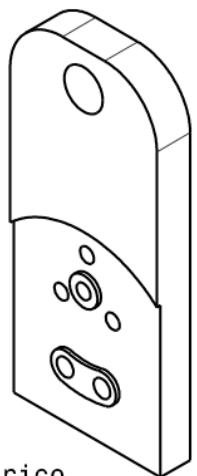
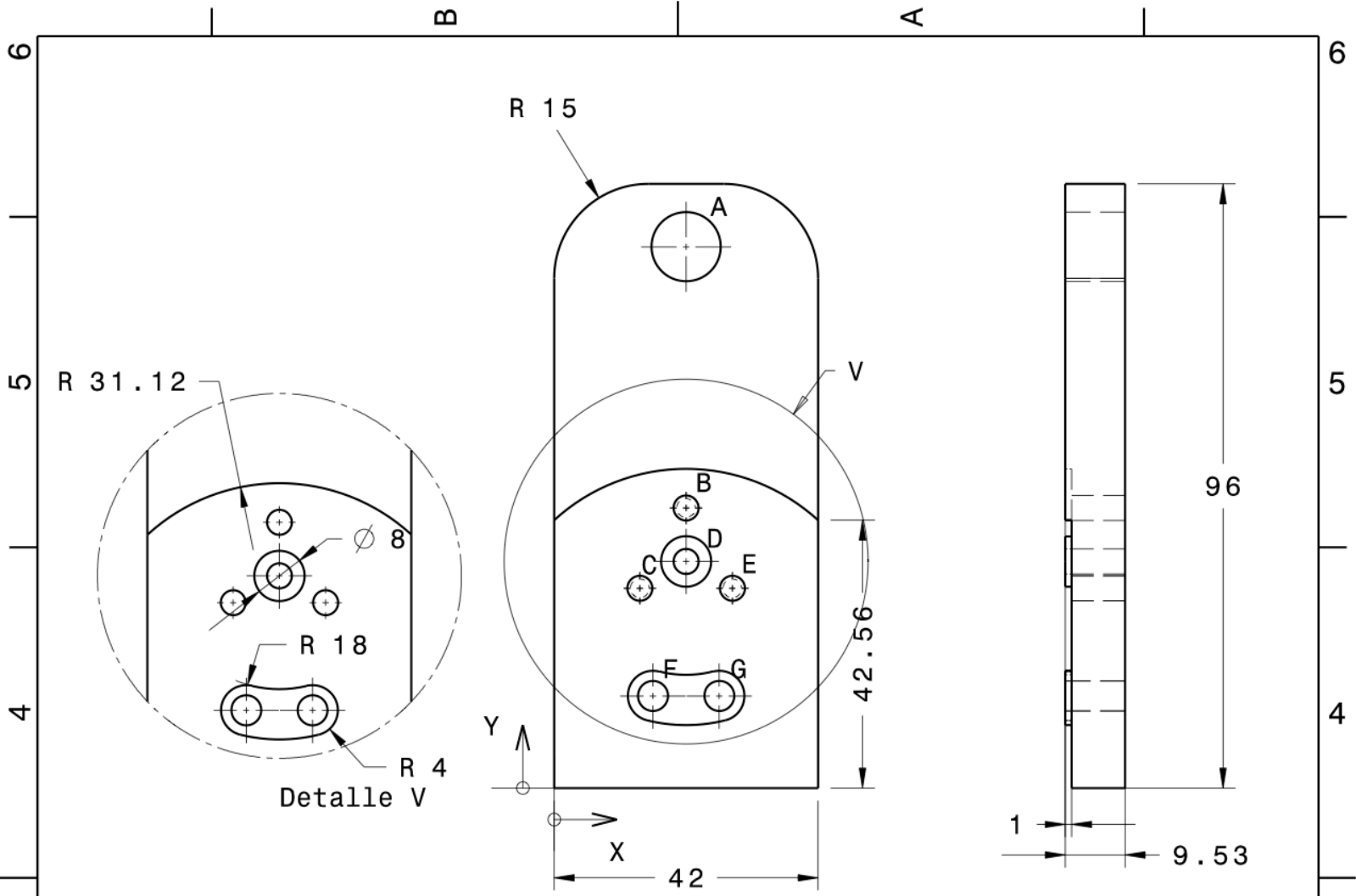
<h1>Cilindro</h1>	
<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>	
<h3>Motor Oscilante</h3>	
UNIDADES mm [in]	

PLANO	3
-------	---

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

B

A



Isométrico  
2:3

Ubicación Barrenos				
REF.	X	Y	Diametro	
A	21	86	11 H7	H7 (0,+18)
B	21	44.5	[5/32 NS32]	
C	13.64	31.75	[5/32 NS32]	
D	21	36	[5/32]	
E	28.36	31.75	[5/32 NS32]	
F	15.72	14.64	4.76 [3/16]	
G	26.28	14.64	4.76 [3/16]	

DISEÑADO POR: Luis I. Corella V	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio

