



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA MÁQUINA QUE PRODUZCA  
VIBRACIONES MECÁNICAS A PERFILES  
ESTRUCTURALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

P R E S E N T A:

**DIEGO DARÍO SANTIBÁÑEZ OLIVAS**



DIRECTOR DE TESIS: DR. FERNANDO VELÁZQUEZ VILLEGAS  
MÉXICO, D.F. 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## AGRADECIMIENTOS

---

A todos los profesores y compañeros que tuve la fortuna de conocer en la universidad y que me brindaron sus conocimientos, amistad y apoyo durante toda mi trayectoria académica.

A mi padres y hermanos por todo el apoyo que me dieron para que yo pudiera concluir mis estudios y volverme una persona de bien para la sociedad.

A mi director de tesis el Dr. Fernando Velázquez Villegas, al Dr. Francisco Cuenca Jiménez y al M.I. Rogelio Darío Gutiérrez Carrillo por su apoyo y conocimiento durante la realización de la tesis

Al M.I. Antonio Zepeda Sánchez por su apoyo, comprensión y conocimiento que me proporcionó durante la realización de este trabajo.

Un especial agradecimiento a mi amigo Sebastián Rosas Contreras por su ayuda en los cálculos que realicé mediante software CAE.

Agradezco a PAPIME por la beca otorgada y por haber brindado los recursos para la realización de este proyecto con número PE104515 que lleva por nombre “Mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje de las asignaturas vibraciones mecánicas y dinámica de maquinaria por medio de prototipos oscilantes-vibradores”

ÍNDICE.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	3
ANTECEDENTES.....	4
CAPÍTULO 1. PLANEACIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.1 Fechas de entrega.....	4
1.2 Identificación de necesidades.....	5
1.3 Alcances del proyecto.....	5
1.4 Alcances con los objetivos de la materia.....	5
1.5 Requerimientos y expectativas.....	5
1.6 Beneficios del producto.....	6
Capítulo 2. Diseño Conceptual.....	7
2.1 Definición de funciones y arquitectura del producto.....	7
2.1.1 Identificación de módulos.....	9
2.1.2 Identificación de Funciones y Estructuras.....	17
2.1.3 Identificación del sistema y función de la estructura.....	19
2.1.4 Cálculo de métrica del producto.....	20
2.2 Generación de conceptos.....	21
2.2.1 Módulo 1 y 2.....	21
2.2.2 Módulo 3.....	24
2.2.3 Módulo 4.....	25
2.2.4 Módulo 5.....	25
Capítulo 3. Diseño de configuración.....	27
3.1. Cálculos de cada componente o módulo.....	27
3.1.1 Módulo 1 y 2.....	27
3.1.2 Módulo 4.....	28
3.1.3 Módulo 4.....	33
3.1.4 Módulo 5.....	35
Conclusiones.....	38

Referencias ..... 38

Anexo 1.....

Anexo 2.....

Anexo 3.....

## INTRODUCCIÓN

---

Las vibraciones mecánicas son cualquier movimiento que se repite por sí mismo en un intervalo de tiempo. En este fenómeno físico intervienen tres elementos importantes que son los siguientes: elementos de inercia, elementos rígidos y elementos de disipación [23].

Las vibraciones mecánicas pueden presentarse en nuestra vida cotidiana en cualquier tipo de máquina o estructura, por lo que, su estudio es fundamental para prevenir fallas o accidentes en cualquier centro de trabajo. Es por ello, que en el presente trabajo se aborda el tema de frecuencias naturales de una viga.

Por lo tanto, se diseñó una máquina que puede mostrar la primera frecuencia natural de los perfiles estructurales los cuales se montan sobre una base diseñada para efectuar el experimento. Esta máquina sirve para realizar pruebas y mediciones con equipo de instrumentación para así poder equiparar la teoría con los resultados experimentales.

La principal característica de esta máquina es que el alumno pueda manipularla totalmente y a su vez el mismo es la fuerza impulsora del experimento, es decir, el usuario transmite la energía necesaria mediante el pedaleo. Esta característica hace que el experimento tenga mayor valor didáctico y en consecuencia se produzca aprendizaje significativo en los alumnos.

## OBJETIVOS

---

Los objetivos a alcanzar durante el presente trabajo son los siguientes:

- Diseñar una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales, a través de los siguientes requerimientos:
  - 1) Que la fuerza de entrada sea proporcionada por el alumno.
  - 2) Que el alumno pueda manipular la máquina.
- Mostrar las frecuencias naturales de los perfiles estructurales.

Actualmente en la industria no existen máquinas que estén enfocadas a mostrar las frecuencias naturales de perfiles estructurales, en las que la principal característica sea la ausencia de motor como fuerza impulsora de la máquina.

Lamentablemente en la materia de vibraciones mecánicas que se imparte en la Facultad de Ingeniería no cuenta con un laboratorio destinado para esta asignatura. Debido a esto, los alumnos no pueden aplicar los conocimientos adquiridos por medio de la teoría, por lo que, esta máquina pretende ser un medio por el cual se fortalezcan los conocimientos.

Para mejorar el aprendizaje de la asignatura de vibraciones mecánicas, se ha dispuesto hacer una máquina que ejemplifique las frecuencias naturales de perfiles estructurales.

## CAPÍTULO 1. PLANEACIÓN DEL PROYECTO

---

Para la realización de cualquier producto se debe seguir un plan de trabajo y una metodología, por ello se debe realizar una serie de pasos a seguir donde el primero es una junta de salida en la cual se establece lo siguiente: ¿qué se quiere hacer?, tiempo que tomará su realización y presupuesto con el que se cuenta.

### 1.1 Fechas de entrega

Una vez establecido lo que se desea hacer, se deben establecer fechas de avances y fechas de entregas (éstas varían dependiendo del tipo de proyecto). Con base en las fechas se realiza una estimación de tiempos (normalmente se toman de proyectos anteriores para poder hacer una mejor estimación y tener una buena referencia) y con base en lo anterior se hace un cronograma de actividades, el cual tiene descrito todo lo que se debe hacer, cómo se va a hacer y el tiempo invertido en cada actividad.

## **1.2 Identificación de necesidades**

Las necesidades del proyecto se establecen en la junta de salida, que es la reunión que se lleva a cabo para saber qué es lo que se quiere hacer, y con ello establecer las necesidades que se requieren cumplir.

Las necesidades para este proyecto son las siguientes:

- Diseñar una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales.
- Se deben mostrar las primeras frecuencias naturales de los perfiles a utilizar.
- Que la fuerza de entrada sea proporcionada por el alumno.
- Que el alumno pueda manipular la máquina.

## **1.3 Alcances del proyecto**

El alcance de este proyecto está limitado hasta el diseño de detalle. La construcción y/o mejora quedan fuera del alcance de esta tesis.

## **1.4 Alcances con los objetivos de la asignatura**

La máquina va a servir para ejemplificar las frecuencias naturales que un perfil puede alcanzar cuando es sometido a vibraciones mecánicas y sus consecuencias.

## **1.5 Requerimientos y expectativas**

Se busca fortalecer el área de vibraciones mecánicas en la carrera de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería. Sólo se requiere que muestre la primera frecuencia natural de los perfiles que se prueben y a la vez se tiene considerado que sea el inicio de la construcción de varias máquinas para que finalmente se pueda constituir un laboratorio para dicha asignatura.



## 1.6 Beneficios del producto

- Con el diseño de la máquina se podrá empezar a constituir un laboratorio para la materia de vibraciones mecánicas.
- Mostrar temas de las vibraciones mecánicas y equiparar la teoría con los datos experimentales.
- Incrementar el interés por el área de vibraciones mecánicas buscando que se realice un área de investigación hacia esta área de la ingeniería mecánica.

## Capítulo 2. Diseño Conceptual

---

Para la realización de todo este capítulo se siguieron las referencias [4], [5], [6], [7], [9] y [13].

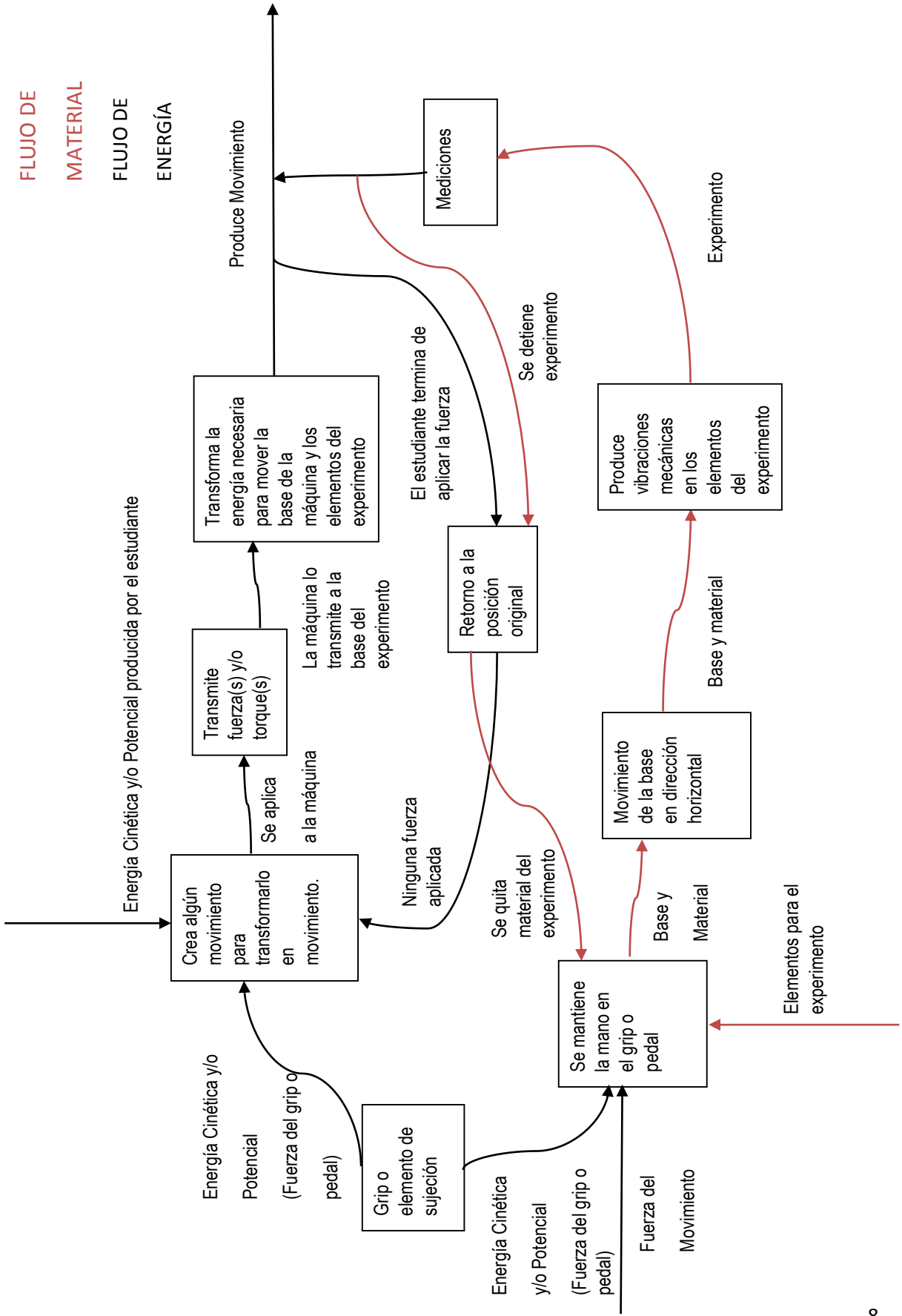
Hay tres tipos básicos de diseño: original, evolutivo o incremental. El primero se refiere a un producto que es nuevo para el mercado hacia el cual va dirigido o nuevo para una compañía, es decir, es un diseño sin ningún antecedente. Un diseño evolutivo es uno que está basado en un producto ya producido por la compañía y un diseño incremental es uno que necesita pequeños cambios para un diseño ya existente.

### 2.1 Definición de funciones y arquitectura del producto

Para un diseño original (que es el que se realizó para esta tesis) se deben definir las funciones básicas que debe realizar. La manera más fácil de representar las funciones de un producto es a través del diagrama de función, en el cual estas funciones son unidas por el flujo de material, energía o transformación. Posteriormente, esta función general es dividida en subfunciones. Todas las funciones son palabras de acción que definen lo que el producto hace. La manera de cómo logra esas funciones, es alcanzada en el diseño de configuración.

Las subfunciones son relacionadas por el flujo del material, energía, o información entre ellos. Para lograr esto se realizará un diagrama de función (siguiente página).

#### Diagrama de Función



En general hay dos tipos de arquitectura: integral y modular. Una arquitectura integral es en la cual un componente a menudo realiza muchas funciones y hay interfaces acopladas entre funciones. Una arquitectura modular es una forma de diseño en la que se considera que la máquina está compuesta de “n” módulos con mínimas interacciones entre ellos. Un módulo es definido como un componente o grupo de componentes que pueden ser removidos de un producto no destructivamente, y proporciona una única función básica necesaria para la operación. La modularidad del producto es generalmente considerada ventajosa ya que los productos modulares se caracterizan por:

- Desensamble fácil para rehúso o reciclaje.
- Variedad de productos fácilmente de hacer.
- Permite estandarización de componentes.
- Reduce el tiempo de desarrollo debido al uso de componentes.
- Correlaciona fácilmente a los equipos de trabajo.

Sin embargo, la modularidad tiene las siguientes desventajas:

- Incrementan los costos de producción debido al ensamble.
- Se obtienen productos más pesados al tener mayor volumen.
- Posible reducción en la calidad debido a mayores interacciones y posibles interferencias, es fácil para los competidores de reproducir.

### **2.1.1 Identificación de módulos**

Primero se deben identificar los módulos de un producto al desensamblarlo, sin embargo no se cuenta con un producto que tenga las funciones similares a las que se requieren, por lo tanto, se establecerán los módulos que se necesiten para llevar a cabo la función. Se prefiere la forma modular por el método sistemático y básico de desarrollar un producto.

Para obtener dichos módulos se usará el diagrama de función (ya hecho previamente en la sección 2.1), un marco teórico donde se representen qué es lo que hará la máquina, una serie de preguntas que sean una guía durante el proceso de diseño, una serie de condiciones fisiológicas, las condiciones mecánicas (las primeras referidas a las personas que son quienes manipulan la máquina, que en este caso es tanto el alumno como el profesor, y las segundas referidas a la máquina) y a partir de lo anterior se darán los módulos que se necesiten para realizar todas las funciones que debe realizar la máquina.

## I.MARCO TEÓRICO

La máquina de vibraciones mecánicas es un producto que genera vibraciones mecánicas a perfiles estructurales Como se mencionó antes, la máquina debe ser manipulada por el alumno y él mismo debe dar la fuerza de entrada para mover el dispositivo del producto que se va a usar para llevar a cabo los experimentos.

Durante el proceso de diseño se considera lo siguiente:

- Seguridad.
- Capacidad (de la máquina y lo que hará).
- Funciones.
- Materiales.
- Método de Manufactura.
- Costo.
- Ensamble.
- Ajustes.
- Confiabilidad.

Todas igual de importantes para el diseño que se considera en esta tesis, por lo tanto no hay una ponderación.

Para realizar el proceso de diseño, primero se deben hacer una serie de preguntas que ayuden a visualizar todo lo que implica el diseño del producto que se quiere realizar.

## II.ESPECIFICACIONES DE DISEÑO FUNCIONAL

1. ¿Qué va a hacer la máquina?  
Producir vibraciones mecánicas a perfiles estructurales.
2. ¿Bajo qué condiciones?  
Se trabajará dentro de lugares cerrados no expuestos a la intemperie.
3. ¿Con qué frecuencia va a estar trabajando la máquina?  
Se estima que se utilice una o dos veces por semana en un máximo de 2 horas por clase.
4. ¿Y de acuerdo con qué requerimientos?  
Los requerimientos ya fueron expuestos con anterioridad y son los siguientes:
  - Diseñar una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales.

- Se deben mostrar las frecuencias naturales de los perfiles a utilizar.
- Que la fuerza de entrada sea proporcionada por el alumno.
- Que el alumno pueda manipular la máquina.

### III. CONDICIONES GENERALES

1. ¿Hay leyes, códigos o normas (estándares) que debe seguir el producto?  
Será usada exclusivamente para experimentos que no requieren que cumplan con ningún tipo de norma o estándar.
2. ¿La mayoría del conjunto del producto debe cumplir con alguna norma internacional o estándares de otros países?  
No.
3. ¿Hay algún costo límite para el producto?  
Sí.
4. ¿Hay un peso o tamaño máximo para el producto?  
No.
5. ¿Habrá requerimientos de envío del producto?  
No, ya que sólo se tiene planeado hacer sólo uno.
6. ¿Cuántos habrán de fabricarse y en qué tiempo?  
Sólo uno y se tiene que construir en un tiempo menor a 3 meses

### IV. Consideraciones Funcionales

1. ¿Qué hace el producto?  
Producir vibraciones mecánicas a los perfiles que se utilicen en el experimento.
2. ¿Cuál es la entrada del producto?  
La fuerza que tiene que ser proporcionada por el alumno y que se tiene que transformar en algún tipo de movimiento para causar las vibraciones a los perfiles que se vayan a utilizar.
3. ¿Cuál es la salida del producto?  
Vibraciones mecánicas a perfiles estructurales.
4. ¿Qué cargas/fuerzas están involucradas?  
El alumno proporcionará la fuerza de entrada por lo que la máquina debe permanecer fija y soportar la entrada que el alumno le aplique y sólo mover la

parte del producto destinada para el experimento (la base del experimento) y los elementos del experimento.

5. ¿Qué movimientos son requeridos y en qué periodo de tiempo?  
Se requiere que de todo el conjunto del producto sólo se mueva la parte destinada para el experimento y se produzca un movimiento que sea capaz de provocar las vibraciones. En cuanto al tiempo, se planea que sea utilizada durante la hora de clase que tiene una duración de dos horas, la cual se imparte dos veces por semana.
6. ¿Qué tipo de contacto es esperado entre el producto, la(s) pieza(s) o material de trabajo y el usuario?  
Será totalmente manipulado por la persona, por lo que será totalmente físico sin ningún tipo de protección.
7. ¿Qué tipo de inteligencia o detección debe incluir el producto?  
Ninguna ya que el equipo será intuitivo.
8. ¿Pueden las funciones del producto dividirse en funciones simples de los elementos que la compongan?  
Sí, ya que se hará de acuerdo con el diagrama de funciones expuesto anteriormente.
9. ¿Qué principios físicos están involucrados en el producto?  
Cinemática, dinámica, estática, mecánica de sólidos y vibraciones mecánicas.
10. ¿Cuál es la vida esperada del producto?  
12 años
11. ¿Debería el producto ser ajustable y/o reparable?  
Sí.

## V. CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS

1. ¿Qué tipo de acceso es requerido para poner en marcha o instalar el producto?  
La puesta en marcha será iniciada por el alumno o profesor y será en un lugar ya previsto para la máquina.
2. ¿Serán las partes del producto cargadas por una persona en algún momento?  
No.
3. ¿Cuál será el nivel de habilidad que debe tener el operador/usuario del producto?  
No tiene que tener un adiestramiento previo para utilizar la máquina ya que se buscará que sea de uso y manipulación intuitivos.

4. ¿Hay un riesgo de lesión en cuanto el uso del producto o lo relacionado con sus piezas y/o material de trabajo?  
Sí, ya que la no correcta sujeción de los perfiles podría lesionar a los alumnos, por lo que se tendrá especial cuidado con la sujeción de estas piezas. En cuanto a la máquina en sí, debe ser capaz que una vez puesta en marcha por el propio alumno sólo mueva la parte destinada para el experimento y ésta permanezca fija.
5. ¿El no correcto funcionamiento de una pieza del producto es un peligro para la seguridad?  
Sí.

## VI. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

1. ¿A qué tipo de fuerzas externas estará expuesto el producto?  
Solamente a la fuerza gravitacional.
2. ¿Estará el producto expuesto a temperaturas extremas?  
No, ya que estará expuesto al clima de la Ciudad de México a lo largo del año (no hay que olvidar que la máquina se encontrará en un lugar cerrado).
3. ¿Estará el producto expuesto a fluidos, suciedad u otro tipo de contaminación ambiental?  
No.
4. ¿Estará el producto expuesto a gases diferentes a los del aire?  
No.
5. ¿Tiene que cumplir el producto con estándares de limpieza?  
No.
6. ¿Qué tipos de recursos energéticos (humano, eléctrico, fluidos, etc.) están disponibles para poner en marcha y hacer funcionar el dispositivo?  
Será solo usada la energía del alumno por lo que no será necesaria ninguna fuente extra de energía.
7. ¿Cuál es la capacidad de mantenimiento que se le puede dar al producto donde va a hacer instalado?  
A pesar de que va estar fijo en un lugar cerrado se le podrá dar mantenimiento sin ningún problema.
8. ¿Cuánto espacio debe ocupar el producto?  
Aproximadamente ocupará una superficie de 2 m<sup>2</sup>.