Soporte Válvula

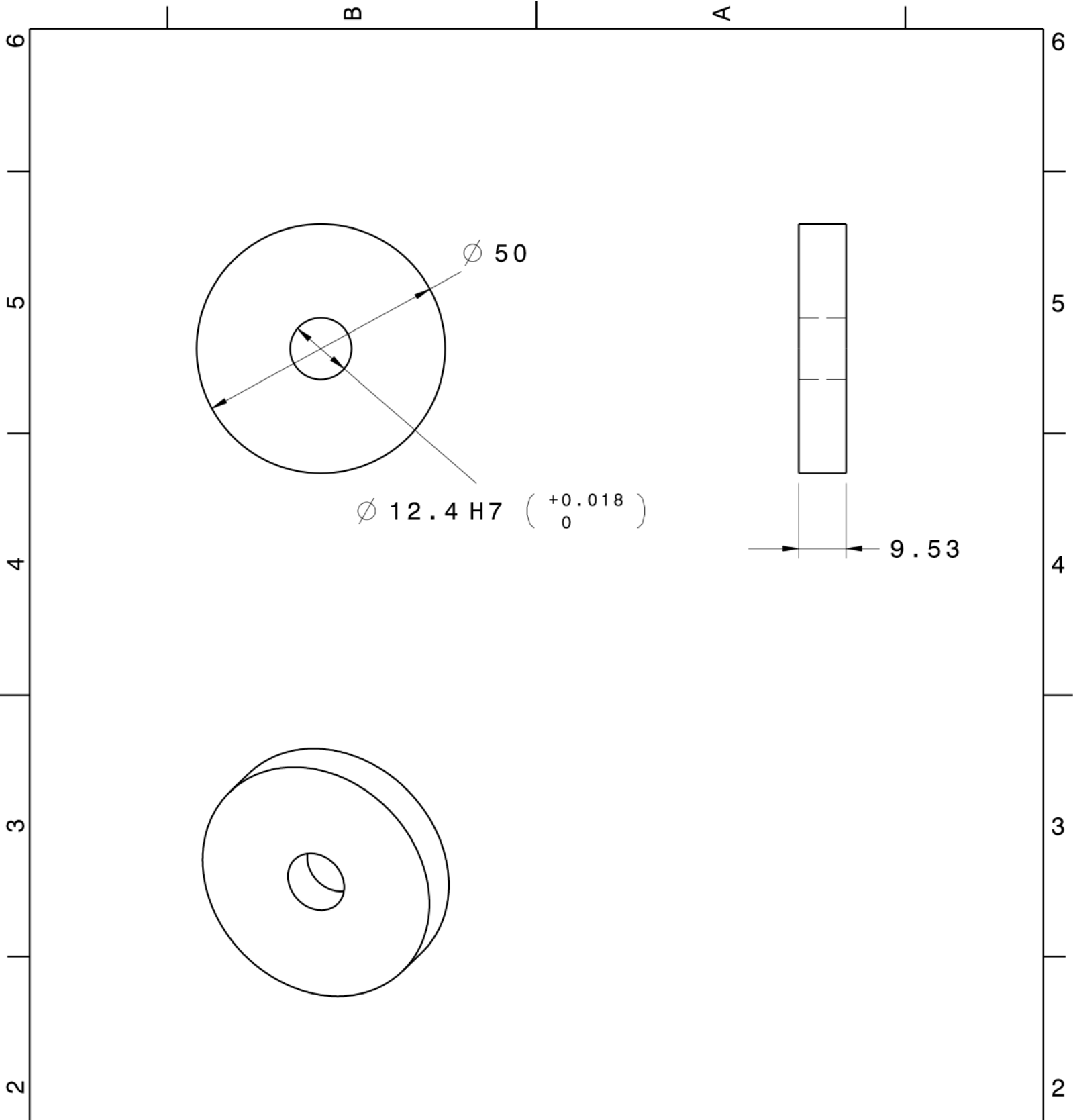
Facultad de Ingeniería, UNAM

Motor Oscilante

UNIDADES  
mm [in]

PLANO
4

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM



DISEÑADO POR:  
Luis I. Corella V  
FECHA:  
21/12/2010

REVISADO POR:  
Vicente Borja Ramirez  
FECHA:  
XXX

FORMATO  
Carta



ESCALA  
1:1

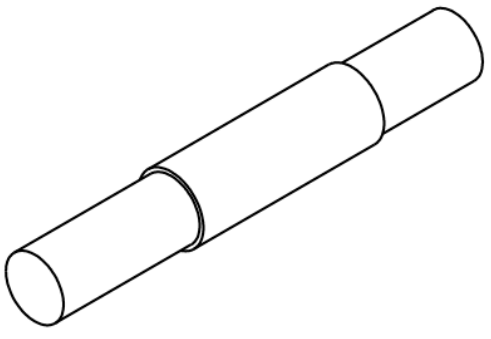
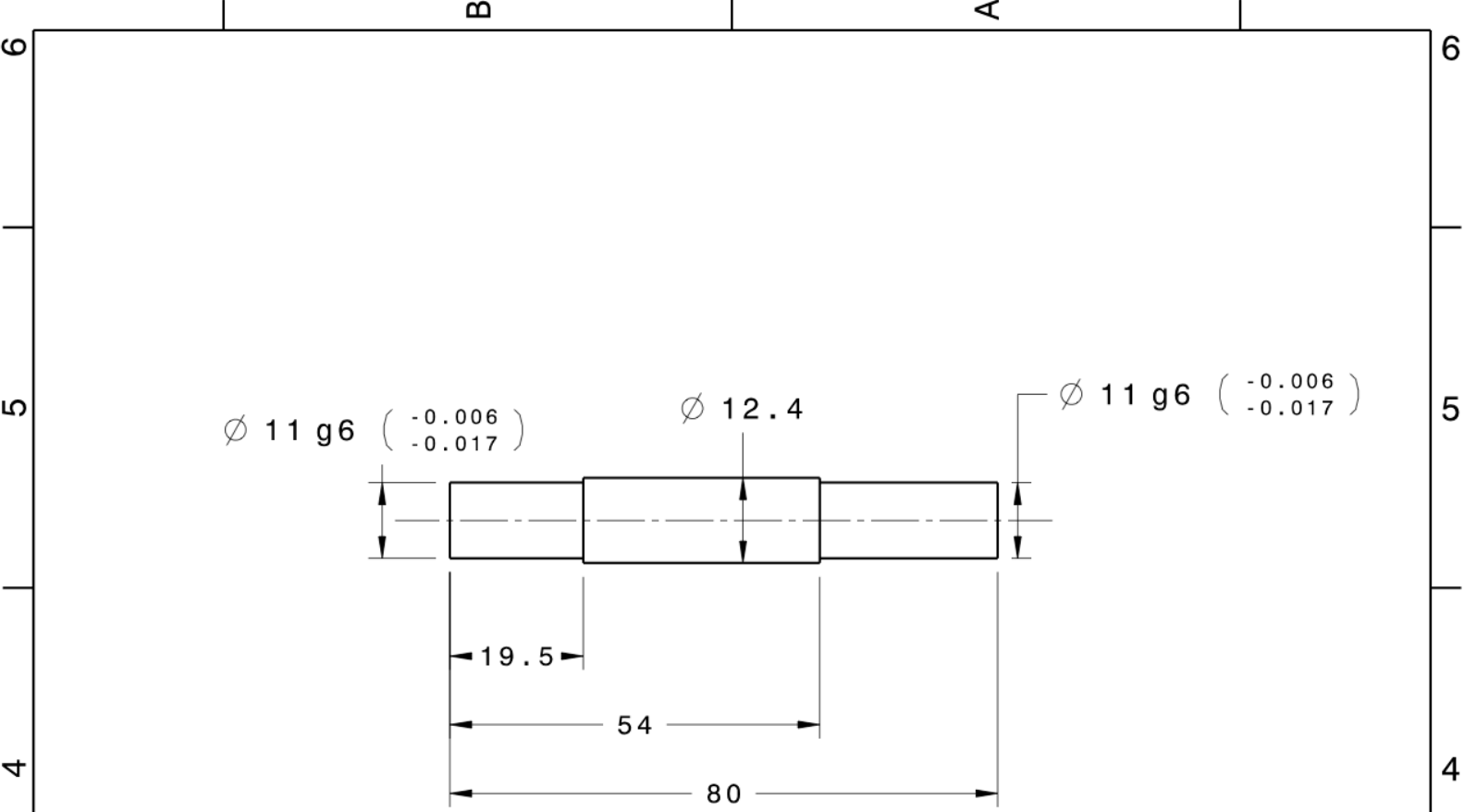
MATERIAL  
Aluminio

**Volante de Inercia**  
**Facultad de Ingeniería, UNAM**  
Motor Oscilante

UNIDADES  
mm [in]

PLANO  
5

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

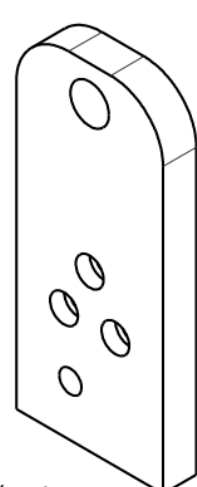
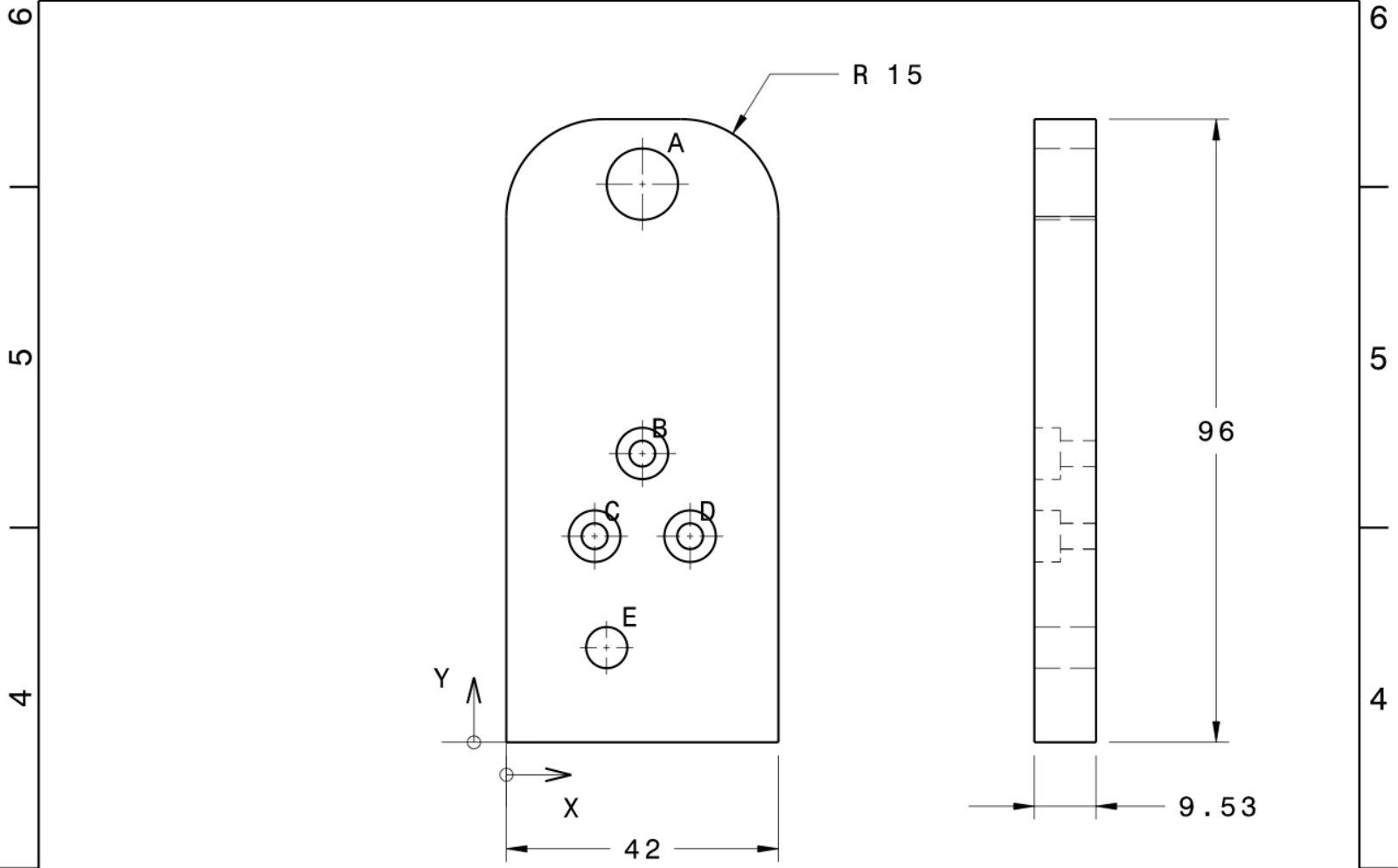


DISEÑADO POR: Luis I. Corella V	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio

<h1>Eje</h1>		
<b>Facultad de Ingeniería, UNAM</b>		
<b>Motor Oscilante</b>		UNIDADES mm [in]
Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM		