Con la anterior se hizo un diseño simplificado de las especificaciones funcionales del producto.

**Máquina:** Máquina de vibraciones mecánicas.

**Entrada:** Fuerza aplicada por el alumno.

**Salida:** Datos experimentales que se obtendrán a futuro mediante instrumentación.

**Tiempo del ciclo:** El que el alumno pueda proporcionar.

**Tiempo de actividad:** Menor o igual a 120 minutos en una sola sesión.

**Tiempo esperado de vida:** 12 años.

**Número de operadores:** Una persona.

**Tipo de operador:** Sin habilidades especiales.

**Máximo tamaño general:** 2 [m<sup>2</sup>] aproximado (con una altura aproximada de 1.2 [m]).

**Estándares o normas que cumplir:** Ninguno.

**Número de productos a producir:** Sólo uno.

**Unidades:** Sistema Internacional (SI).

**Tipo de instalación:** No requerida.

**Condiciones para poder operar (energía, medio ambiente, etc.):** Ninguna en especial. La energía será proporcionada por la propia persona.

## VII.FUNCIONES DE LA MÁQUINA:

- La máquina estará montada sobre una superficie lisa de manera permanente.
- Se quedará fija y sólo deberá moverse la parte destinada para el experimento.
- Se colocarán los elementos del experimento.
- Se corroborará que todo esté totalmente fijo (elementos del experimento).
- Se accionará el elemento de la máquina para producir el movimiento de la base.
- Se tomarán las mediciones.
- Finalizará el experimento.

## VIII.COMONENTES FUNCIONALES (TAMBIÉN LLAMADOS MÓDULOS)

La máquina se dividirá en los siguientes componentes funcionales:

1. COMPONENTE DE ENTRADA: Hay que obtener el máximo provecho de la entrada que nos proporcione el alumno o profesor (sin dejar de tomar en cuenta que este elemento se podría conseguir ya en el mercado y sólo acoplarlo a los otros módulos).
2. COMPONENTE DE TRANSFORMACIÓN DE LA ENTRADA: Se tiene que idear el dispositivo adecuado (o considerar un componente disponible en el mercado) que nos permita maximizar esa entrada.
3. COMPONENTE QUE USA LA TRANSFORMACIÓN DE LA ENTRADA Y LA TRANSMITE A LA BASE: Todo la energía que se obtenga tiene que transmitirse a una base evitando pérdidas de energía en lo mayor posible.
4. COMPONENTE DE LA BASE: La base debe conectarse al componente anterior y debe sujetar los elementos del experimento.
5. COMPONENTE QUE UNE A TODOS LOS ELEMENTOS ANTERIORES (FRAME O BASTIDOR DE LA MÁQUINA): Todos los elementos anteriores deben de estar fijos a un marco o estructura.

## IX.INTELIGENCIA:

- Corroborar que los elementos del experimento estén fijos.
- Realizar el experimento.
- Tomar las mediciones correspondientes.
- Detener el experimento.

## X.REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD:

- Ninguna norma o estándar
- Requerimientos del proyecto:  
Que al realizar los experimentos ningún perfil o elemento de éste, salga de su lugar y lesione a las personas que se encuentren durante este.

## XI. REQUERIMIENTOS ESPECIALES:

- Que sea intuitiva.

La especificación de funciones de diseño es una lista de todo lo que se conoce en esta primera etapa de diseño. Con estas especificaciones se harán unas últimas observaciones.

## XII. LA MÁQUINA ESTÁ SUJETA A LAS SIGUIENTES CONDICIONES O INFLUENCIAS:

- Condiciones fisiológicas.
- Condiciones mecánicas.

## XIII. CONDICIONES FISIOLÓGICAS (DEL USUARIO):

Estas se basan principalmente en los datos del usuario, entre los datos importantes tenemos:

- Edad.
- Sexo.
- Condiciones físicas corporales.
- Alcance de los movimientos.

## XIV. CONDICIONES MECÁNICAS:

Son todas las fuerzas que actúan sobre la máquina, entre ellas se tiene:

- Fuerza de entrada (proporcionada por el usuario): moverá la parte de la máquina que transforma la entrada en movimiento y este a su vez lo transmite a los demás elementos de la máquina.
- La fuerza de entrada se transformará en un movimiento de la base destinada para el experimento, el cual le podría producir a la máquina en conjunto que se trate de desplazar sobre la superficie sobre la cual se ponga, causando reacciones mecánicas, dinámicas y cinemáticas a la máquina.
- La parte de la máquina que va a transformar la fuerza de entrada del alumno, puede estar sometida a esfuerzos (cortante y axial), momentos (de rotación y de torsión), flexiones y/o fuerzas de tensión y compresión.

- Una vez puestos los elementos del experimento sobre la base, éstos harán que se presenten reacciones estáticas en la base y reacciones en los elementos que conectarán a la base con la máquina.
- Una vez iniciado el experimento se presentaran reacciones dinámicas, mecánicas y estáticas en la base así como reacciones en los elementos que conectarán a la base con la máquina.

De acuerdo a lo anterior la máquina de vibraciones mecánicas se construirá de acuerdo a las siguientes leyes.

#### ESTÁTICA:

Debe ser estable una vez puesta sobre la superficie y durante los experimentos debe estar totalmente fija.

#### CINEMÁTICA, DINÁMICA Y MECÁNICA:

Al accionarse la máquina va a estar en movimiento una parte de ella por lo que debe ser capaz de realizar sus funciones de forma satisfactoria y soportar todo tipo de reacciones cinemáticas, dinámicas y mecánicas.

#### VIBRACIONES MECÁNICAS:

Al estar en funcionamiento la máquina debe ser capaz de transmitir las vibraciones sólo a los perfiles estructurales y minimizar éstas a la máquina.

Con toda la información, dada hasta el momento, se procede a la identificación de estructuras que previamente ya han sido mostradas en los componentes funcionales.

### **2.1.2 Identificación de Funciones y Estructuras**

El proceso inicia con la identificación de módulos del producto al desensamblarlo (uno similar al que se tiene pensado desarrollar) pero no se cuenta con uno similar para hacerlo. En vez de ello, se iniciará con la función de componentes y el diagrama de función.

Cada módulo es identificado como un componente o grupo de componentes que pueden ser removidos como una unidad no destructiva. Esto debe darnos una función básica que es necesaria para que el producto opere como se pretende.

## I. IDENTIFICACIÓN DE MÓDULOS (TAMBIÉN LLAMADOS COMPONENTES)

- 1) Componente de entrada.
- 2) Componente de transformación de la entrada.
- 3) Componente que usa la transformación de la entrada y la transmite a la base.
- 4) Componente de la base.
- 5) Componente que une a todos los elementos anteriores (frame o bastidor).

## II. IDENTIFICACIÓN DE FUNCIÓN DE CADA MÓDULO (IDENTIFICACIÓN DE SUBFUNCIONES)

- 1) Componente de entrada.  
El componente de entrada tiene que ser impulsado por la propia persona así que se tendrán dos opciones: usar las manos o usar los pies. Debido a esto se observan las ventajas de usar la primera, la segunda o incluso ambas y elegir entre ellas.  
Se encontraron **dos subfunciones**: el elemento que daría la opción de tomarlo con las manos o los pies y cómo ese elemento se conecta al componente de la transformación de la entrada (conexión con el módulo 2).
- 2) Componente de transformación de la entrada.  
Se tendrá que elegir un dispositivo que transforme dicha entrada y obtenga su máximo provecho para transmitirla al componente que comunica a éste con el que lo transmite a la base del experimento.  
Se encuentran **dos subfunciones**: (la manera en la cual el componente se va a sujetar al dispositivo que transmite la entrada y al componente de transformación ya que es la conexión con el módulo 2), así que la primera subfunción será el propio dispositivo que transformará la entrada y cómo se sujetará al frame de la máquina.
- 3) Componente que usa la transformación de la entrada y la transmite a la base.  
Este componente utilizará dicha transformación de la entrada y la dará a una base destinada para el experimento.  
Se encuentran **tres subfunciones**: cómo se sujetara este dispositivo al que ya transformó la entrada, cómo será el propio dispositivo que transmite hacia la base y cómo éste va a estar sujeto a la base del experimento.
- 4) Componente de la base.

La base debe ser capaz de moverse junto con los elementos que se pongan sobre esta y seguir la trayectoria que se diseñe. Aquí se identifican **tres subfunciones**: la base misma, sobre qué se va a estar moviendo la base (ésta va a estar sujeta a la base principal –frame-) y el dispositivo que va a sujetar a los perfiles.

5) Componente que une a todos los elementos anteriores (frame).

Va a existir una estructura en la cual se sujetarán los elementos que conforman el producto.

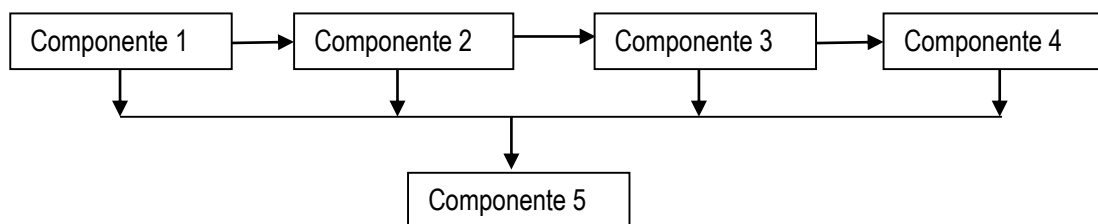
Sin **subfunciones**.

Se tienen en total **10 subfunciones**.

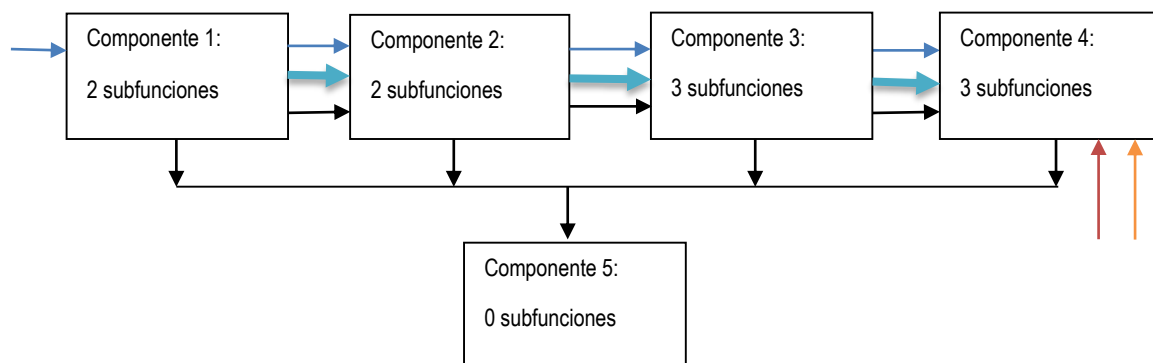
### 2.1.3 Identificación del sistema y función de la estructura

Con la información recopilada hasta este momento se harán dos diagramas para identificar flujos de energía, material y señal entre ellos (interacción entre componentes).

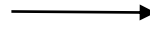
Diagrama principal de funciones (o también llamado de componentes)



Poniendo las subfunciones y la interacción entre ellos se tiene lo siguiente (de forma general):



Indica la conexión entre ellos



Indica el flujo de energía



Indica el flujo de material del experimento



Indica donde se da la toma de datos



Indica el flujo de señal



### 2.1.4 Cálculo de métrica del producto

Un producto que tenga una modularidad cercana a cero indica que se tiene una menor cantidad de módulos. El rango de modularidad se da entre cero y uno.

$$Modularidad = \sum_{1}^{Numidades} \frac{\left(\frac{1}{Npartes}\right)}{Nmódulos}$$

$$Modularidad = 0.33$$

La métrica de interacciones es una medida del número de interacciones entre módulos, y se calcula de la siguiente forma:

$$Interacciones = \frac{N \text{ interacciones internas entre los módulos}}{Nmódulos}$$

$$Interacciones = \frac{5}{5} = 1$$

El número de interacciones internas entre los módulos son aquellas que ocurren dentro de los límites del sistema. El menor número que ofrece es uno, que indica que es un producto de modularidad simple. Cabe aclarar que no hay un número límite, sin embargo basta saber que números mayores a tres indican ya que hay demasiadas interacciones dentro del producto.

## 2.2 Generación de conceptos

Con la ayuda de la tecnología que se tenga disponible y los posibles proveedores se comenzará con la generación de conceptos. Todo lo ya mencionado hasta ahora se integrará y se obtendrá el producto funcional.

En la información proporcionada hasta el momento, se ha mencionado como las funciones muestra lo que el producto hace. Nos ocuparemos ahora de cómo realizará sus funciones el producto.

### 2.2.1 Módulo 1 y 2

Para el módulo uno y dos se generaron la siguiente matriz de decisión tomando en cuenta lo que se necesita para estos dos módulos:

El valor de peso es tomado de 1 a 10, donde el valor 10 representa el de mayor importancia y 1 el de menor relevancia y que son asignados a cada especificación de diseño o característica del diseño.

Los valores de habilidad son de 0 a 3 e indica la relación de cada especificación y su “habilidad” de cumplir la especificación.

Claramente el concepto ganador es el que consigue mayor puntaje total.

Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1 Considerar que tanto el módulo 1 y el módulo 2 se pueden conseguir en un solo producto ya vendido como bicicletas, productos de gimnasio, etc.		Concepto 2 Considerarlos que se diseñen por separado el módulo 1 y 2.	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total
Simplicidad	9	3	27	2	18
Costo	5	3	15	2	10
No se tiene que fabricar	8	3	24	1	8
No se necesita ensamblar	8	3	24	0	0
Máximo provecho de la entrada	10	3	30	3	30



Durable	9	3	27	3	27
Confiable	10	3	30	1	10
Ergonómico	10	3	30	1	10
Disponibilidad	8	2	16	1	8
Seguro	10	3	30	2	20
	Puntaje total:		253		141

Una vez elegido que se va a comprar este producto y va a incluir a dos componentes, hay que elegir la mejor opción entre las opciones posibles que se tienen en el mercado.

Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1 Bicicleta de spinning		Concepto 2 Elíptica		Concepto 3 Caminadora		Concepto 4 Bicicleta	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total	Habilidad	Total	Habilidad	Total
Costo	6	3	18	2	12	1	6	3	18
Variedad de modelos	5	3	15	2	10	1	5	3	15
Fijo	8	3	24	3	24	3	24	0	0
Disponibilidad	7	3	21	3	21	2	14	3	21
Máximo provecho de la entrada	10	3	30	3	30	3	30	3	30
Durable	9	3	27	2	18	2	18	2	18
Confiable	10	3	30	2	20	2	20	1	10
Ergonómico	10	3	30	3	30	3	30	3	30
Seguro	8	3	24	3	24	3	24	2	16
Reposición de piezas	9	3	27	2	18	1	9	3	27
Facilidad para conectarse con el módulo 3	10	2	20	1	10	1	10	2	20
	Puntaje total:		266		217		190		205

Una vez sabido que se va a elegir la bicicleta de spinning se proponen los siguientes modelos:

Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1 Aparato de Ejercicio Profesional ESB600 DeLuxe con Banda marca Benotto		Concepto 2 Aparato de Ejercicio Sport Forza Uno Plata SP-0803-2 marca Benotto		Concepto 3 Bicicleta Para Spinning BH Fitness Mod. SB2.5	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total	Habilidad	Total
Costo	5	2	10	3	15	3	15
Calidad	8	3	24	3	24	2	16
Durabilidad	8	3	24	3	24	2	16
Disponibilidad	8	3	24	3	24	3	24
Facilidad de acoplamiento con el módulo 3	10	3	30	1	10	1	10
Ergonómico	10	3	30	2	20	2	20
Seguridad	8	3	24	2	16	2	16
Mejor relación de transmisión	10	3	30	2	20	2	20
	Puntaje total		196		153		137

Al realizar estas matrices de decisión se tomaron en cuenta los módulos 1 y 2 junto con sus subfunciones. El Aparato de Ejercicio Profesional ESB600 DeLuxe con Banda marca Benotto es el apropiado para cumplir con lo que se necesita para estos dos módulos.

La imagen de este módulo a utilizar es la siguiente:



### 2.2.2 Módulo 3

Se tiene que acoplar algún elemento que pueda transmitir la entrada del módulo 1 y 2 y transmitir la energía hacia el módulo 4. Para ello se evaluarán los siguientes elementos mecánicos a través de la siguiente matriz de decisión:

Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Engranés		Bandas		Cadenas	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total	Habilidad	Total
Mayor velocidad límite	7	3	21	1	7	2	14
Trabaja en forma más silenciosa	6	1	6	3	18	1	6
No necesita lubricación	6	1	6	3	18	1	6
Soporta mayores cargas dinámicas	7	3	21	1	7	2	14
Reparable	8	0	0	0	0	3	24
Funciona en condiciones de suciedad	7	1	7	1	7	3	21
Costo	5	1	5	2	10	3	15
Condición de estiramiento	6	1	6	1	6	3	18
Provoca menor avería en rodamientos	8	1	8	1	8	3	24
Mayor eficiencia mecánica	10	3	30	1	10	2	20
Relación de transmisión constante	10	3	30	1	10	3	10
Más ligero	10	1	10	2	20	3	30
Durable	8	3	24	3	24	3	24
		Puntaje total		174		145	226

Una vez elegida la cadena se decidió acoplar un sprocket al volante de inercia de la bicicleta, otro a una flecha para transmitir ese movimiento circular al módulo 4 que será el encargado de transformar la entrada en movimiento lineal

### 2.2.3 Módulo 4

Para este módulo se optó por usar un tipo de mecanismo, quedando las opciones como se muestran en la siguiente matriz de decisión:

Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1 Mecanismo biela-manivela		Concepto 2 Cigüeñal (biela-dos manivelas)		Concepto 3 Mecanismo con más de 4 cuerpos	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total	Habilidad	Total
Simplicidad	8	3	24	2	16	1	8
Costo	5	3	15	3	15	2	10
Eficaz	8	2	16	3	24	3	24
Disponibilidad	7	3	21	3	21	3	21
Confiable	10	2	20	3	30	2	20
Durable	8	3	24	3	24	3	24
	Puntaje total		120		130		107

El concepto 2 fue el elegido para que se acoplara a la flecha y transmitir el movimiento lineal para provocar las vibraciones a los perfiles estructurales.

### 2.2.4 Módulo 5

Para este módulo se evaluaron dos tipos de frames (o bastidores) que fueron más viables para que se pudiesen unir con la bicicleta de spinning.

Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1 Frame abierto		Concepto 2 Frame cerrado	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total
Simplicidad	7	3	21	2	14
Costo	5	3	15	3	15
Eficaz	8	3	24	3	8

Visibilidad	10	3	30	1	10
Confiable	7	3	21	3	21
Durable	8	3	24	3	24
	Puntaje total		135		92

El uso de un frame abierto no impide la visibilidad del experimento y sólo se tiene que acoplar de alguna forma a la bicicleta ya prevista.

## Capítulo 3. Diseño de configuración

---

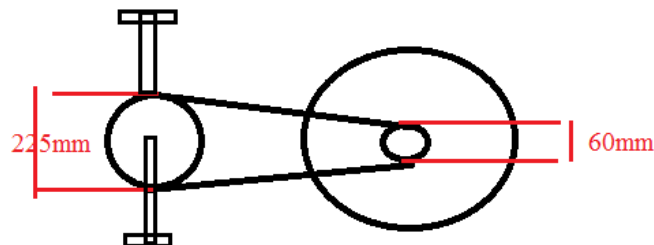
Para la realización de todo este capítulo se siguieron todas las referencias excepto la [3].

### 3.1. Cálculos de cada componente o módulo

Con los datos que se tienen hasta el momento se iniciaran los cálculos de cada componente para así poder pasar al diseño de detalle que son los planos que se encuentran en los anexos 1 y 2.

#### 3.1.1 Módulo 1 y 2

De acuerdo con los datos encontrados se puede obtener un torque máximo cercano a 180 [Nm], con potencias menores a 500 Watts. Cabe destacar que un atleta profesional del ciclismo puede generar 6 Watts por cada kilogramo mientras que un amateur sólo 4 Watts por cada kilogramo y una persona adulta en promedio genera solo 3 por cada kilogramo. La cadencia de pedaleo también es importante, se considera cadencia baja 60 rpm o menos, cadencia moderada 60 rpm-90 rpm y cadencia alta de 90 rpm – 120 rpm. Es importante aclarar que se pueden alcanzar cadencias mucho mayores (más de 180 rpm en periodos muy cortos), sin embargo el rango mencionado es el adecuado para no generar perjuicios a las rodillas. La relación entre las bandas de la bicicleta de spinning es de 3.75:1, la siguiente imagen fue proporcionada por el fabricante.



Esto quiere decir que por cada vuelta que demos en el pedal (entrada) se tendrán 3.75 vueltas en la salida (volante de inercia con el que cuenta la bicicleta de spinning). Es muy importante saber esto, ya que si se toma la máxima pedaleada recomendada se tendría que si una persona pedalea 120 rpm se tendrá en la salida 450 rpm (7.5 Hz).

Con base en esta información generada se pasó al módulo 4 para saber el torque necesario para poder mover ese módulo.

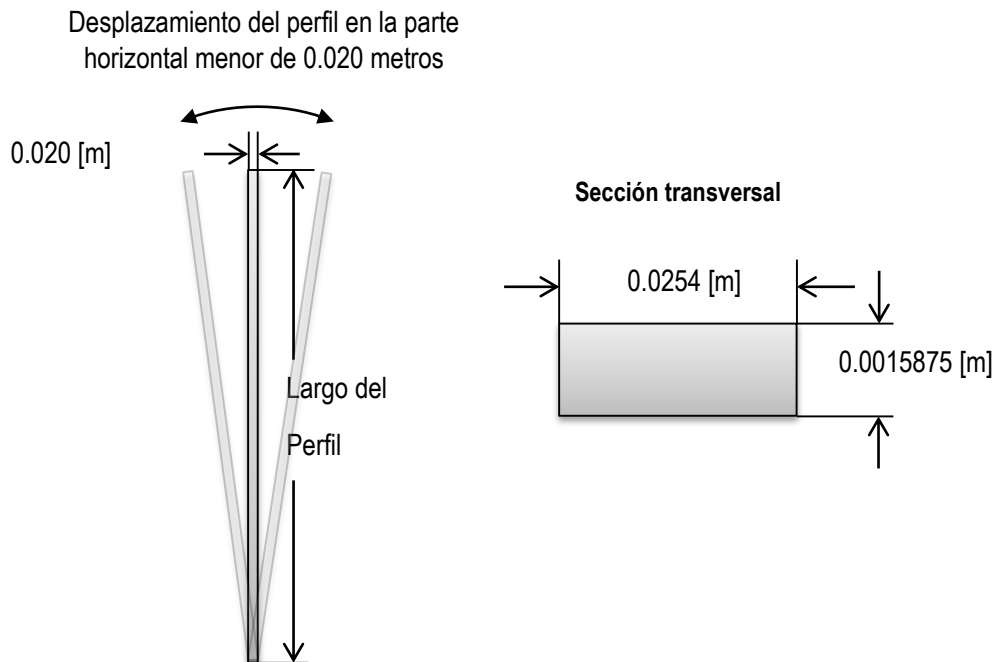
La imagen de este módulo se encuentra en la sección 2.2.1

### 3.1.2 Módulo 4

Para comenzar con los cálculos de este módulo, primero se calcularon los perfiles a utilizar. Para ello se hizo uso de la ecuación del cálculo de vibración libre de una viga en voladizo que se utiliza también para vigas o perfiles en posición vertical, la cual se usó para encontrar las frecuencias naturales. Se tuvo en cuenta que sólo se iba a tener una máxima de 7.5 Hz. Se tomará como referencia las cadencias de pedaleo a 30 rpm, 60 rpm, 90 rpm y 120 rpm. Con la ecuación resuelta y comprobada con el software de NX® se llenó la siguiente tabla:

Entrada (pedal) [rpm]	Salida (Volante de inercia) [rpm]	Hertz transmitidos [Hz]	Largo del perfil [m]	Masa [Kg]	Material (perfil comercial)	Sección Transversal [m]/[in]	Frecuencia natural a mostrar
30	112.5	1.875	0.831	0.0945	Aluminio 6063 T-5	0.0015875 X .0254 1/16 X 1	Primera
60	225	3.75	0.588	0.0680	Aluminio 6063 T-5	0.0015875 X .0254 1/16 X 1	Primera
90	337.5	5.625	0.480	0.0563	Aluminio 6063 T-5	0.0015875 X .0254 1/16 X 1	Primera
120	450	7.5	0.416	0.0493	Aluminio 6063 T-5	0.0015875 X .0254 1/16 X 1	Primera

Posición del perfil en la base móvil (siguiente página)



Para la base del experimento se tiene la siguiente matriz de decisión:

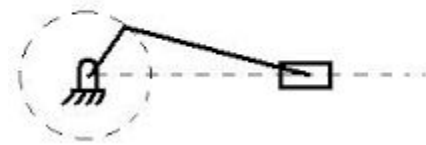
Especificación de diseño	Valor de peso	Concepto 1		Concepto 2	
		Base hecha con unión atornilladas		Base hecha con unión soldada	
		Habilidad	Total	Habilidad	Total
Costo	5	3	15	3	15
Calidad	8	3	24	3	24
Durable	8	3	24	3	24
Disponibilidad	8	3	24	3	24
Confiable	10	3	30	2	20
Reemplazo de piezas	10	3	30	2	20
Seguro	8	3	24	3	24
	Puntaje total		171		151

El diseño se hizo a partir de un mecanismo de cuatro barras biela-manivela. Debido a las aceleraciones encontradas y considerando el tamaño de las piezas comerciales de rodamientos, tornillos, soleras, barras, rodamientos lineales (considerando todas las piezas necesarias para que funcione adecuadamente) y la disponibilidad de las piezas comerciales, se decidió que los perfiles



para el experimento se haría primero montando los perfiles de 30 y 120 rpm y después de hacer el experimento se montarían los de 60 y 90 rpm.

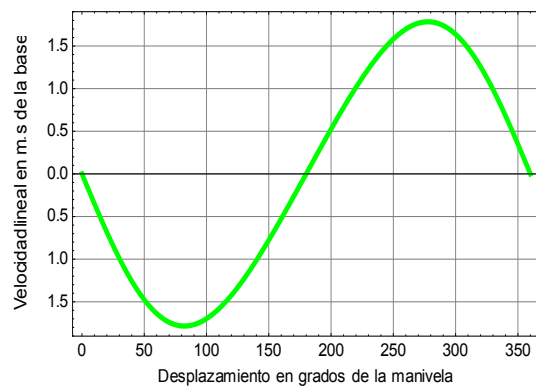
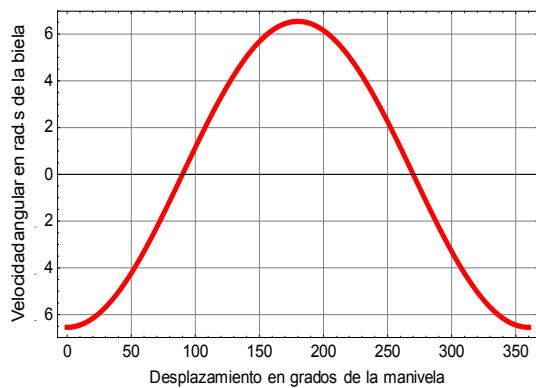
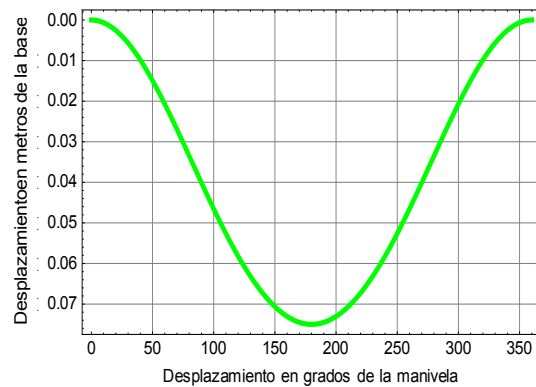
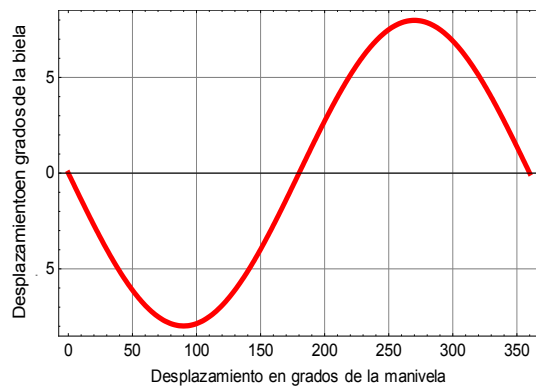
### Ejemplo de mecanismo de cuatro barras biela -manivela

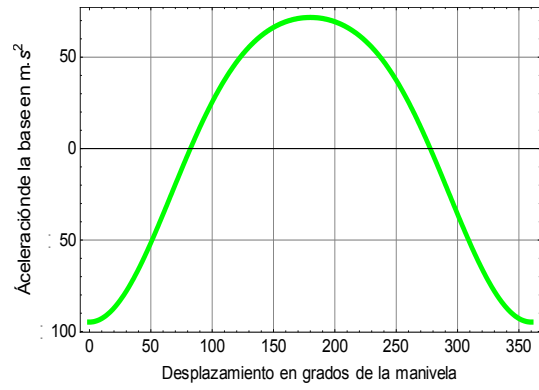
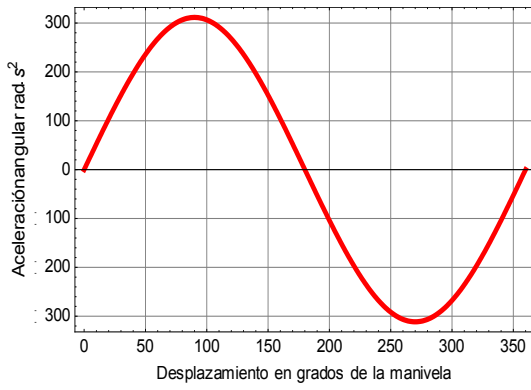


Cabe aclarar que para que la base fuese simétrica y se pudiese modelar el movimiento en un plano, se decidió duplicar los perfiles. La prioridad fue mantener el centro de gravedad de la base del experimento lo más cercano a la junta que une a la base del experimento con la biela para tener un movimiento lo más uniforme posible.

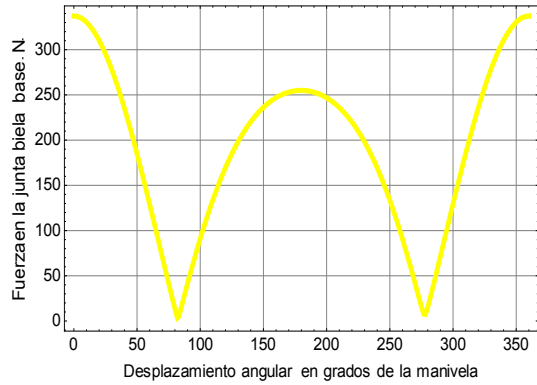
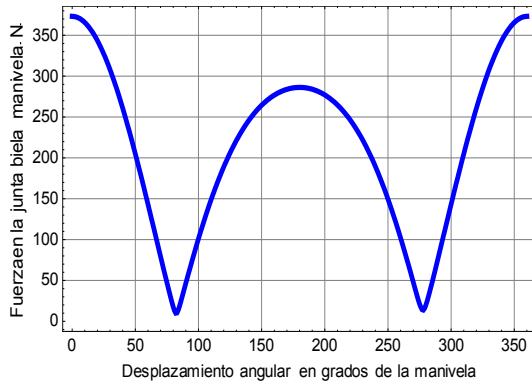
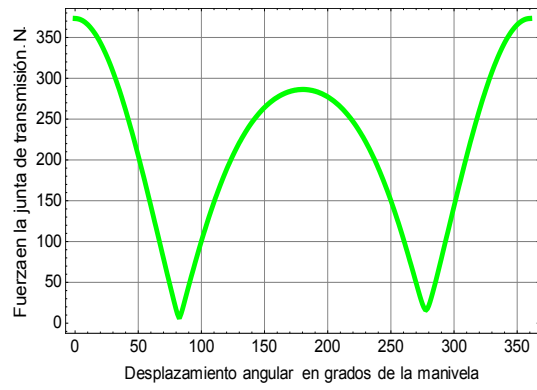
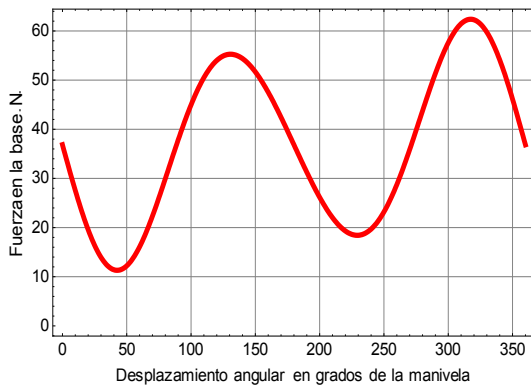
Las gráficas obtenidas de mayor importancia son las generadas cuando se usa el perfil de 120 rpm, las cuales se muestran a continuación:

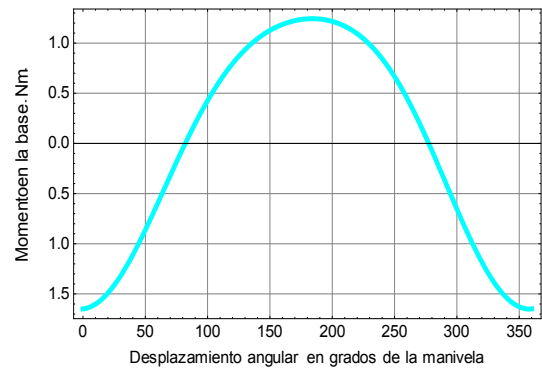
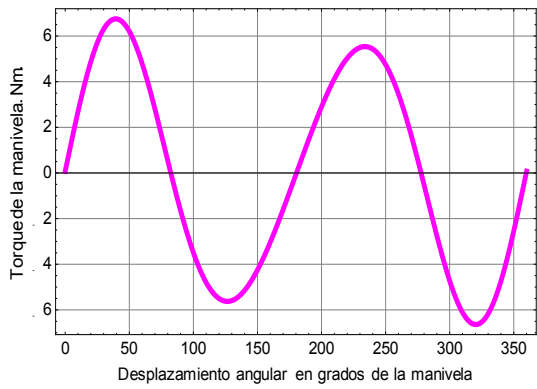
### Gráficas de la posición, velocidad y aceleración



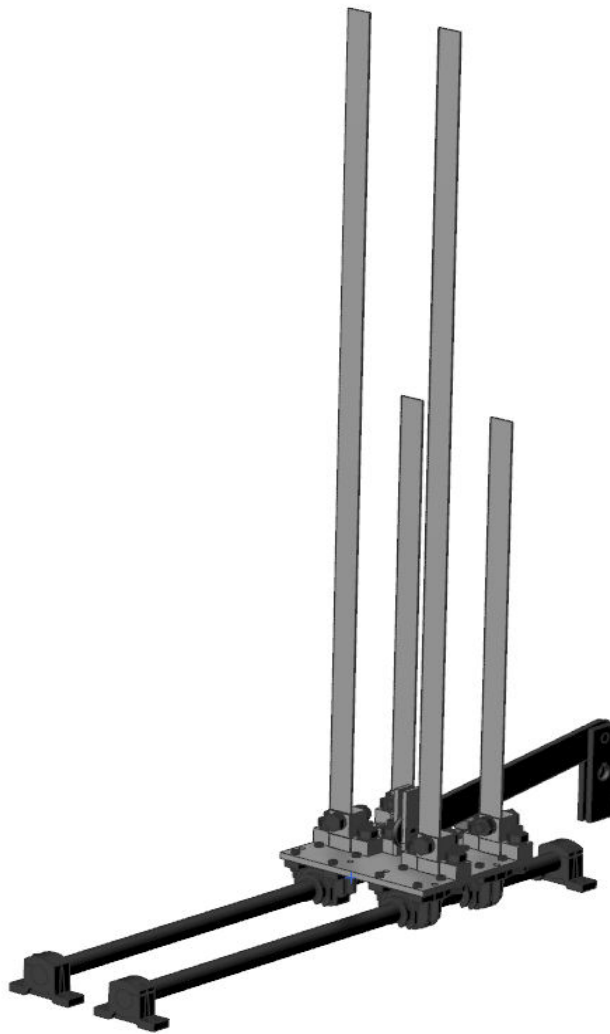


### Gráficas de las Fuerzas y Pares Dinámicos





Con base en esta información y la ayuda del software de NX<sup>®</sup> se calcularon y diseñaron todos los componentes. El diseño final queda como se muestra en la siguiente imagen:



Las dimensiones pueden ser vistas en el anexo 1.

### 3.1.3 Módulo 4

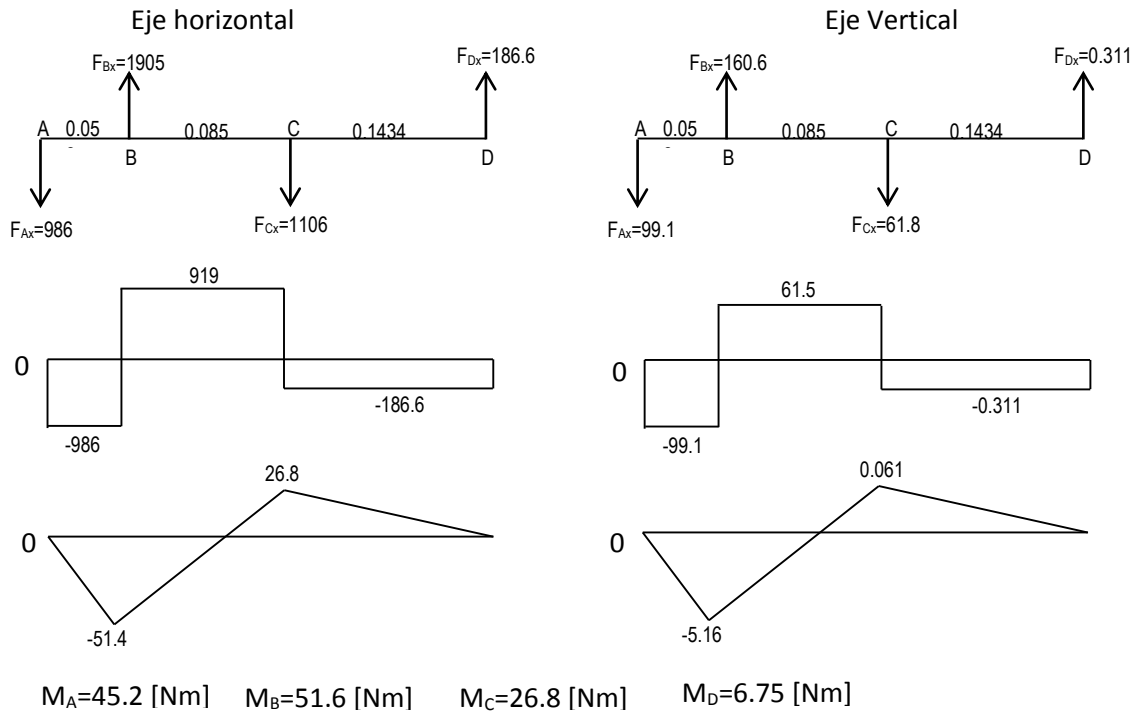
La primera parte perteneciente a este módulo fue calcular los sprockets junto con la cadena a utilizar.

Numero de cadena	ANSI número 35 o ISO número 06B30
Número de dientes Catarina motriz	30
Paso de la cadena	0.375 [in] o 9.525 [mm]
Número de dientes Catarina conducida	30
Relación de velocidad	1:1
Potencia límite en el eslabón	1551 [W]
Fluctuación de velocidad	Menor de 1%
Tipo de lubricante	SAE 30 (cada 8 horas de funcionamiento)
Longitud de la cadena en pasos	68

Para el cálculo de la flecha se tiene la siguiente información:

Material	Acero 1018 estirado en frío
Esfuerzo último	440 [MPa]
Esfuerzo de cedencia	370 [MPa]
Factor de diseño	2

Con la información de los módulos anteriores se hace el diagrama de cargas [N], cortantes [N] y momento flexionante [Nm]. Las distancias están en metros. La imagen se muestra en la página siguiente.