PLANO	6
-------	---

B A



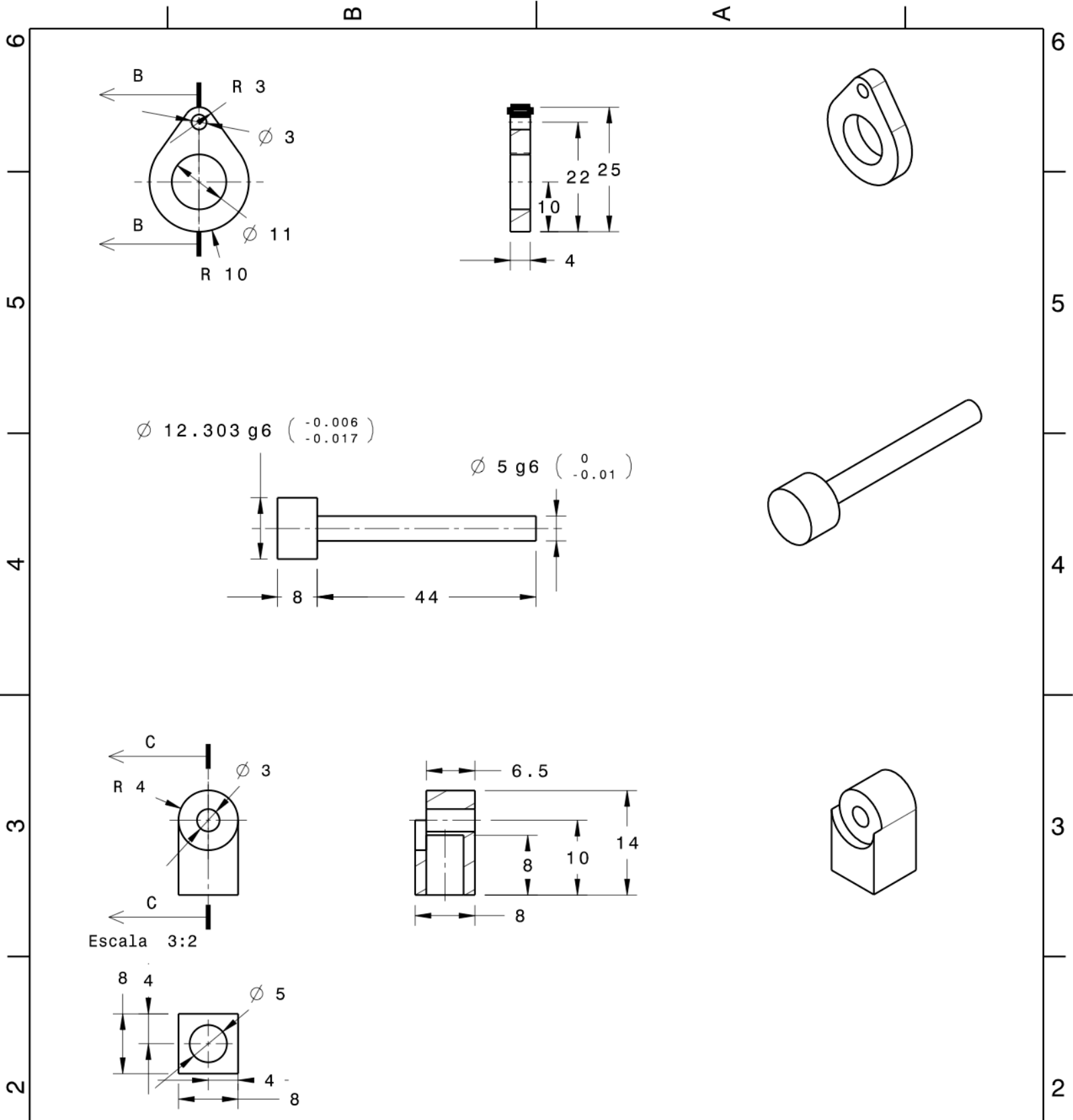
Isométrico  
2:3

Ubicación Barrenos				
REF.	X	Y	Diametro	
A	21	86	11 H7	H7 (0,+18)
B	21	44.5	3.97 [5/32]	7.94 [5/16] Prof 4.
C	13.64	31.75	3.97 [5/32]	7.94 [5/16] Prof 4.
D	28.36	31.75	3.97 [5/32]	7.94 [5/16] Prof 4.
E	15.48	14.59	6.35 [1/4]	

DISEÑADO POR: Luis I. Corella V		<h1>Soporte</h1>			
FECHA: 21/12/2010					
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez		<h2>Facultad de Ingeniería, UNAM</h2>			
FECHA: XXX					
FORMATO Carta		<h2>Motor Oscilante</h2>			
ESCALA 1:1	MATERIAL Aluminio				DIBUJO
Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM					

B A





DISEÑADO POR: Luis I. Corella V	
FECHA: 21/12/2010	
REVISADO POR: Vicente Borja Ramirez	
FECHA: XXX	
FORMATO Carta	
ESCALA 1:1	MATERIAL

<h1>Conjunto</h1>		
		Facultad de Ingeniería, UNAM
DIBUJO Motor Oscilante		UNIDADES mm [in]

PLANO	8
-------	---

Este plano es de uso exclusivo para los alumnos Facultad de Ingeniería UNAM

## Anexo 3. Parámetros de diseño de la bomba.

Para diseñar los engranes que componen la bomba, se propondrá el número de dientes del engrane y un diámetro primitivo de acuerdo con el espacio disponible en la materia prima. Este diámetro primitivo ( $D_p$ ) del engrane es el círculo imaginario por donde se transmite el movimiento y es la distancia que debe haber entre los centros de rotación de los engranes.

Se calculan los valores de la tabla A3.1 a partir del diámetro primitivo:

Tabla A3.1. Valores del engrane.

Módulo (M)	$D_p/\#$ dientes
Diámetro exterior	$D_p + 2M$
Diámetro interior	$D_p - 2.5M$
Diámetro base involuta ( $D_b$ )	$0.906307 D_p$

A continuación se expone como modelar un engrane de 12 dientes. El número de dientes puede cambiar de acuerdo con las necesidades del diseño, pero teniendo en cuenta que el número de dientes mínimo es 12.

La curva involuta que define al engrane esta dada por las siguientes ecuaciones:

$$x = r \cos(\theta) + r\theta \cos\left(\theta + \frac{3}{2}\pi\right)$$

$$y = r \sin(\theta) + r\theta \sin\left(\theta + \frac{3}{2}\pi\right)$$

Donde:

$x$  = Coordenada del punto en el eje  $x$

$y$  = Coordenada del punto en el eje  $y$

$r = D_b/2$

$\theta$  = Ángulo de avance de la involuta dado en radianes.

1.- En el modelador de sólidos, trazar un círculo en el origen de coordenadas con diámetro  $D_b$ .