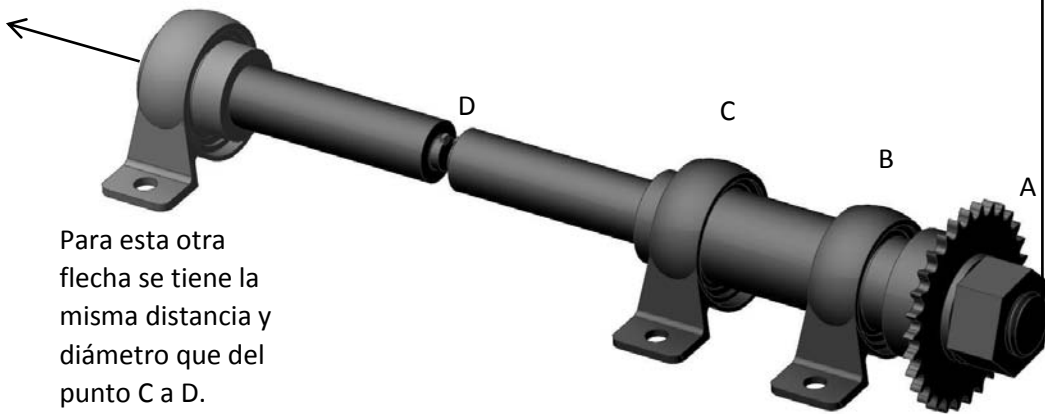


Para los diámetros se consideró tener menos maquinado y piezas comerciales de chumaceras. Del mismo modo para las cuñas, cuñeros y los pasos de la flecha quedando como se muestran en los planos del anexo.

En las siguientes dos imágenes se puede ver cómo queda este módulo tres junto con el módulo cuatro.

Eje horizontal

Eje vertical



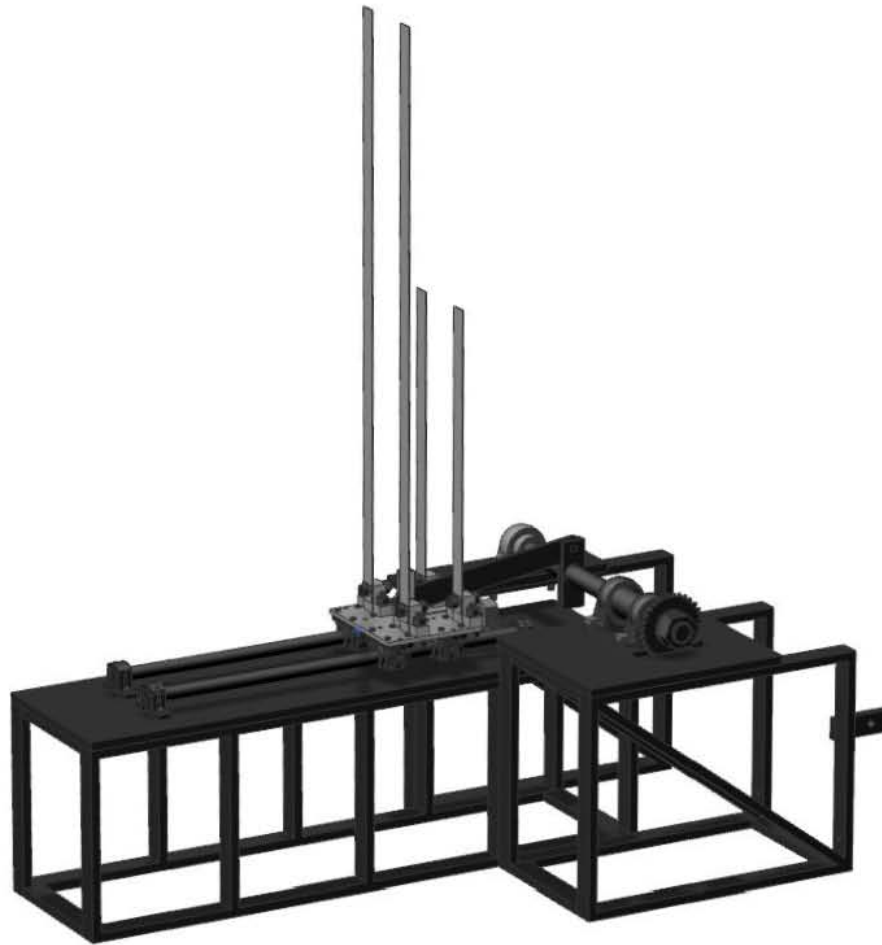
Para esta otra flecha se tiene la misma distancia y diámetro que del punto C a D.



Las dimensiones pueden ser vistas en el anexo 1.

### **3.1.4 Módulo 5**

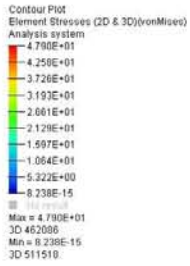
Para la realización de este módulo se consideró hacerlo abierto para que se puedan visualizar los experimentos. Se tomaron en cuenta las dimensiones de los componentes anteriores y el funcionamiento de los mismos. La siguiente imagen muestra el bastidor de unión rígida que se decidió hacer como diseño final. Una vez más los factores decisivos fueron: la disponibilidad de material, hacerlo lo mayor rígido posible buscando utilizar piezas comerciales, no tener mucho maquinado y que no se tuviera que ensamblar.



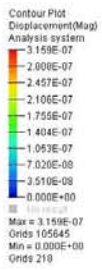
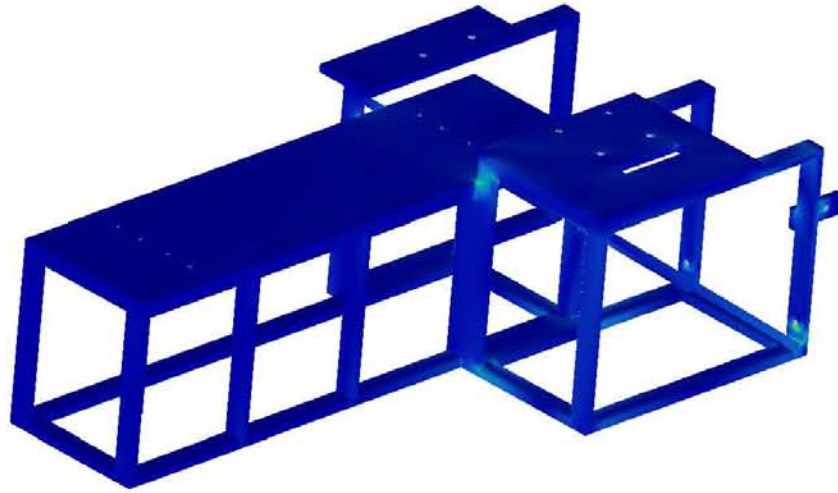
La unión con la bicicleta de spinning se muestra en el anexo número 2.

Ahora se mostrarán dos de los cálculos hechos para saber cuál es el esfuerzo máximo y el desplazamiento máximo debido a las cargas y restricciones que tendrá el bastidor (o frame).

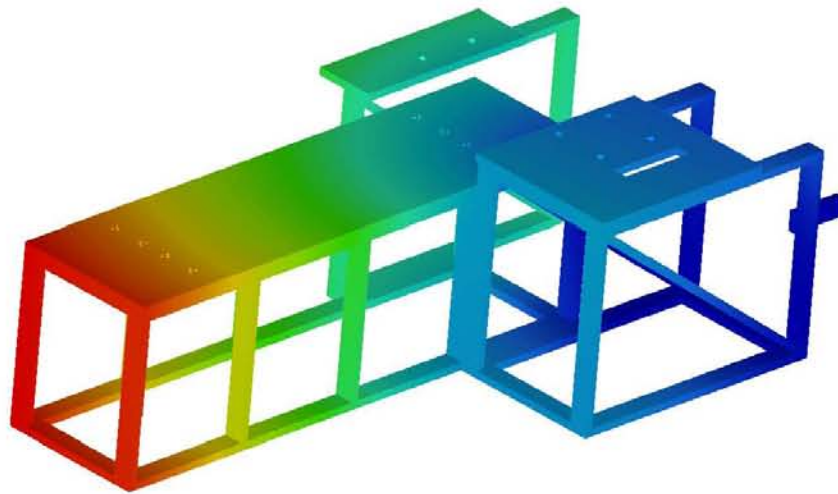
La primera de ellas se muestra las zonas de mayor esfuerzo [Pa] y en la segunda la de desplazamiento [m] debido a las fuerzas a las que está sometido. El software utilizado es Altair hyperworks®. Ambas cumplen con los criterios de diseño que sugieren las referencias seguidas durante la realización de este módulo.



Result: C:\Users\Administrador\Desktop\Diego\_Santi\PARTES\_PROYECTO\_TESIS\_2015\PART\_server\020151005184636034397491926056\Frme h3d  
Model info: Model  
Subcase 1 (Operacion) : Static Analysis  
Frame 2



Result: C:\Users\Administrador\Desktop\Diego\_Santi\PARTES\_PROYECTO\_TESIS\_2015\PART\_server\020151005184636034397491926056\Frme h3d  
Model info: Model  
Subcase 1 (Operacion) : Static Analysis  
Frame 2



Este frame será unido mediante 3 tornillos a la bicicleta, para que si en un futuro quisiera ocuparse para otra máquina, pueda desatornillarse y darle otras funciones.



## Conclusiones

---

En el presente trabajo se consiguió diseñar una máquina de vibraciones mecánicas que busca ejemplificar uno de tantos temas que se tienen que cubrir en esta importante asignatura. Se destacan los siguientes logros:

- Se cumplieron con los objetivos establecidos en la presente tesis ya que se logró llegar hasta el diseño de detalle y se cumplieron los requerimientos.
- Se aplicó la metodología de diseño para la realización de toda la máquina la cual fue de gran ayuda ya que se trata de un diseño totalmente desarrollado desde cero.
- Se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos durante mi trayectoria académica tales como diseño de elementos de máquina, mecanismos, dinámica de maquinaria y vibraciones mecánicas.

Con la máquina que se diseñó se tiene la intención de mejorar la enseñanza en esta materia y a su vez crear un laboratorio de vibraciones mecánicas. Se espera que se inicie un área de investigación en la facultad de ingeniería para esta parte tan importante que son las vibraciones mecánicas.

## Referencias

---

[1] NORTON, R. L. (2000).

Diseño de maquinaria.

México: McGraw Hill.

[2] Beer & Johnson (2004).

Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica.

México: McGraw Hill.

[3] Ray W. Clough, Joseph Penzien (1995).

Dynamics of Structures.

California: Computers&Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley, CA 94704 USA.

[4] Susan Carlson Skalak Afton (2002).

Implementing Concurrent Engineering in Small Companies.

Virginia Copyright © by Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved.

[5] SHIGLEY (2003).

Diseño en Ingeniería Mecánica.

México: McGraw Hill.

[6] Mott, Robert L (2006).

Machine elements in mechanical design.

Mexico: Pearson Education.

[7] Collins, Jack A. Henry R. Busby & George H. Staab (2010).

Mechanical design of machine elements and machines: a failure prevention perspective.

Hoboken, New Jersey: J. Wiley & Sons.

[8] Norton, Robert L., (2011).

Machine design: an integrated approach.

Boston: Prentice Hall.

[9] Marris, Jen (2012).

Machine designers reference.

New York: Industrial Press.

[10] Mapawatt.com, Información sobre cuanta energía produce el ser humano.

[actualizada el 19 de julio de 2009; acceso 14 de marzo 2015] Disponible en:

<http://mapawatt.com/2009/07/19/bicycle-power-how-many-watts-can-you-produce>

[11] Thenakedscientists.com, Información sobre máximo pedaleo. [actualizada el 15 de octubre de 2012; acceso 15 de marzo 2015] Disponible en:

<http://www.thenakedscientists.com/forum/index.php?topic=45944.0>

[12] Uni-Konstanz.com, Información sobre torque máximo en pedaleo. [actualizada el año 2015; acceso 16 de marzo 2015] Disponible en:

<https://www.uni-konstanz.de/mmsp/pubsys/publishedFiles/QuDaSa15.pdf>

[13] Ocw.uc3m.es, Información sobre elementos de máquinas. [no se menciona el año de actualización; acceso 17 de marzo 2015] Disponible en:

<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material-clase/ocw-correas1>

[14] Researchgate.net, Información sobre análisis biomecánico del pedaleo de bicicleta. [actualizado en junio del 2008; acceso 18 de marzo 2015] Disponible en:

[http://www.researchgate.net/publication/19084019\\_A\\_Method\\_for\\_Biomechanical\\_Analysis\\_of\\_Bicycle\\_Peddling\\_J.\\_of\\_Biomech.\\_18\\_631-644](http://www.researchgate.net/publication/19084019_A_Method_for_Biomechanical_Analysis_of_Bicycle_Peddling_J._of_Biomech._18_631-644)

[15] Iftomm.org, Información sobre pedaleo de bicicleta. [actualizado en el 2007; acceso 19 de marzo 2015] Disponible en:

[http://www.iftomm.org/iftomm/proceedings/proceedings\\_WorldCongress/WorldCongress07/articles/sessions/papers/A864.pdf](http://www.iftomm.org/iftomm/proceedings/proceedings_WorldCongress/WorldCongress07/articles/sessions/papers/A864.pdf)

[16] Webcache.googleusercontent.com, Información sobre análisis biomecánico del pedaleo de bicicleta. [actualizado en el 2012; acceso 20 de marzo 2015] Disponible en:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:L00ckObieEwJ:www.isc-journal.com/ojs/index.php%3Fjournal%3DJSC%26page%3Darticle%26op%3Ddownload%26path%255B%255D%3D15%26path%255B%255D%3D46+&cd=9&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>

[17] Fredericgrappe.com, Información sobre cadencia de pedaleo de bicicleta. [actualizado en el 2005; acceso 21 de marzo 2015] Disponible en:

<http://www.fredericgrappe.com/wp-content/uploads/2005/09/Effect%20on%20the%20crank%20torque%20profile%20when%20changing%20pedaling%20cadence%20in%20level%20ground%20and%20uphill%20road%20cycling.pdf>

[18] Faculty.educ.ubc.ca, Información sobre pedaleo en bicicleta. [actualizado en 1991; acceso 22 de marzo 2015] Disponible en:

[http://faculty.educ.ubc.ca/sanderson/lab/CLFbiom/Downloads/Sanderson%20\(JSS\).pdf](http://faculty.educ.ubc.ca/sanderson/lab/CLFbiom/Downloads/Sanderson%20(JSS).pdf)

[19] Webcache.googleusercontent.com, Estudio sobre pedaleo y cadencia en bicicleta. [actualizado el 3 de diciembre del 2014; acceso 23 de marzo 2015] Disponible en:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yfHASdq-G7YJ:www.mdpi.com/1424-8220/14/12/22921/pdf+&cd=3&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>

[20] Worldacademicunion.com, Estudio sobre potencia generada en bicicleta. [actualizado en 2008; acceso 24 de marzo 2015] Disponible en:

<http://www.worldacademicunion.com/journal/SSCI/SSCIvol02no01paper05.pdf>

[21] Voxy.co.nz, Estudio sobre potencia generada en bicicleta. [actualizado en 2008; acceso 25 de marzo 2015] Disponible en:

<http://www.voxy.co.nz/sport/power-generated-during-exercise-and-possibility-human-powered-flying-machines/971/19759>

[22] litg.vlab.co.in, Información sobre frecuencias naturales en vigas en voladizo. [actualizado constantemente; acceso 25 de febrero 2015] Disponible en:

<http://iitg.vlab.co.in/?sub=62&brch=175&sim=1080&cnt=1>

[23] Singiresu, S, Rao (2010):

Mechanical Vibrations.

Boston: Prentice Hall, Pearson Education.

# ANEXO 1

1

2

3

4

A

A

Identificador	Nombre	Cantidad	No. de Plano u Hoja
1	Biela	1	8
2	Manivela	2	9
3	Perno	2	10
4	Base de la base Móvil	1	11-14
5	Bloque de apoyo del perfil	4	15
6	Rodamiento modelo 61800-2Z	2	16
7	Chumacera lineal abierta: MODELO LUCT 20 BH-2LS	4	17
8	Rodamiento lineal abierto: MODELO LBHT 20 A	4	18
9	Base de conexión de la biela con la base móvil	2	19
10	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.25 X 40	14	20
11	Tuerca cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.25	14	21
12	Arandela M 10	46	22
13	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M4-0.70 X 25	16	23

B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4
	FECHA: 22/10/15	Lista de Materiales

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

Identificador	Nombre	Cantidad	No. de Plano u Hoja
14	Tuerca cabeza hexagonal grado 8.8 M4-0.70	16	24
15	Arandela M 4	32	25
16	Placas para los perfiles de aluminio	4	26
17	Perfil de aluminio para 30 rpm	2	27
18	Perfil de aluminio para 60 rpm	2	28
19	Perfil de aluminio para 90 rpm	2	29
20	Perfil de aluminio para 120 rpm	2	30
21	Eje sólido LJM20X60ESCC2	2	31
22	Soporte para el eje sólido LSCS 20	4	32
23	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M5-0.80 X 30	8	33
24	Tuerca cabeza hexagonal M5-0.80	8	34
25	Arandela M 5	16	35
26	Chumacera base SY 30 FM	3	36
27	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.50 X 45	6	37
28	Tuerca cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.50	6	38

B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4
	FECHA: 22/10/15	Lista de Materiales

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

Identificador	Nombre	Cantidad	No. de Plano u Hoja
29	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.50 X 120	2	39
30	Solera para el tornillo de 12 cm	2	40
31	Sprocket 06B-Tipo B 30dientes	1	41
32	Tuerca cabeza hexagonal grado 8.8 M30-3.50	1	42
33	Arandela M 30	1	43
34	Flecha 2	1	44
35	Cuña cuadrada de 6 mm	1	45
36	Cuña cuadrada de 4 mm	2	46
37	Flecha 1	1	47
38	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.50 X 60	1	48
39	Solera para chumacera de 12 cm de largo	1	49
40	Bastidor de la máquina	1	50-57

B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4
	FECHA: 22/10/15	Lista de Materiales

1

2

3

4



1

2

3

4

A

A

B

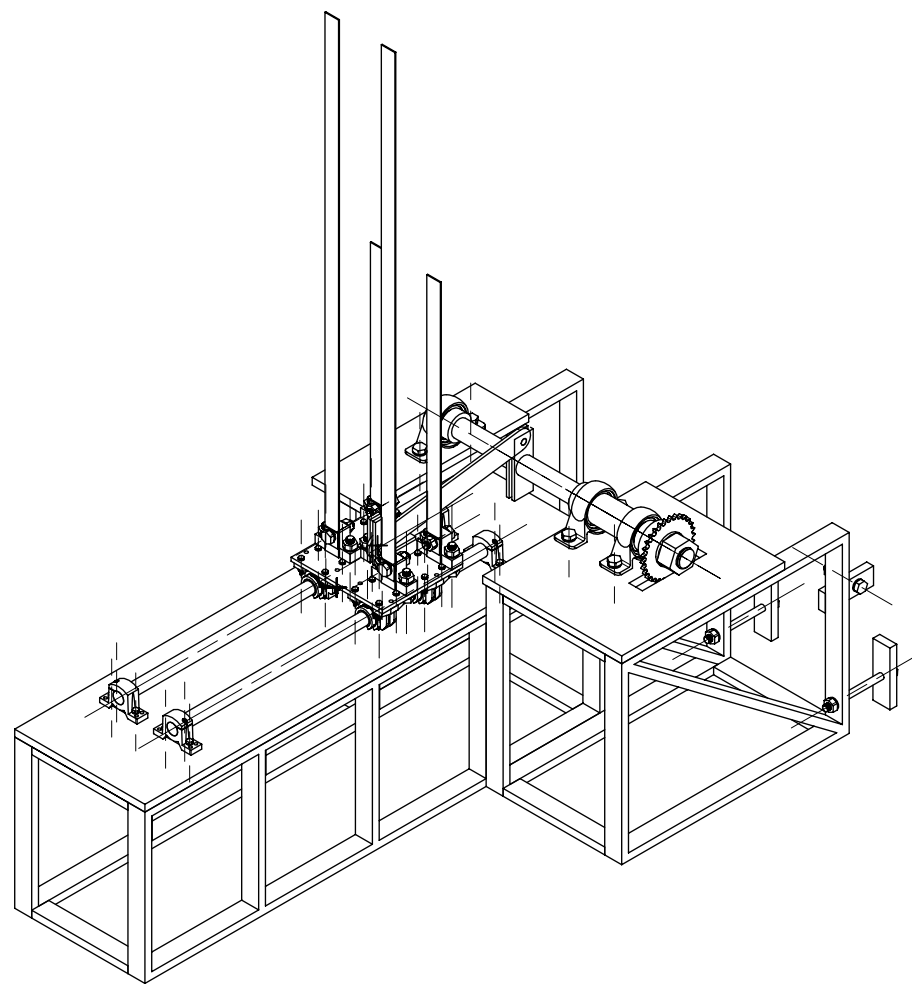
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Mixto</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Explosivo de la máquina completa (plano 1 de 2)</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:10</p>	<p>Hoja: 4/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