- 2.- Trazar la curva involuta hasta un ángulo de avance de  $50^\circ$
- 3.- En caso de que el modelador de sólidos no acepte estas ecuaciones, se deben calcular los valores de la curva en una hoja de calculo. Calculando un punto de la curva cada grado del ángulo de avance. Estos puntos se tendrían que pasar manualmente al programa modelador de sólidos como se muestra en la siguiente figura.

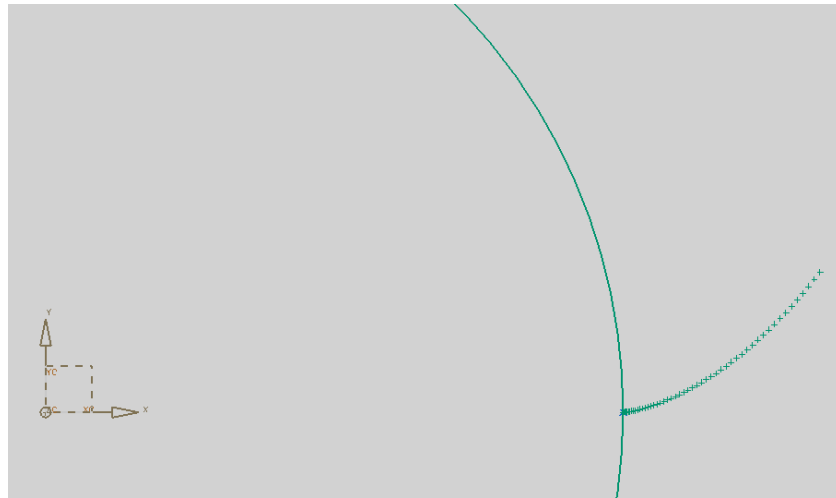


Figura A3.1. Puntos de involuta en NX 6.0.

- 4.- Se trazara una curva spline de tercer grado que una a todos los puntos.

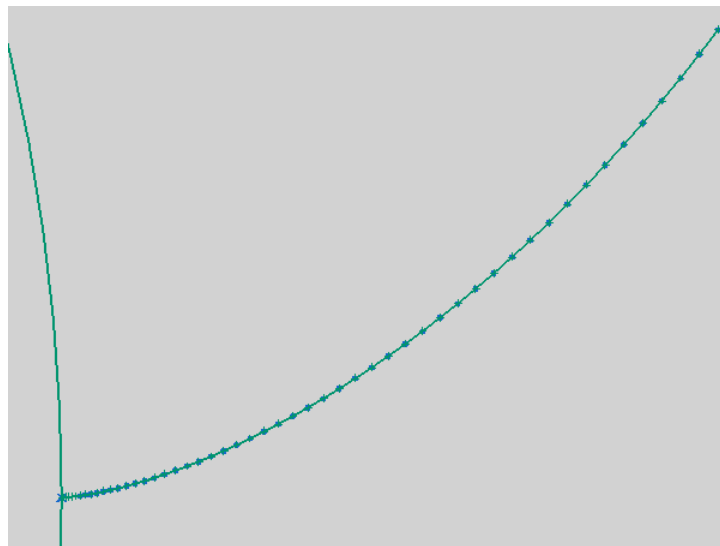


Figura A3.2. Unión de puntos por medio de spline.

- 5.- Se traza el diámetro primitivo, se traza una recta del origen hasta la intersección del círculo primitivo con la curva spline. y se elimina el diámetro base de la involuta.

6.- Se copia la curva creada anteriormente por medio de una copia asociativa a espejo a una recta que parta del origen y que cuente con una inclinación de  $[-90^\circ/\# \text{dientes}]$  con respecto a la recta trazada en el punto anterior. (En este caso  $-7.5^\circ$ .)

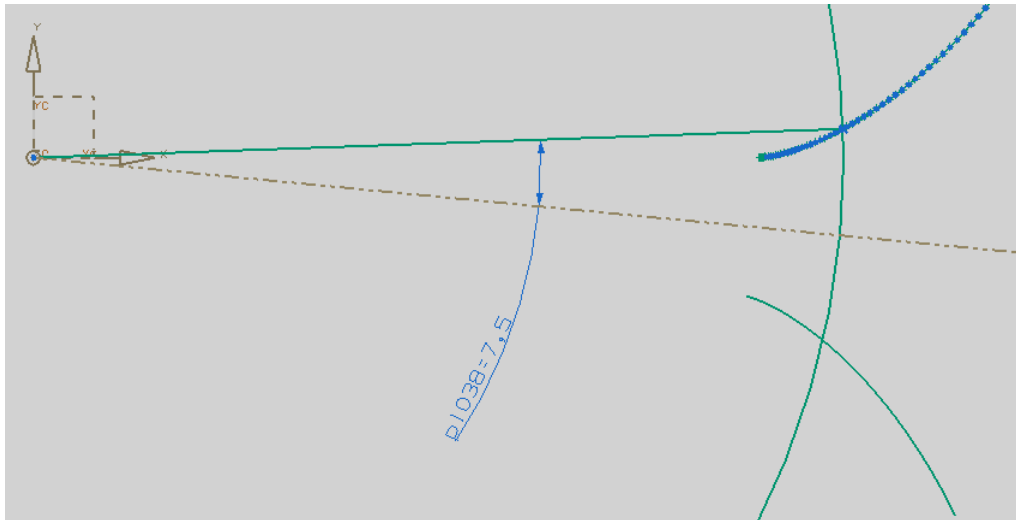


Figura A3.3. Copia de la involuta.

7.- Se eliminan los trazos hechos para la copia de la involuta y se trazan el diámetro exterior e interior.