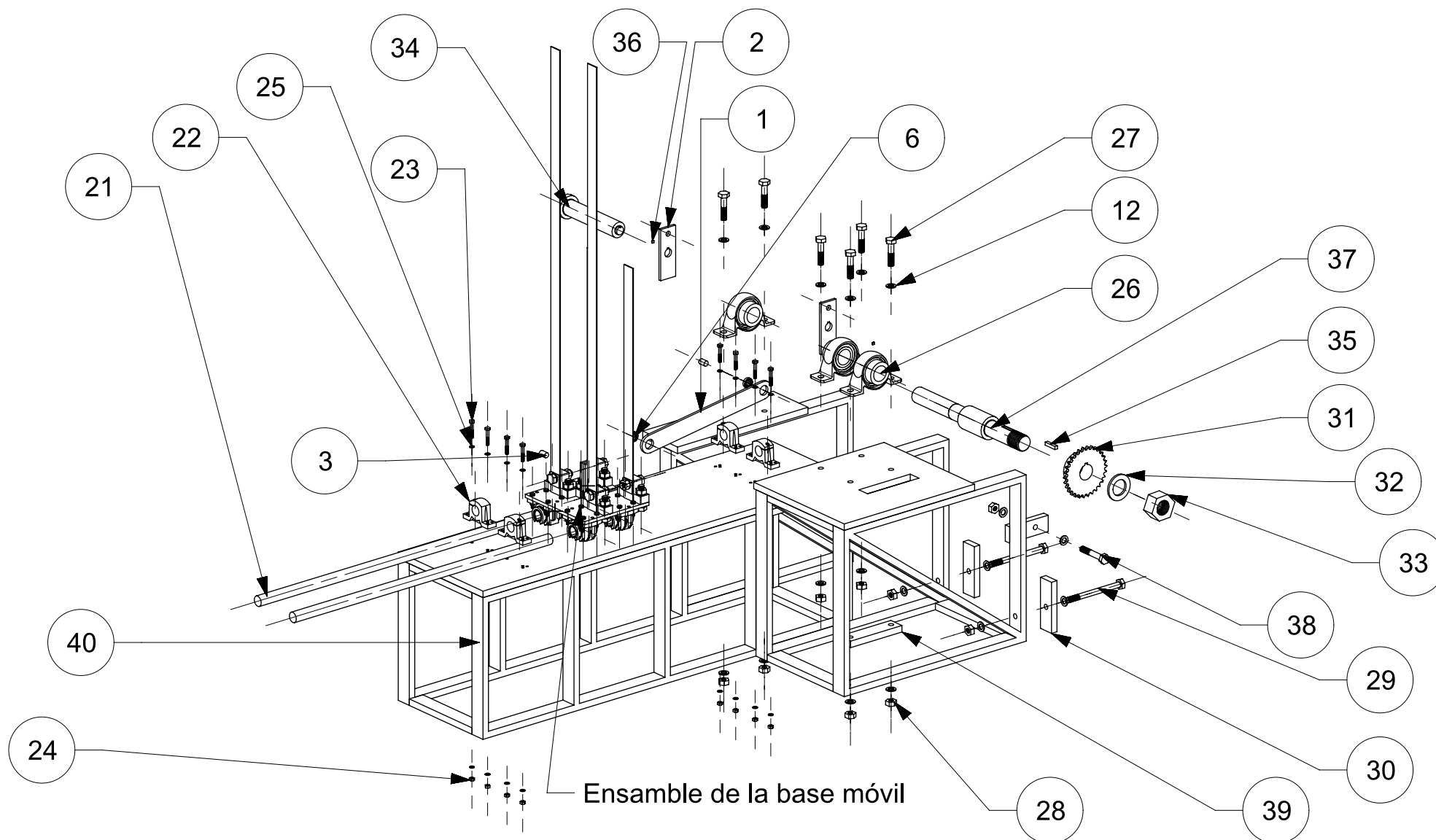
B

C

C

D

D



Ensamble de la base móvil

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Mixto

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Explosivo de la máquina completa (plano 1 de 2)

Unidad:  
mm

Escala:  
1:10

Hoja:  
5/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

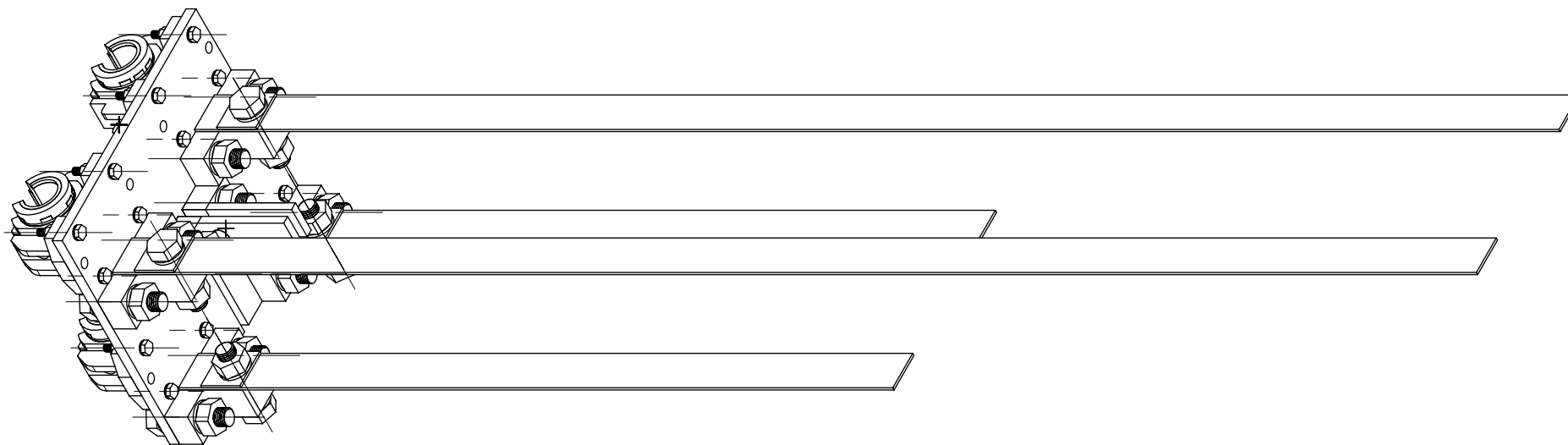
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Mixto	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Explosivo de la base móvil (plano 1 de 2)	Unidad: mm	Escala: 1:3

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

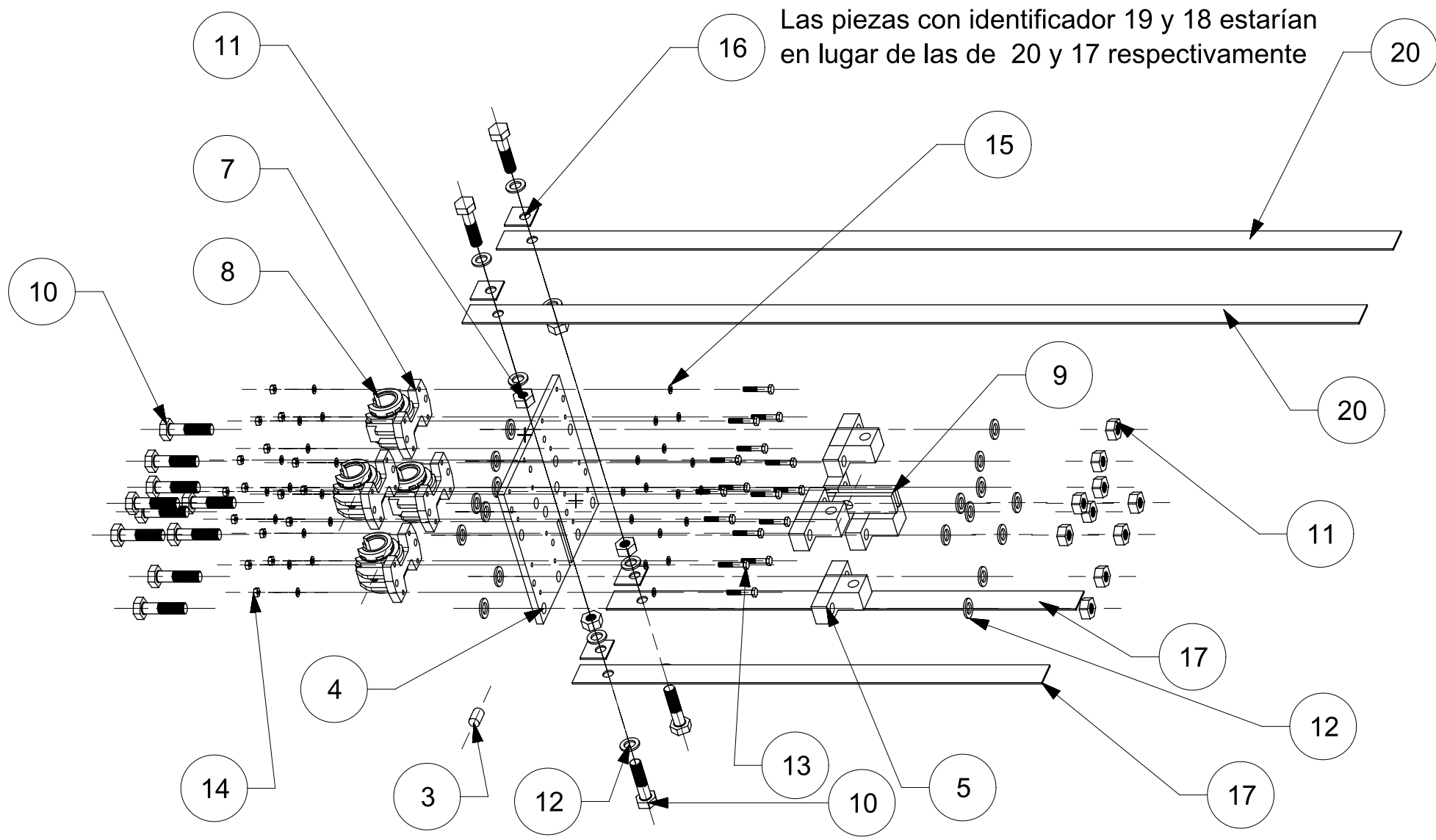
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Mixto

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Explosivo de la base móvil (plano 2 de 2)

Unidad:  
mm

Escala:  
1:5

Hoja:  
7/57

1

2

3

4

1

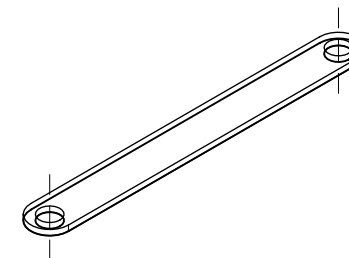
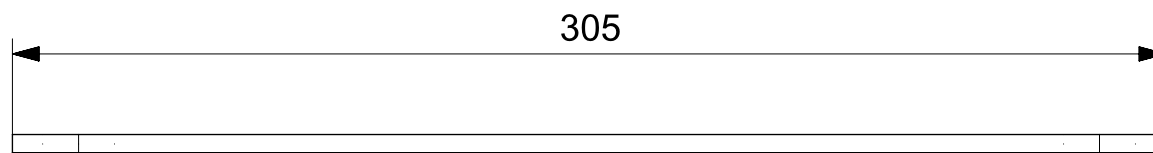
2

3

4

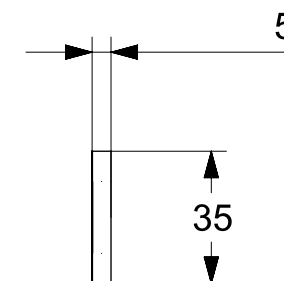
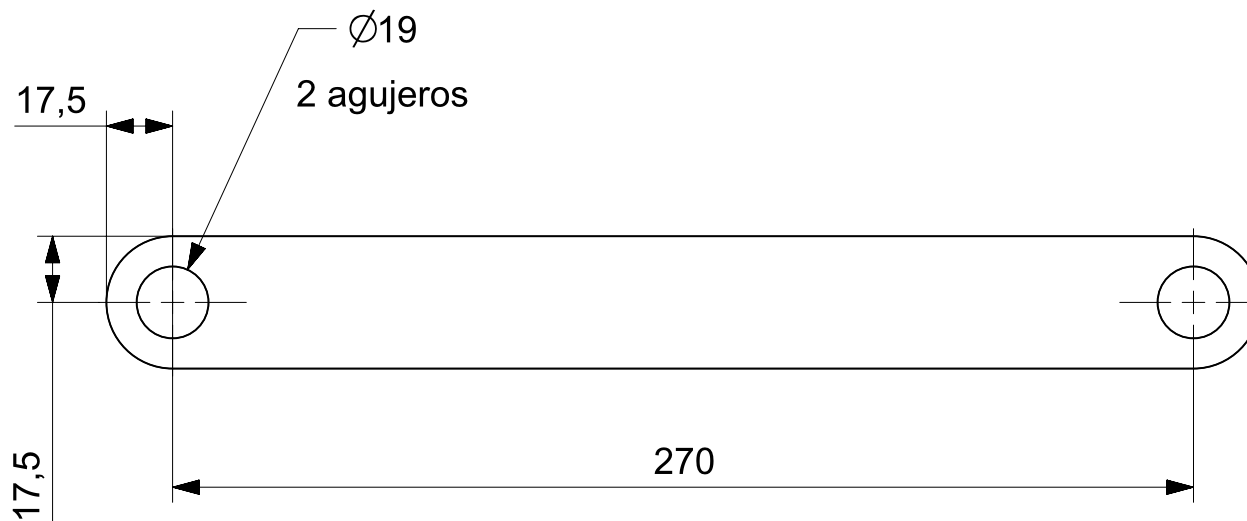
A

A



B

B



C

C

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero  
1018 cr

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Biela

Unidad:  
mm

Escala:  
1:2

Hoja:  
8/57

1

2

3

4

1

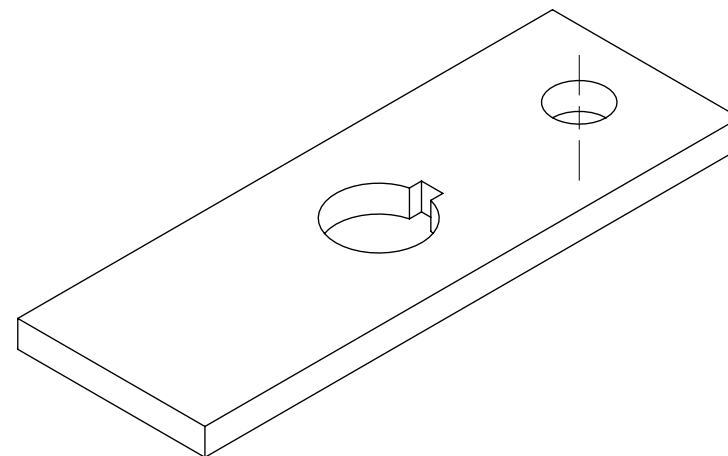
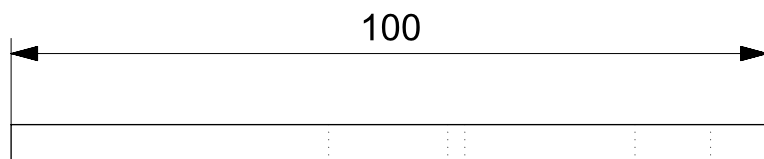
2

3

4

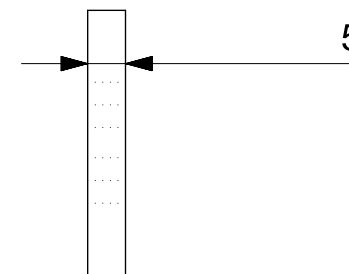
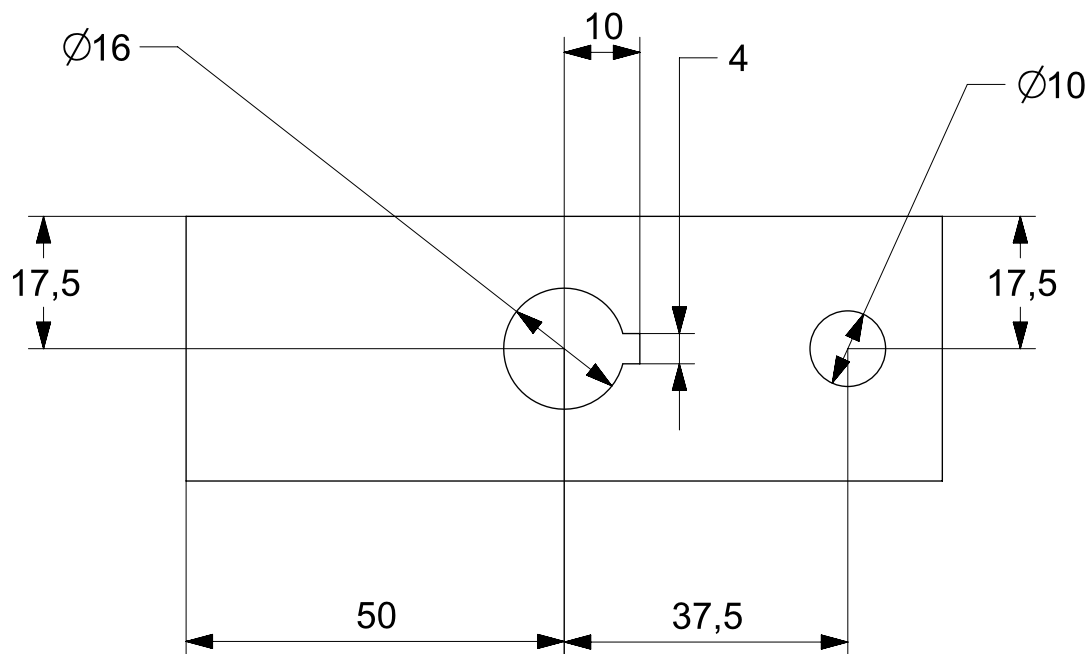
A

A



B

B



C

C

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero  
1018 cr

Cantidad:  
2

FECHA:  
22/10/15

Manivela

Unidad:  
mm

Escala:  
1:1

Hoja:  
9/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

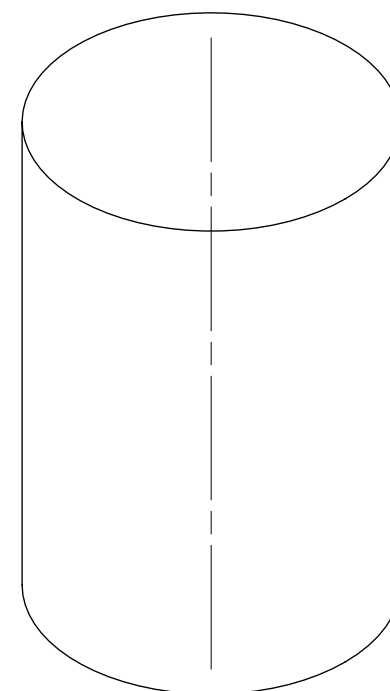
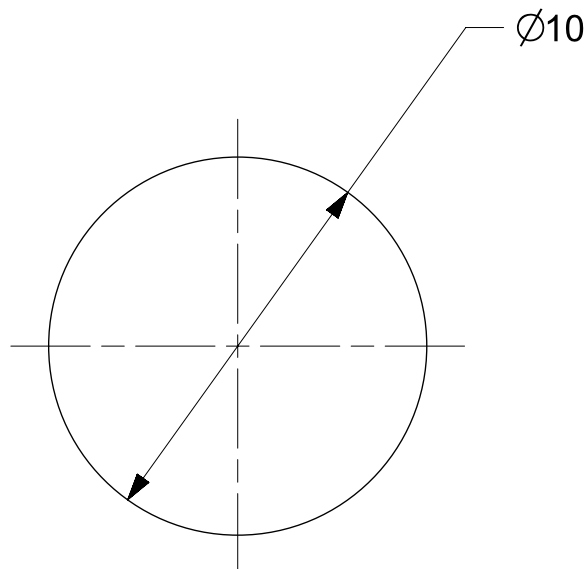
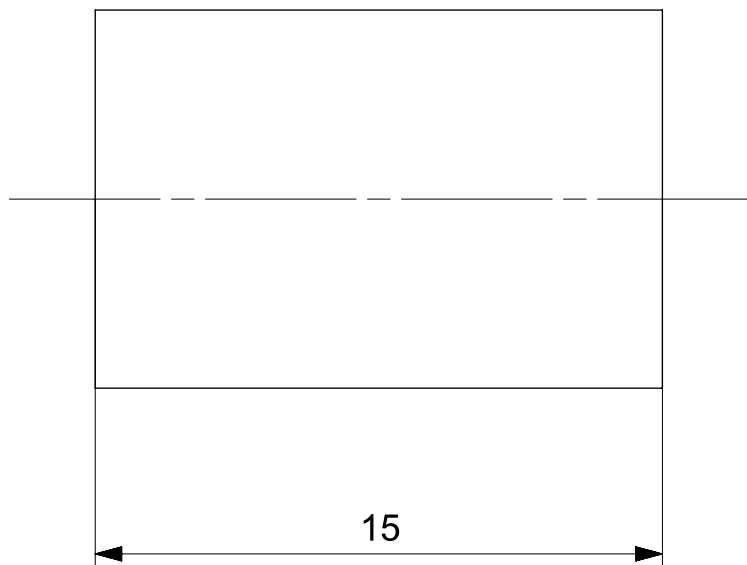
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 2
	FECHA: 22/10/15	Perno	Unidad: mm	Escala: 5:1
Hoja: 10/57				

1

2

3

4

1

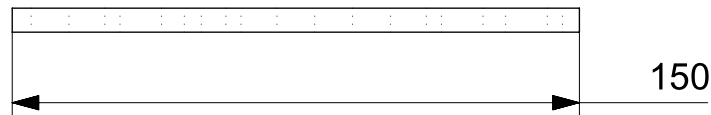
2

3

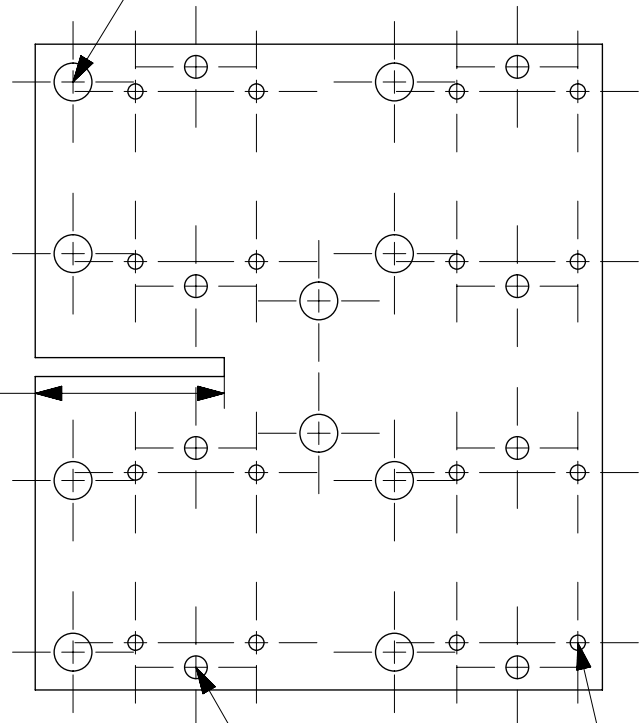
4

A

A

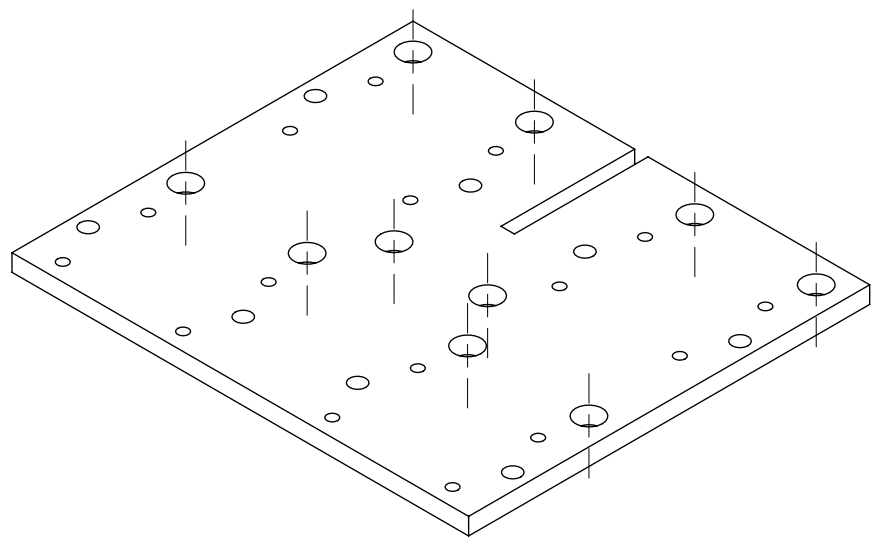
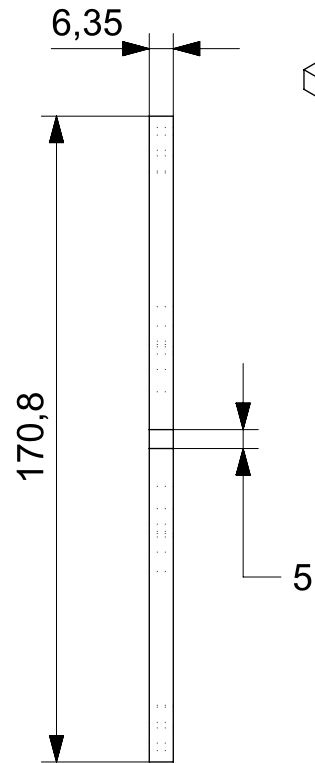


Ø10  
Son 10 agujeros



Ø6  
Son 8 agujeros

Ø4  
Son 16 agujeros



B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6063 T-5	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Base de la base móvil (plano 1 de 4)	Unidad: mm	Escala: 1:2

1

2

3

4



1

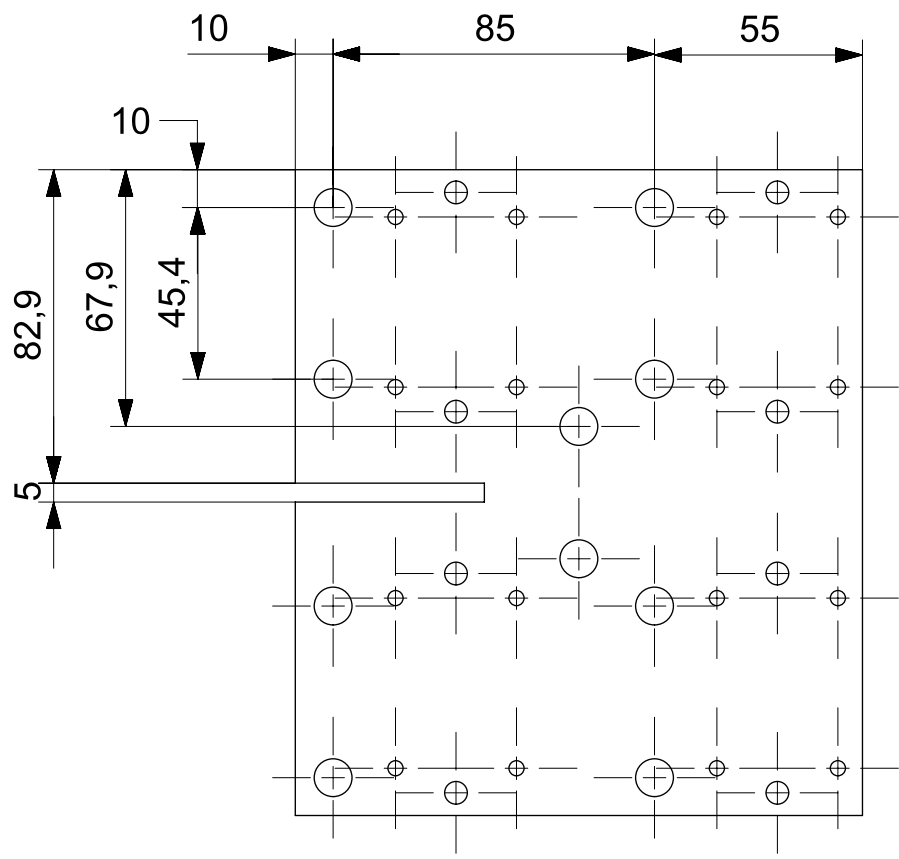
2

3

4

A

A



B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas  FECHA: 22/10/15	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6063 T-5	Cantidad: 1
	Base de la base móvil (plano 2 de 4)	Unidad: mm	Escala: 1:2	Hoja: 12/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

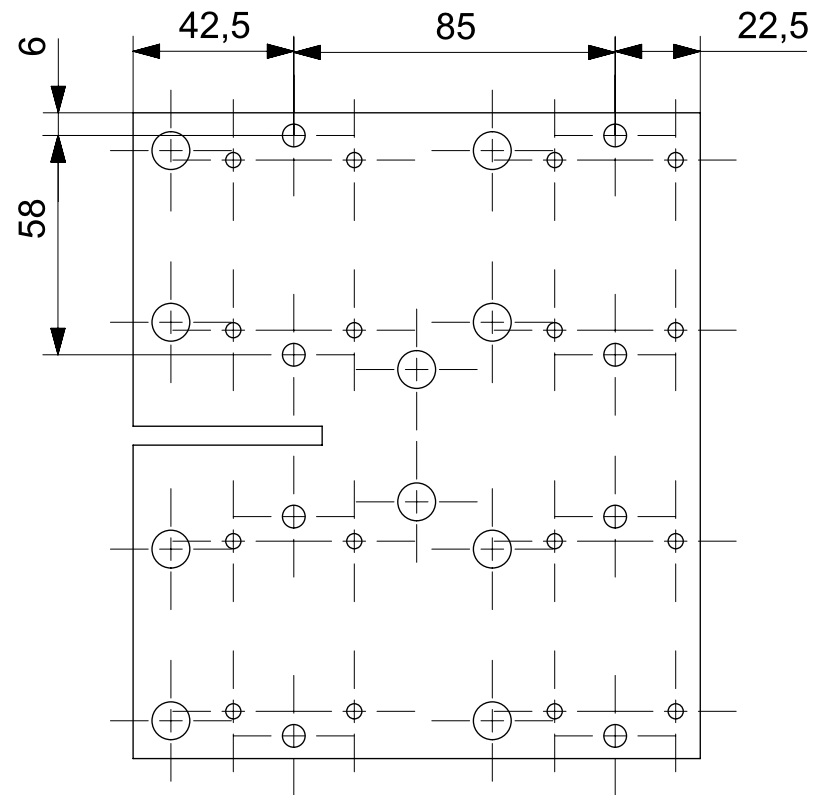
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6063 T-5	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Base de la base móvil (plano 3 de 4)	Unidad: mm	Escala: 1:2

1

2

3

4

1

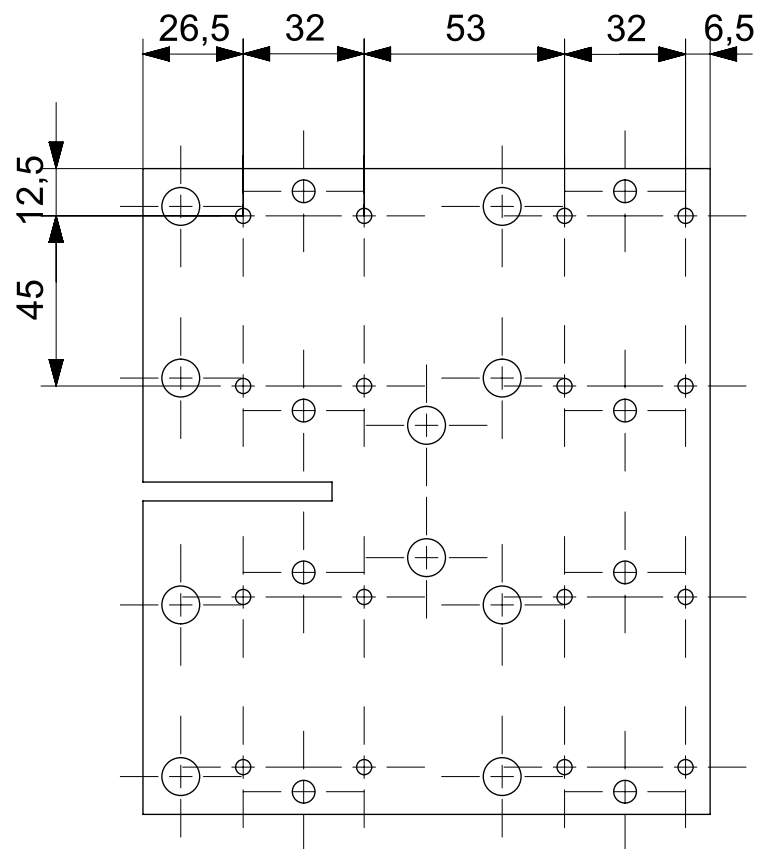
2

3

4

A

A



B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Base de la base móvil (plano 4 de 4)

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Aluminio  
6063 T-5

Escala:  
1:2

Cantidad:  
1

Hoja:  
14/57

1

2

3

4

1

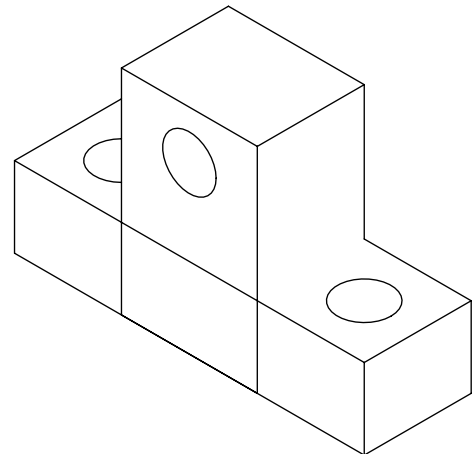
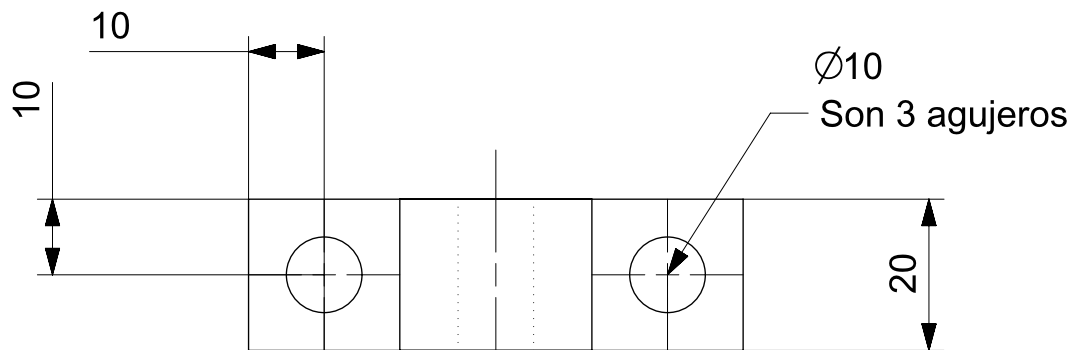
2

3

4

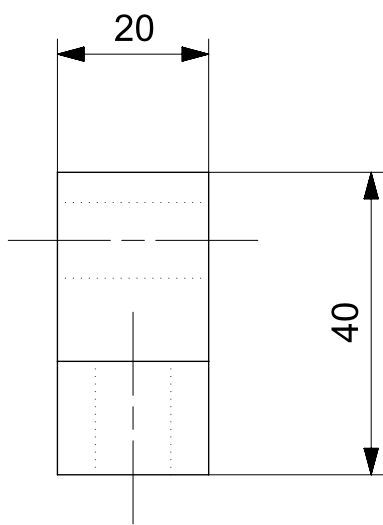
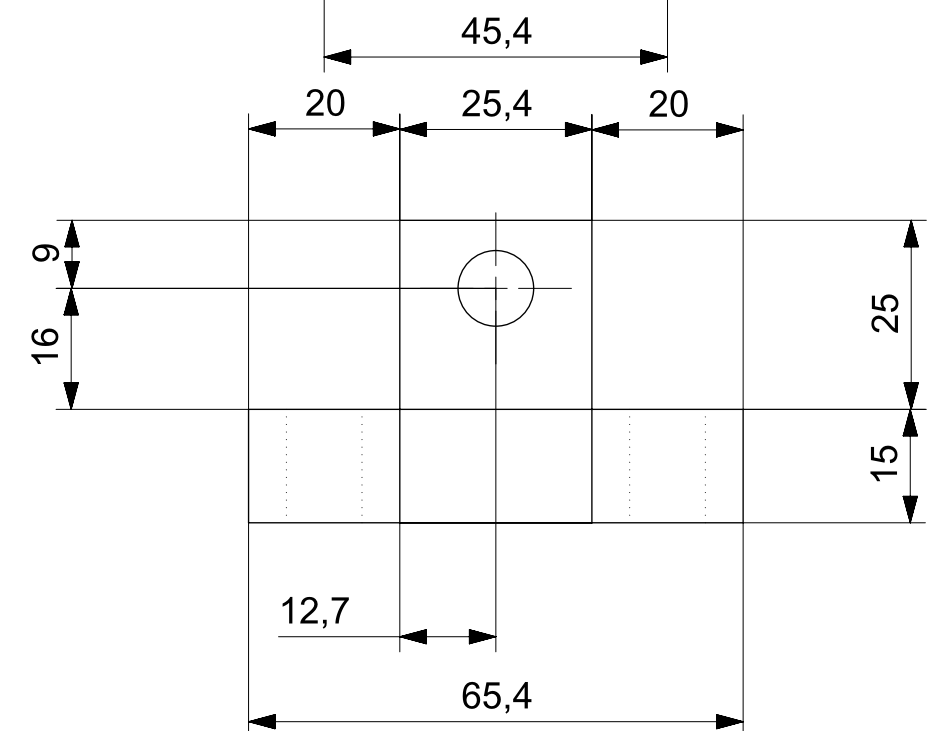
A

A



B

B



C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6061 T-5	Cantidad: 4
	FECHA: 22/10/15	Bloque de apoyo del perfil	Unidad: mm	Escala: 1:1
Hoja: 15/57				

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

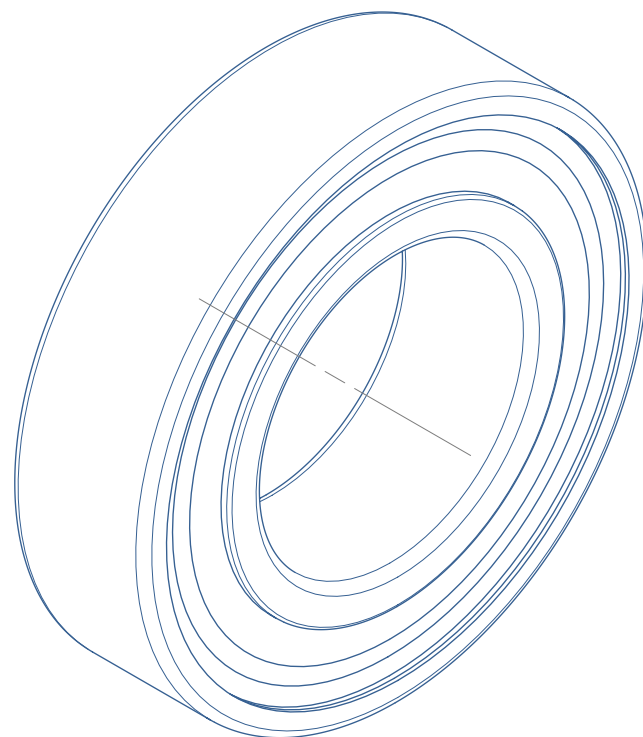
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero	Cantidad: 2
	FECHA: 22/10/15	Rodamiento modelo 61800-2Z	Unidad: mm	Escala: 5:1

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

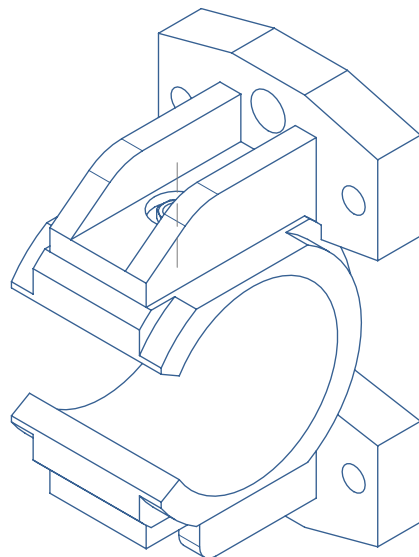
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero	Cantidad: 4
	Chumacera lineal abierta: MODELO LUCT 20 BH-2LS	Unidad: mm	Escala: 1:1	Hoja: 17/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

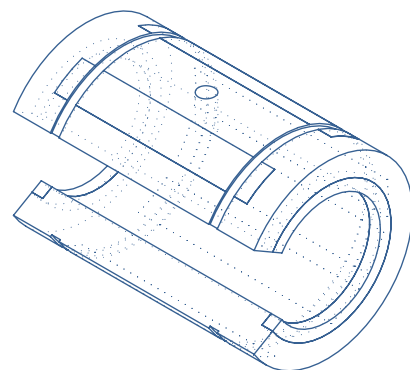
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero