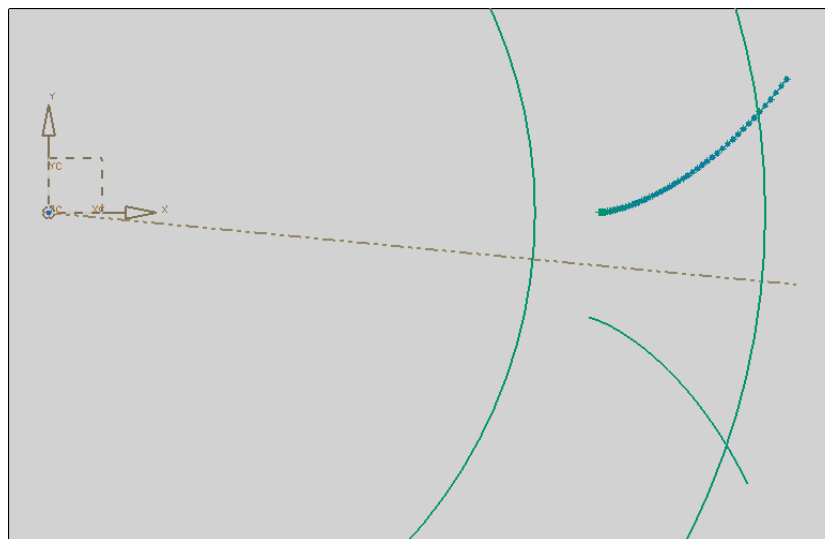


Figura A3.4. Diámetro exterior e interior.

8.- Se trazan rectas del origen a los puntos de inicio de las dos involutas. Y se termina el perfil interior del diente con una curva spline de tercer grado cuyos puntos

de definición son los puntos de inicio de la involuta y las intersecciones con el diámetro interior de la recta espejo y de las dos rectas trazadas anteriormente.

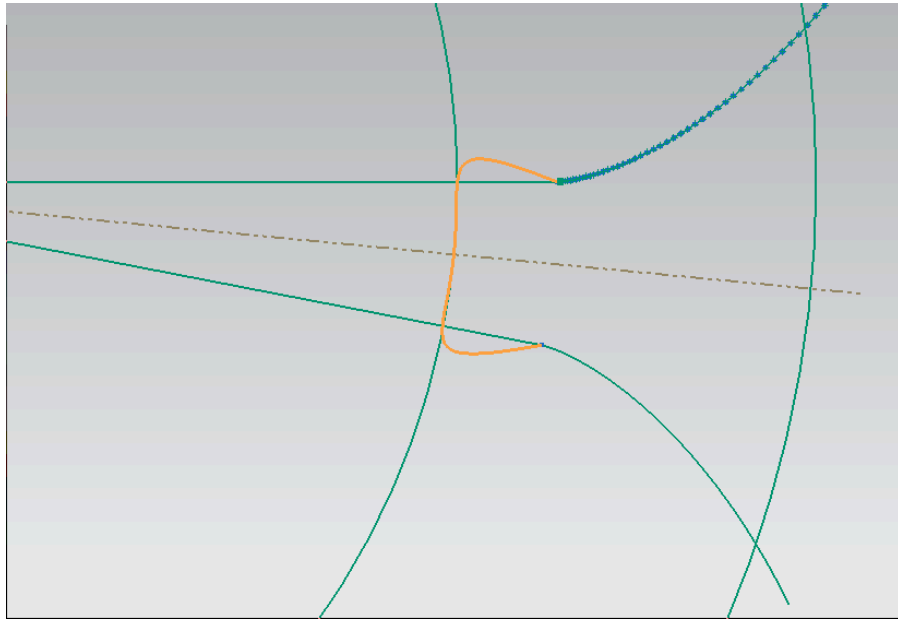


Figura A3.5. Perfil interior.

9.- Se cierra el perfil del diente con rectas cuidando de que no crucen con el diámetro exterior. Y se eliminan trazos complementarios para obtener el perfil del diente.

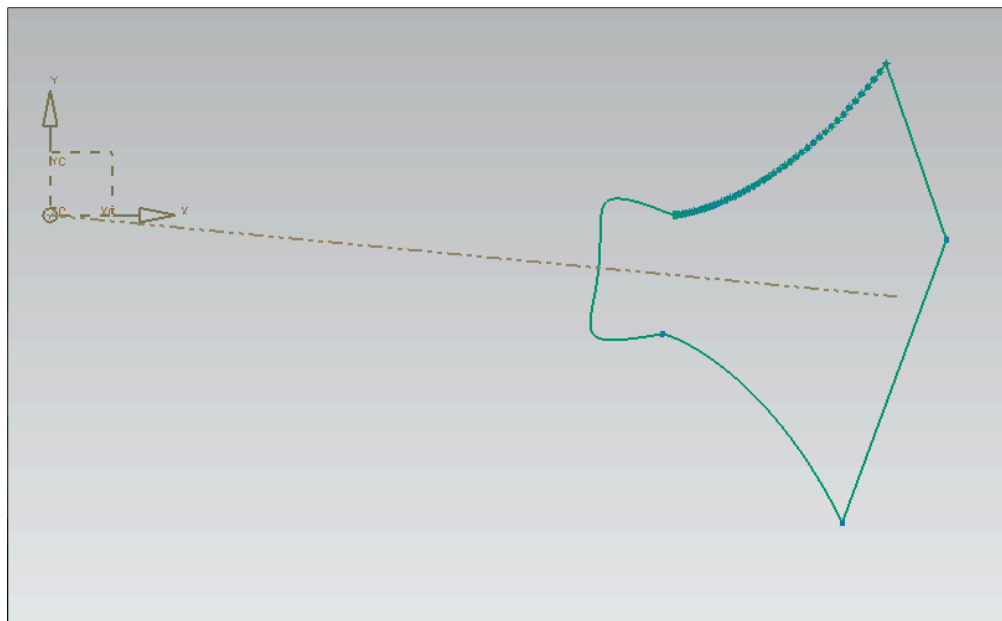


Figura A3.6. Perfil terminado.

10.- Se crea un cilindro con el diámetro exterior y el espesor que se quiera para el engrane y se subtrae el perfil del diente

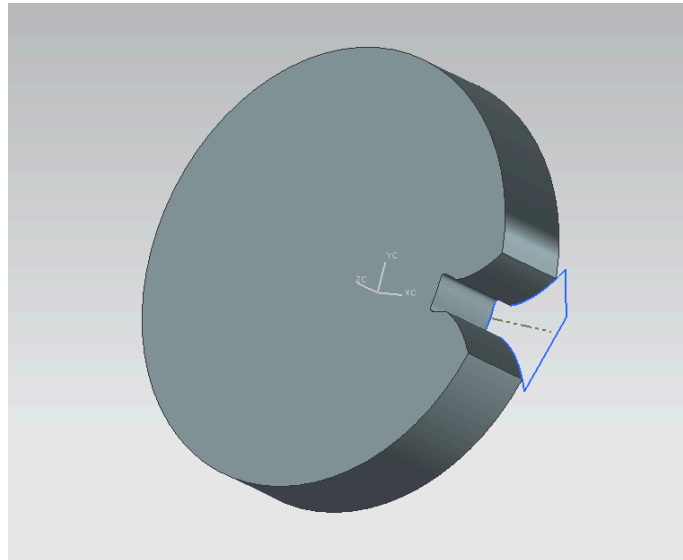


Figura A3.7. Corte del perfil.