Cantidad:  
4

FECHA:  
22/10/15

Rodamiento lineal abierto:  
MODELO LBHT 20 A

Unidad:  
mm

Escala:  
1:1

Hoja:  
18/57

1

2

3

4

1

2

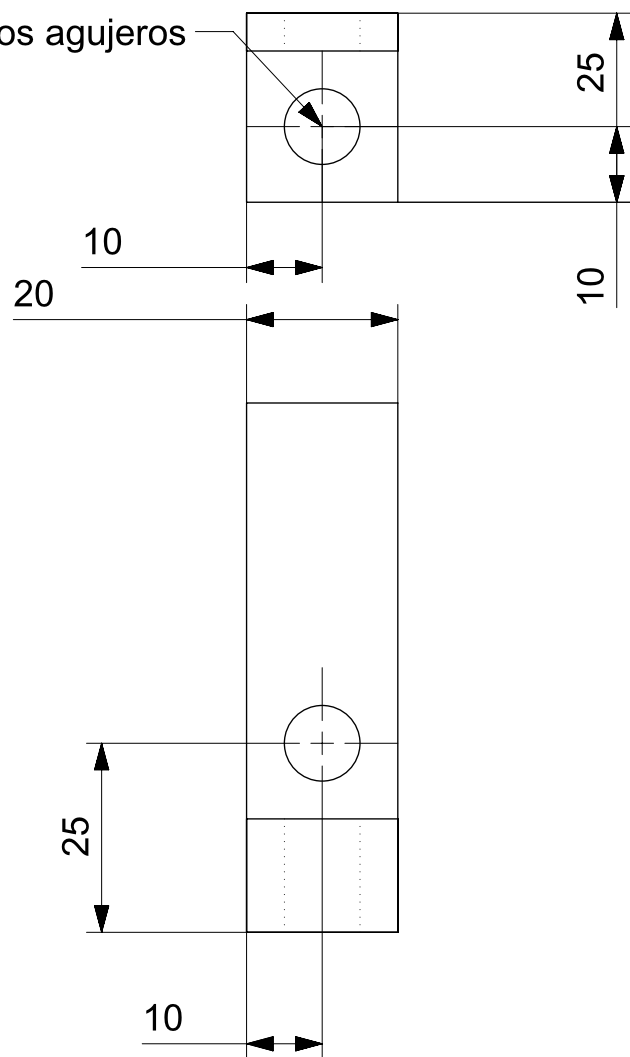
3

4

A

Ø10

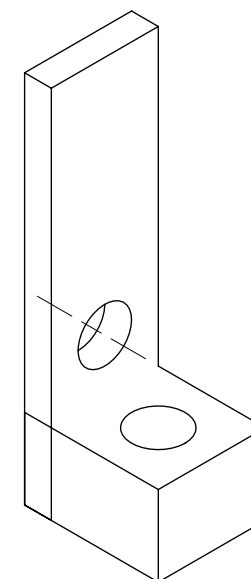
Son dos agujeros



A

B

B



C

C

C

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Base de conexión de la biela con la base móvil

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Aluminio  
6061 T-5

Escala:  
1:1

Cantidad:  
2

Hoja:  
19/57

1

2

3

4



1

2

3

4

A

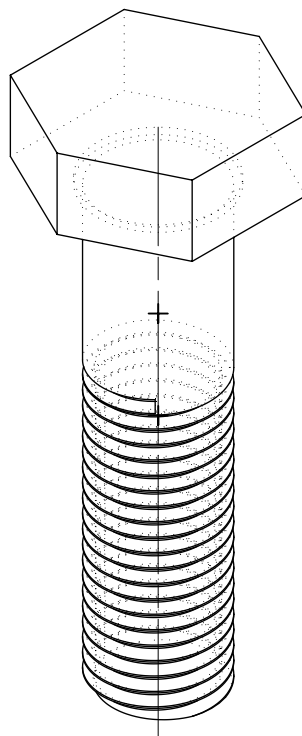
A

B

B

C

C



D

D

<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 14</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.25 X 40</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 20/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

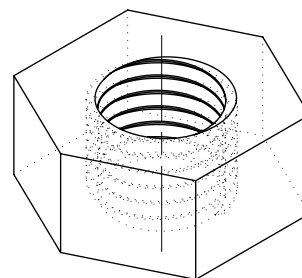
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 14</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tuerca cabeza hexagonal M10-1.25</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 21/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

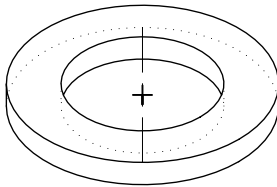
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales

Arandela M 10

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Acero

Escala:  
2:1

Cantidad:  
46

Hoja:  
22/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

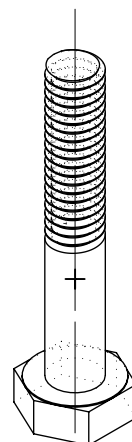
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero	Cantidad: 16
	FECHA: 22/10/15	Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M4-0.70 X 25	Unidad: mm	Escala: 2:1

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

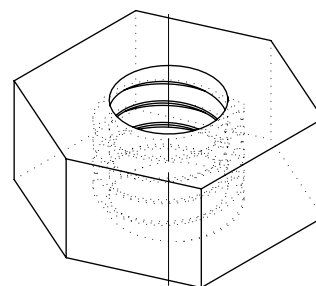
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 16</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tuerca cabeza hexagonal M4-0.70</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 5:1</p>	<p>Hoja: 24/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

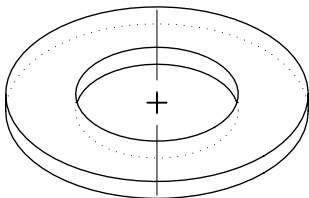
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales

Arandela M 4

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Acero

Escala:  
5:1

Cantidad:  
32

Hoja:  
25/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

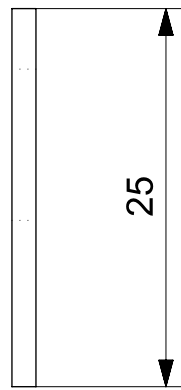
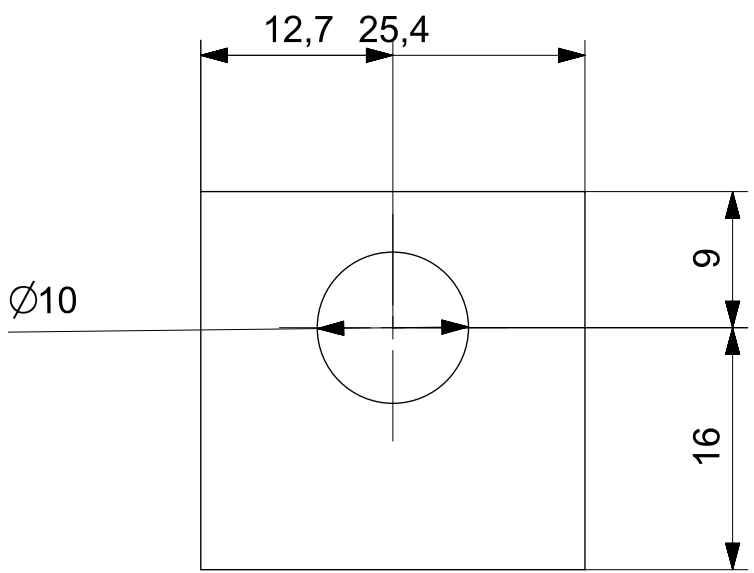
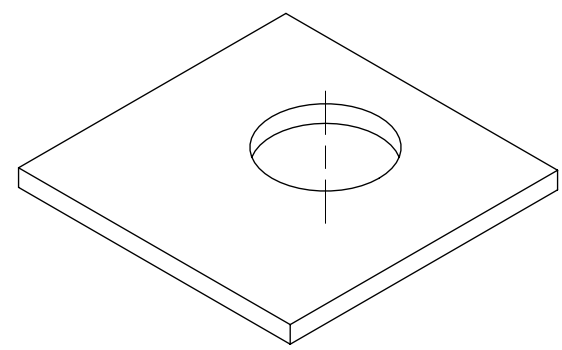
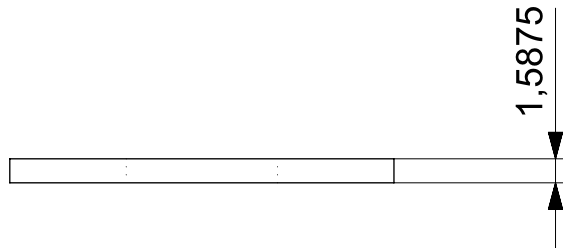
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6063 T-5	Cantidad: 4
	FECHA: 22/10/15	Placas para los perfiles de aluminio	Unidad: mm	Escala: 2:1
		Hoja: 26/57		

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D

25,4

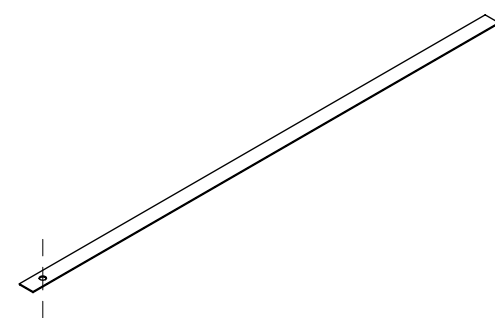
1,5875

871

Ø10

31

12,7



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6063 T-5	Cantidad: 2
	FECHA: 22/10/15	Perfil de aluminio para 30 rpm	Unidad: mm	Escala: 1:10
Hoja: 27/57				

1

2

3

4



1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D

25,4

1,5875

628

Ø10

31

12,7

Ø

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Aluminio  
6063 T-5

Cantidad:  
2

FECHA:  
22/10/15

Perfil de aluminio para 60 rpm

Unidad:  
mm

Escala:  
1:5

Hoja:  
28/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

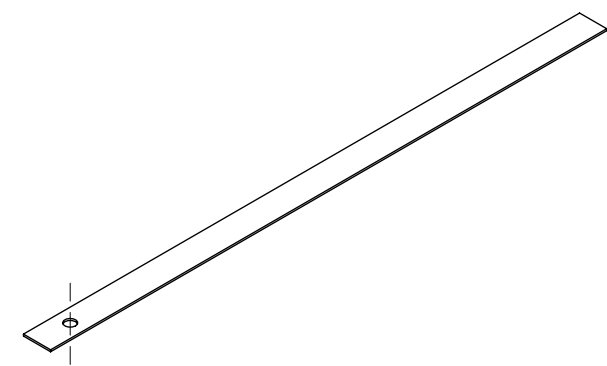
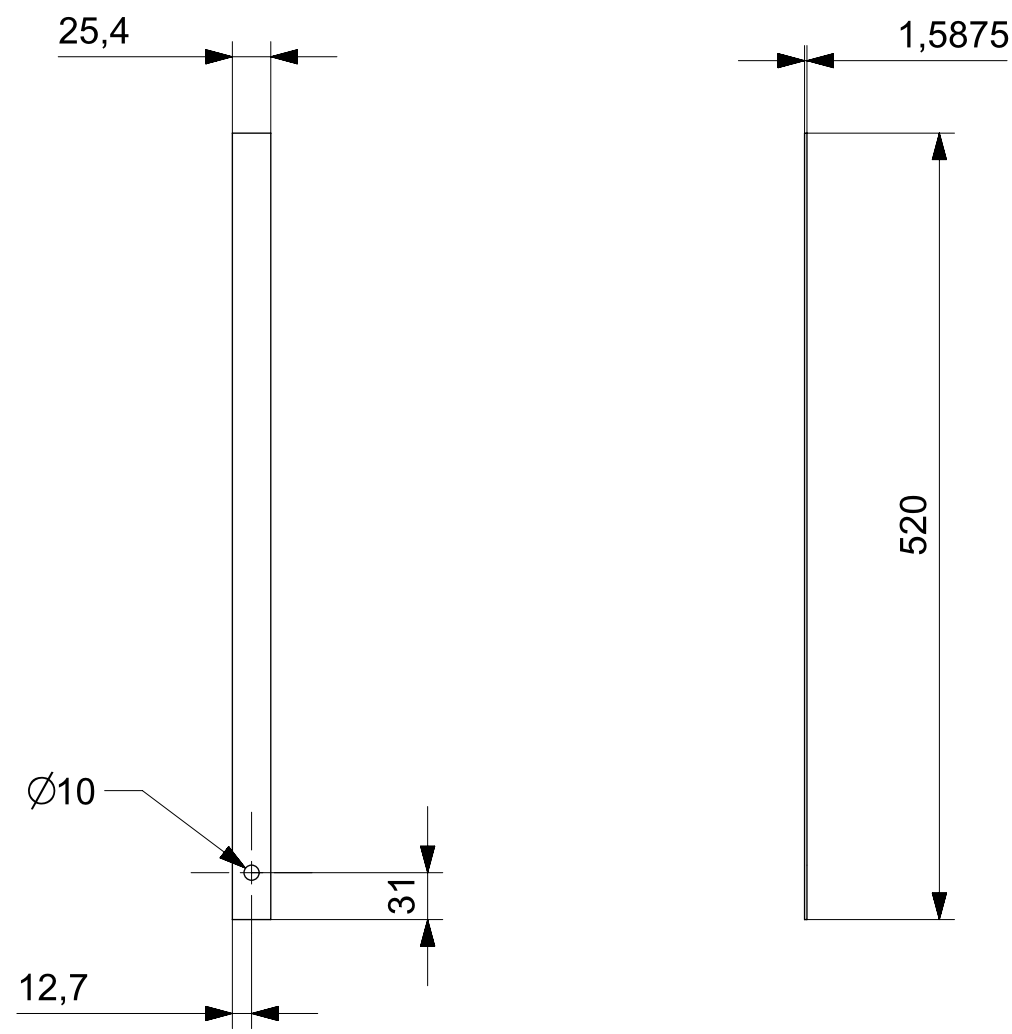
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Aluminio 6063 T-5	Cantidad: 2
	FECHA: 22/10/15	Perfil de aluminio para 90 rpm	Unidad: mm	Escala: 1:5
				Hoja: 29/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

25,4

1,5875

B

B

456

C

C

Ø10

31

12,7

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Aluminio  
6063 T-5

Cantidad:  
2

FECHA:  
22/10/15

Perfil de aluminio para 120 rpm

Unidad:  
mm

Escala:  
1:5

Hoja:  
30/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero	Cantidad: 2
	FECHA: 22/10/15	Eje sólido LJM20X60ESSC2	Unidad: mm	Escala: 1:5

1

2

3

4

1

2

3

4

A

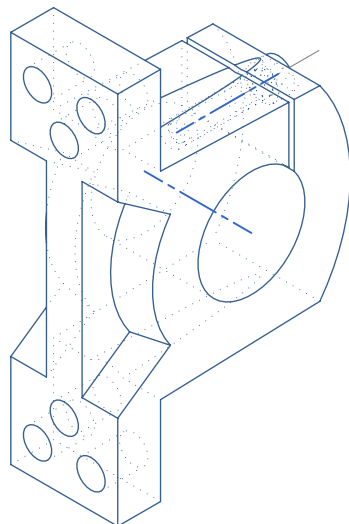
A

B

B

C

C



D

D

<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p> <p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 4</p>
	<p>Soporte para eje LSCS 20</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:1</p>	<p>Hoja: 32/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

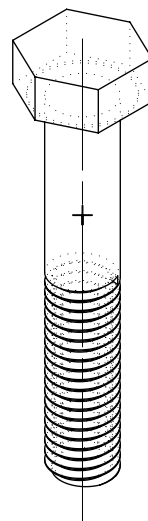
A

B

B

C

C



D

D

<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 8</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tornillo cabeza hexagonal M5-0.80 X 30</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 33/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

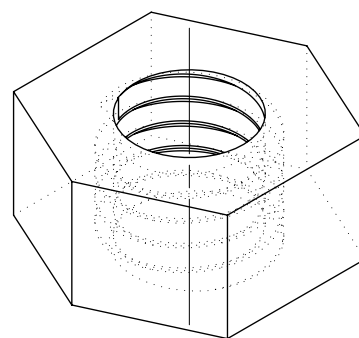
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas  FECHA: 22/10/15	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero	Cantidad: 8
	Tuerca cabeza hexagonal M5-0.80	Unidad: mm	Escala: 5:1	Hoja: 34/57

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

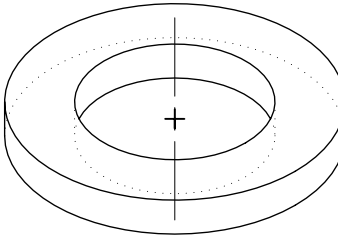
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales

Arandela M 5

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Acero

Escala:  
5:1

Cantidad:  
16

Hoja:  
35/57

1

2

3

4



1

2

3

4

A

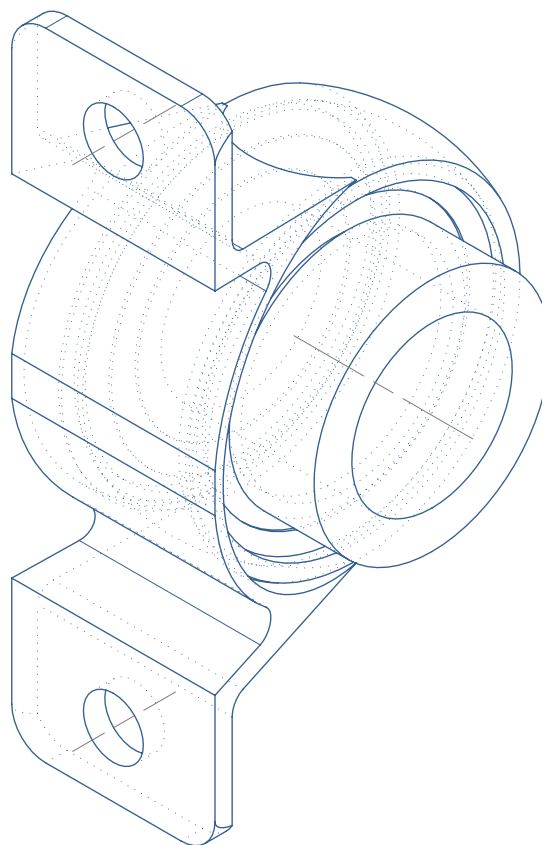
A

B

B

C

C



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero

Cantidad:  
3

FECHA:  
22/10/15

Chumacera base SY 30FM

Unidad:  
mm

Escala:  
1:1

Hoja:  
36/57

1

2

3

4

D

D

1

2

3

4

A

A

B

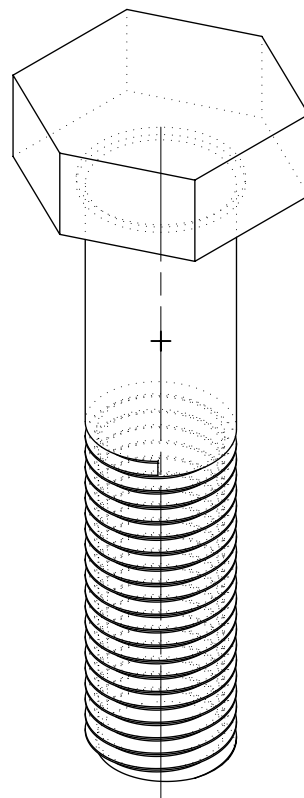
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 6</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tornillo cabeza hexagonal M10-1.50 X 45</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 37/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

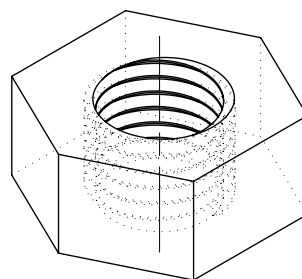
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 9</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tuerca cabeza hexagonal M10-1.50</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 38/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

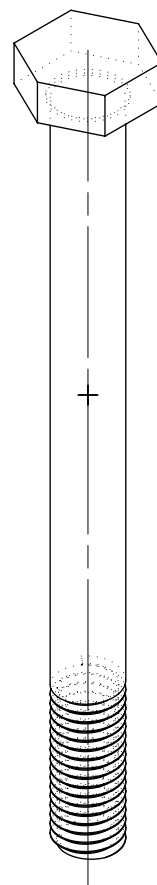
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 2</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.50 X 120</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:1</p>	<p>Hoja: 39/57</p>