11.- Se hace una copia asociativa del corte en un arreglo circular y se termina el engrane.

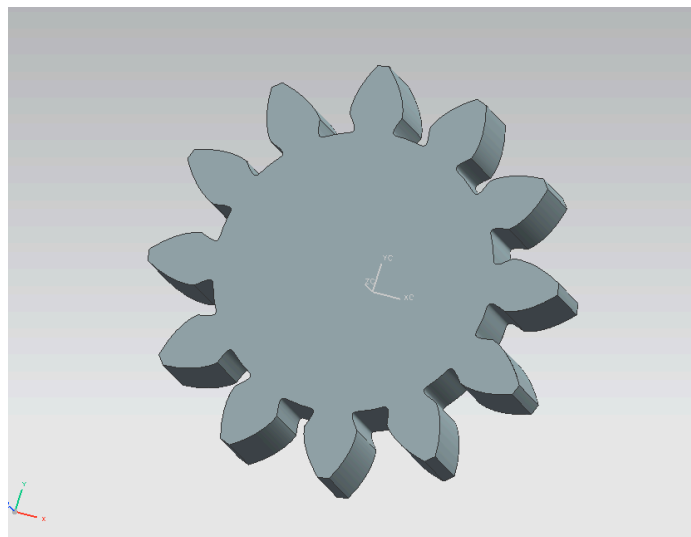


Figura A3.8. Engrane terminado.

Debido a la inevitable imprecisión de los procedimientos de manufactura se recomienda fabricar primero la armadura y después realizar los ajustes necesarios al diseño del engrane para garantizar un funcionamiento correcto.

## Anexo 4. Parámetros de diseño del motor de aire.

Se restringe el ancho de la zona de contacto entre el bloque y el soporte válvula que como mínimo es 25.4 mm de ancho. Las vías de admisión/expulsión son de 4.76 mm de diámetro. La configuración general del motor se puede elegir de la tabla A4.1. Para la generación de un nuevo prototipo se debe seleccionar un conjunto de medidas y tenerlas en cuenta durante todo el proceso de diseño, es decir, el motor puede adoptar cualquier configuración posible pero respetando las medidas elegidas.

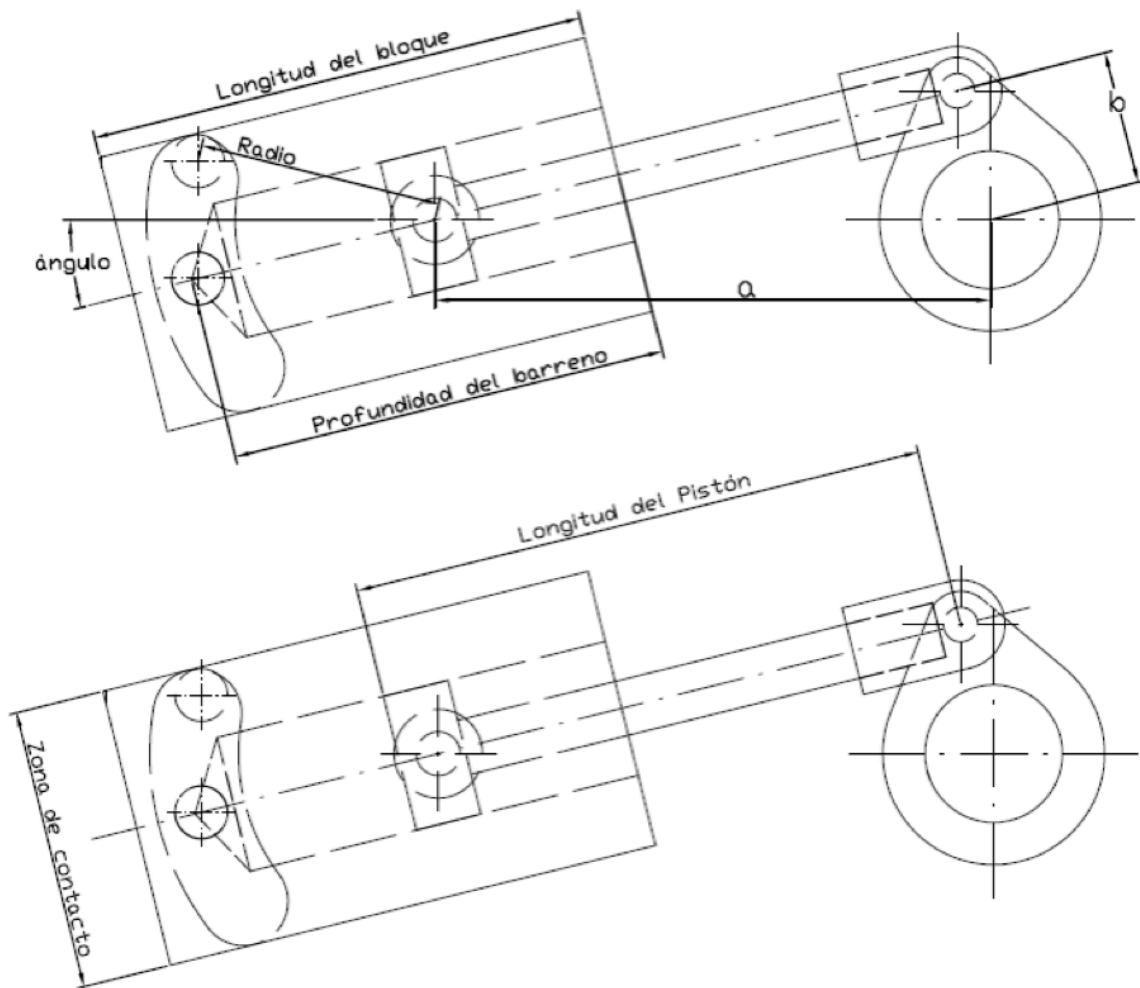


Figura A4.1.- Configuración general del motor.

La siguiente tabla presenta los valores en mm propuestos para el mecanismo del motor de aire.

Tabla A4.1. Medidas propuestas.

a	b	Longitud del bloque	Longitud pistón	Radio	Ángulo	Profundidad barreno pistón
36	9	41	42	21	14.48	35
38	9	43	45	22	13.70	37
38	10	39	42	20	15.26	33
39	8	49	50	25	11.84	43
40	8	51	52	26	11.54	45
40	9	45	48	23	13.00	39
40	10	41	45	21	14.48	35
41	8	51	53	26	11.25	45
41	9	47	50	24	12.68	41
42	8	53	55	27	10.98	47
42	9	47	51	24	12.37	41
42	10	43	48	22	13.77	37
43	8	55	57	28	10.72	49
43	9	49	53	25	12.08	43
44	8	55	58	28	10.48	49
44	9	49	54	25	11.80	43
44	10	45	51	23	13.14	39
44	11	41	48	21	14.48	35
45	9	51	56	26	11.54	45
45	10	45	52	23	12.84	39
46	9	51	57	26	11.28	45
46	10	47	54	24	12.56	41
46	11	43	51	22	13.84	37
47	9	53	59	27	11.04	47
47	10	47	55	24	12.28	41
47	11	43	52	22	13.54	37
48	10	49	57	25	12.02	43
48	11	45	54	23	13.25	39
49	10	49	58	25	11.78	43
49	11	45	55	23	12.97	39
50	11	47	57	24	12.71	41
50	12	43	54	22	13.89	37
51	11	47	58	24	12.46	41
51	12	43	55	22	13.61	37
53	12	45	58	23	13.09	39
54	12	45	59	23	12.84	39



Se recomienda un volante de inercia cuyo momento de inercia sobre el eje de rotación sea al menos 1.5 veces el momento de inercia del bloque sobre su eje de rotación.

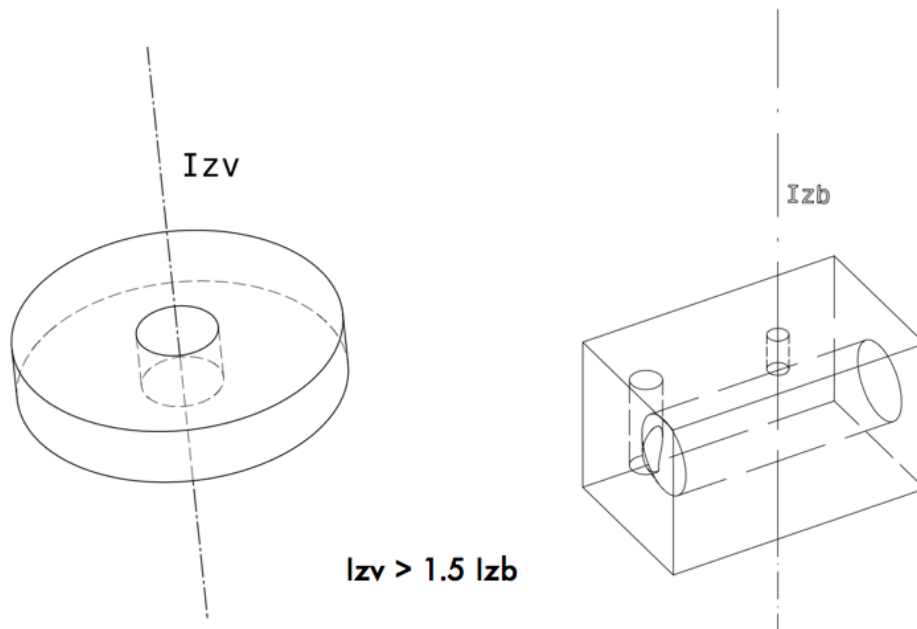


Figura A4.2. Momentos de inercia.

Para minimizar las vibraciones provocadas por el bloque, el centro de gravedad del mismo debe estar sobre el eje  $I_{zb}$ .

Debido a la inevitable imprecisión de los procedimientos de manufactura se recomienda realizar primero las piezas fresadas, después ajustar los elementos torneados a las otras piezas y por último ajustar las piezas de prototipos rápidos.

# Bibliografía y referencias

BORJA Ramírez, Vicente. 2006: *Cuadernos de gestión de tecnología. Innovación de producto*. México: Premio Nacional de Tecnología, 45p.

CHEVALIER, A. 1992: *Dibujo Industrial*. Segunda Edición. España: UTEHA, Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 319 p.

FAIRES, Virgil Moring. 1992: *Diseño de Elementos de Máquinas*. Mexico: LIMUSA, 802 p.

ITESM, [ca. 2004]: *El Método de Proyectos como Técnica Didáctica*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Mexico: Website: <http://www.itesm.mx/va/dide/documentos/inf-doc/proyectos.PDF>. 14 de enero de 2011

MAITRA, Gitin M. 1994: *Handbook of Gear Design*. Second Edition. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 429 p.

MOMPÍN Poblet, José 1986: *Sistemas CAD/CAM/CAE Diseño Y Fabricación Por Computador*. Barcelona: Marcombo, 386 p.

MONTOYA M., Felipe. 1993: *Fundamentos de la geometría de los engranes*. Universidad de Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial,

MOTT, Robert L. 2006: *Diseño de Elementos de Máquinas*. Traducción de Virgilio González y Pozo. México: Pearson Education, 389 p.

NORTON, Robert L. 2000: *Design of Machinery*. Third Edition. New York: McGraw-Hill Education, 832 p.

ULRICH, Karl 2007: *Product Design and Development*. Fourth Edition. New York: McGraw-Hill, 384 p.

UNAM, [ca. 1953]: *Prácticas del Laboratorio de Máquinas Térmicas*. Facultad de Ingeniería. México.

UNAM, 2008: *Diseño Y Manufactura Asistidos Por Computadora, Programa de Estudio*. Facultad de Ingeniería. México.

VIEJO ZUBICARAY, Manuel. 2004: *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. Tercera Edición. México: LIMUSA. 241 p.

WHITE, Frank M. 2006: *Fluid Mechanics*. Sixth Edition. New York: McGraw-Hill, 863 p.