1

2

3

4

1

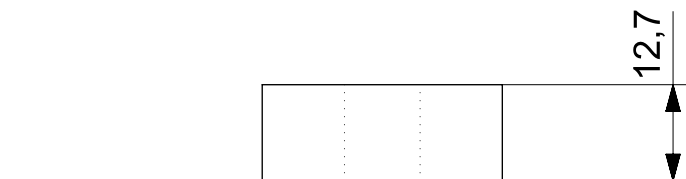
2

3

4

A

A



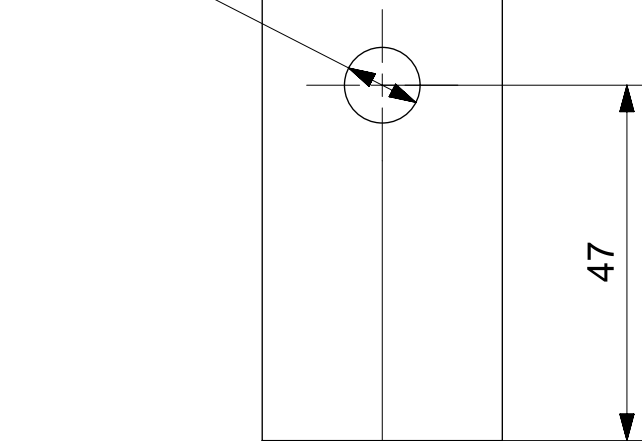
31,75

12,7

B

B

Ø10

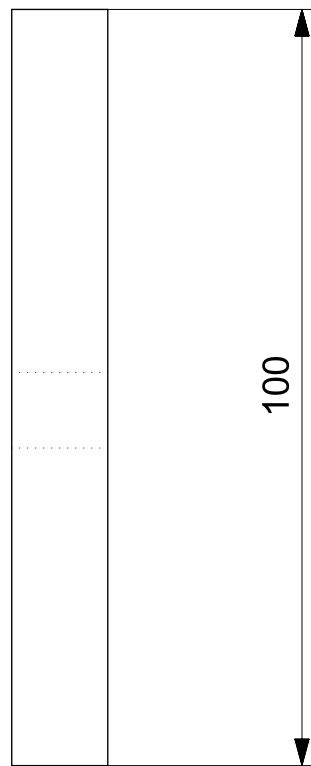


47

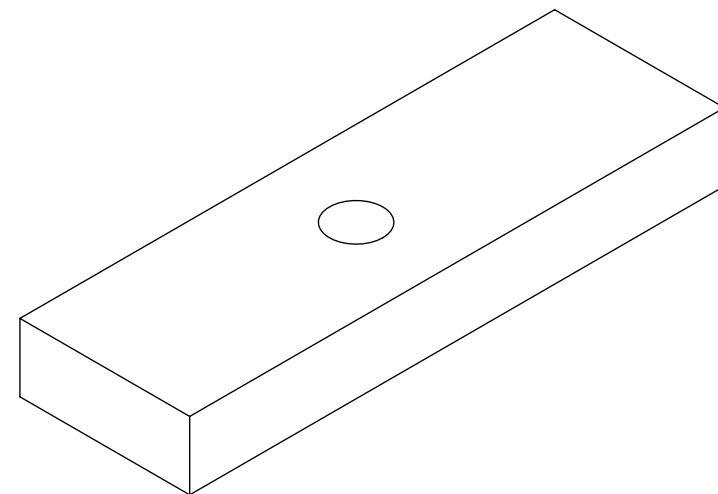
15,875

C

C



100



D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Solera para el tornillo de 12 cm

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Acero  
1018 cr

Escala:  
1:1

Cantidad:  
2

Hoja:  
40/57

1

2

3

4

1

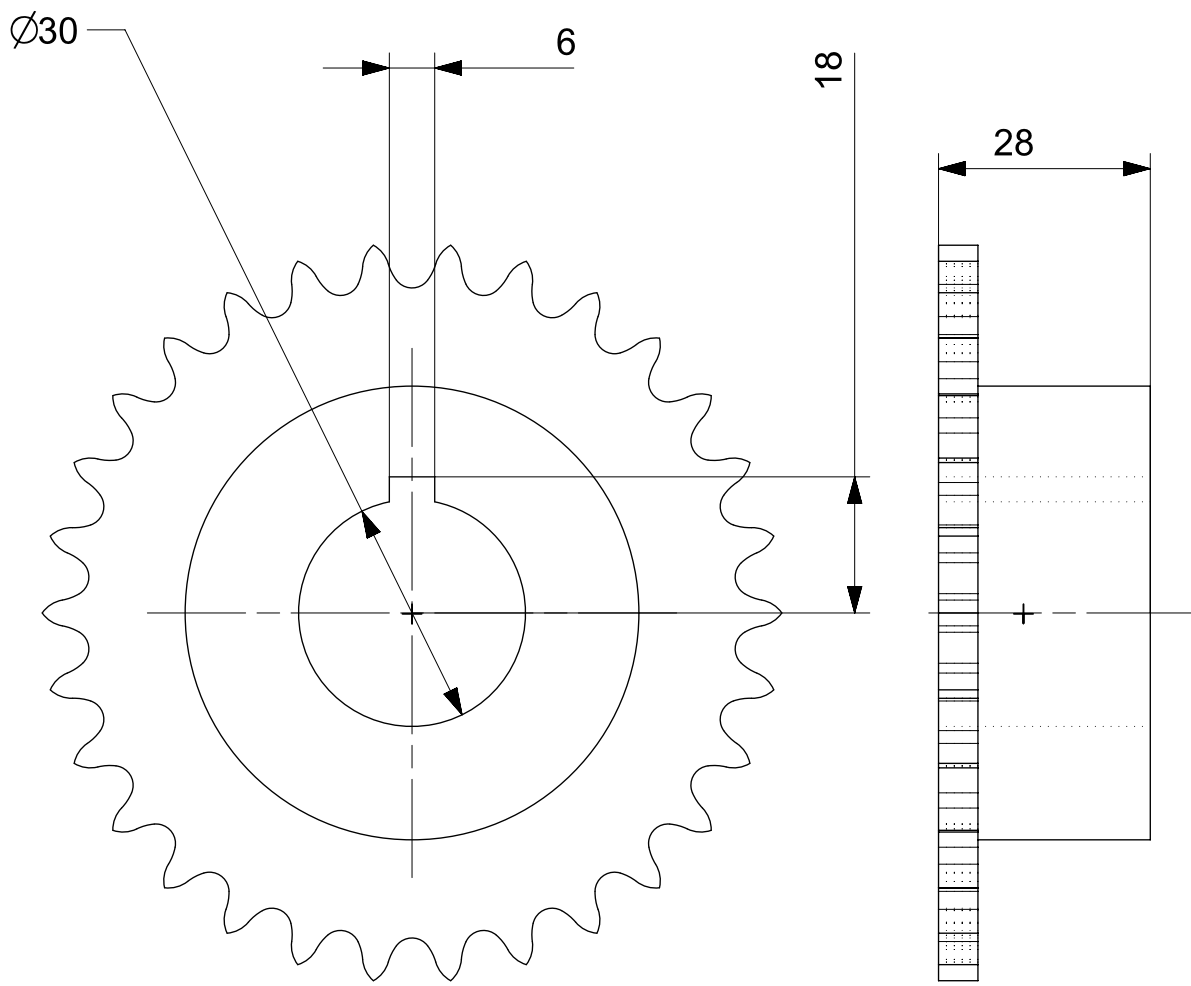
2

3

4

A

A

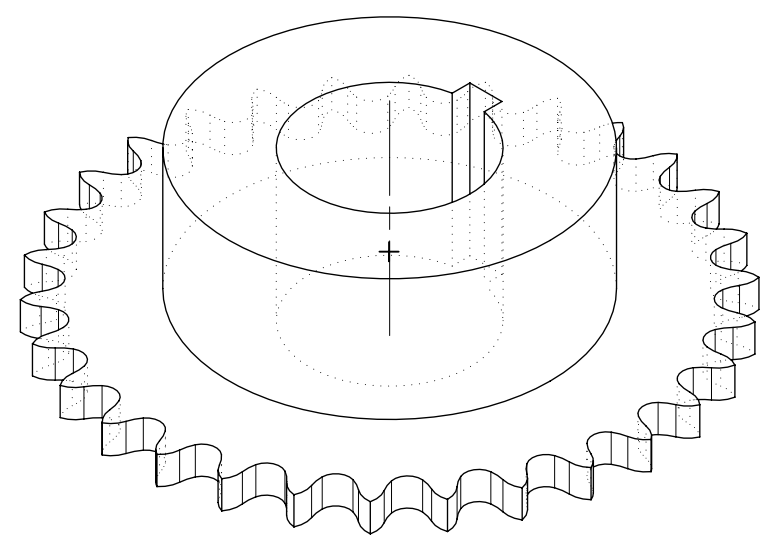


B

B

C

C



D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Sprocket 06B-Tipo B 30 dientes	Unidad: mm	Escala: 1:1

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

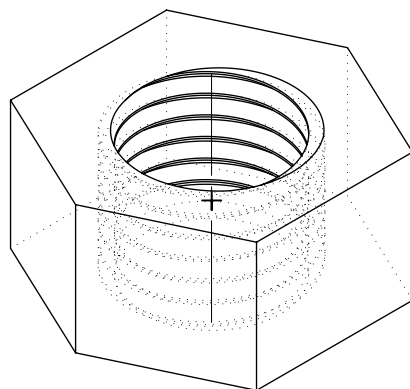
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Tuerca cabeza hexagonal grado 8.8 M30-3.50	Unidad: mm	Escala: 1:1

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

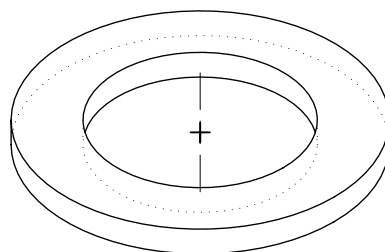
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Arandela M 30</p>		<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:1</p> <p>Hoja: 43/57</p>

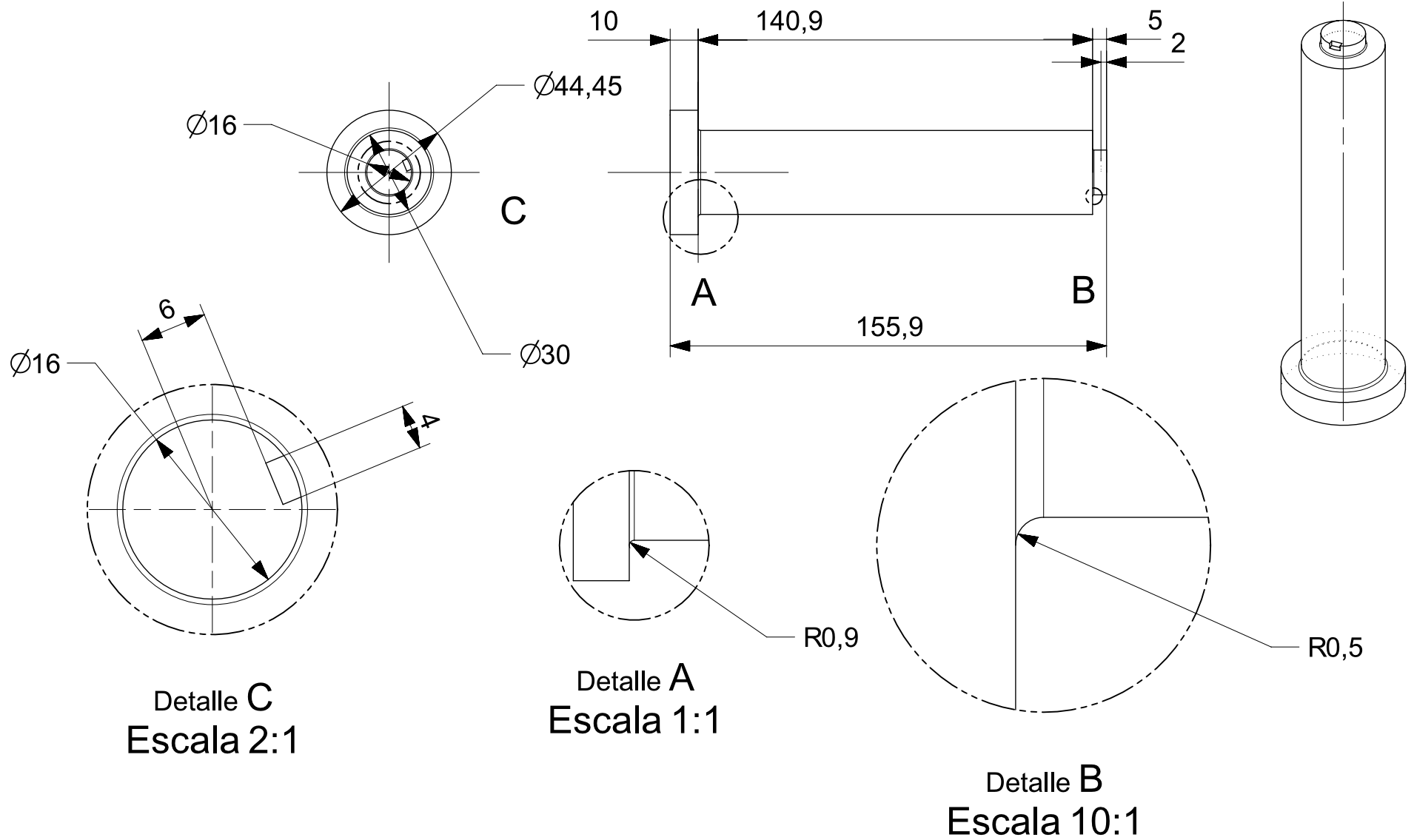
1

2

3

4





DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	Flecha 2	Unidad: mm	Escala: 1:2	Hoja: 44/57
FECHA: 22/10/15				

1

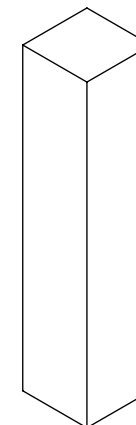
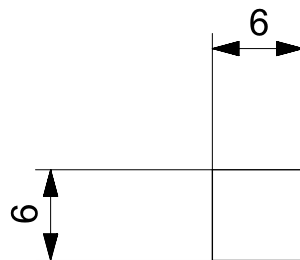
2

3

4

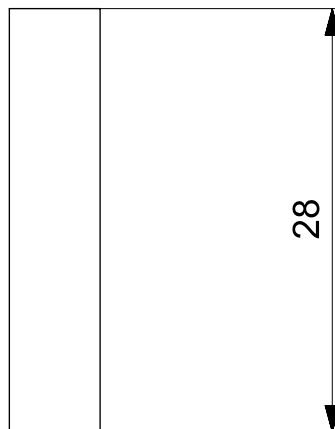
A

A



B

B



C

C

D

D

<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p> <p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero 1018 cr</p>	<p>Cantidad: 1</p>
	<p>Cuña cuadrado de 6 mm</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 45/57</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

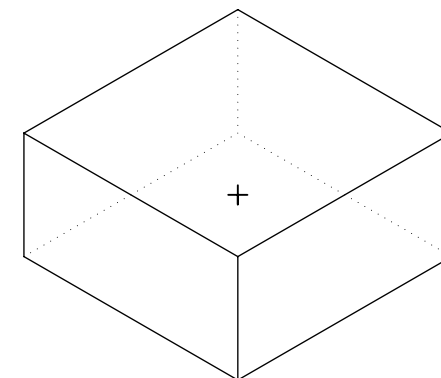
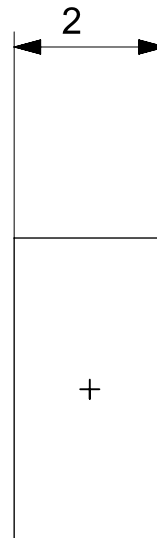
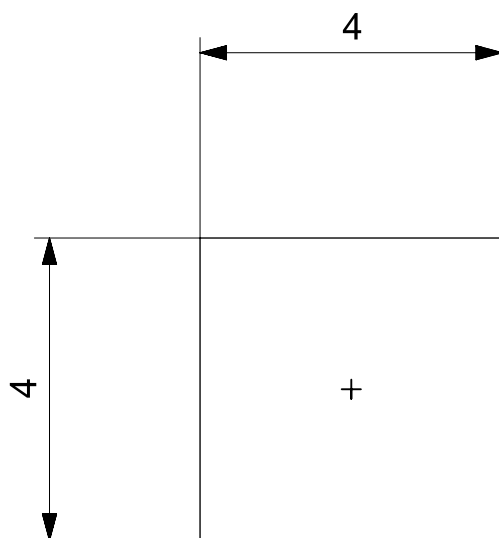
B

C

C

D

D



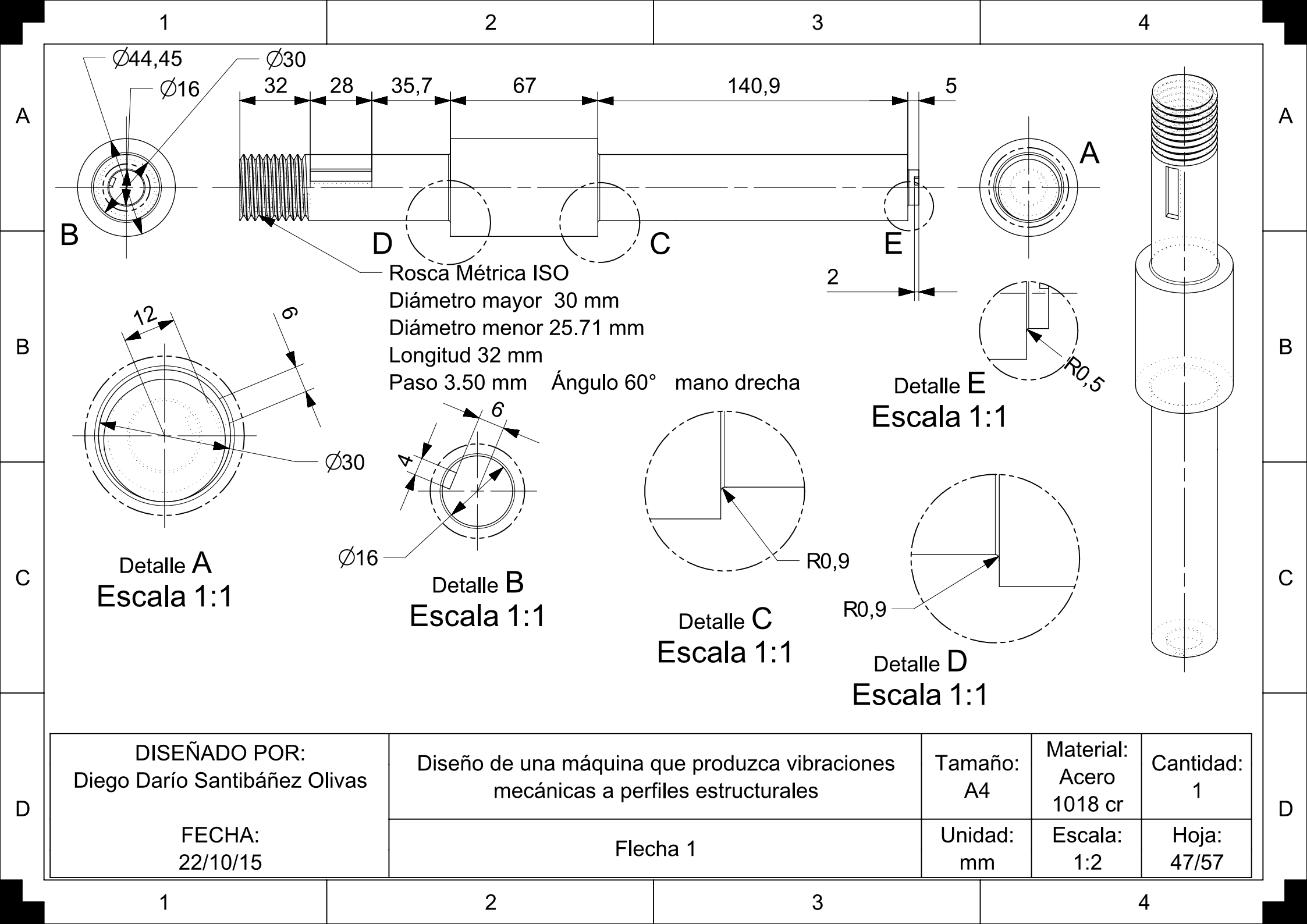
DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 2
	FECHA: 22/10/15	Cuña cuadrado de 4 mm	Unidad: mm	Escala: 10:1

1

2

3

4



Rosca Métrica ISO  
 Diámetro mayor 30 mm  
 Diámetro menor 25.71 mm  
 Longitud 32 mm  
 Paso 3.50 mm    Ángulo 60°    mano drecha

Detalle A  
 Escala 1:1

Detalle B  
 Escala 1:1

Detalle C  
 Escala 1:1

Detalle D  
 Escala 1:1

Detalle E  
 Escala 1:1

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Flecha 1	Unidad: mm	Escala: 1:2
				Hoja: 47/57

1

2

3

4

A

A

B

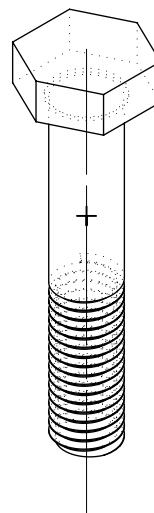
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Tornillo cabeza hexagonal grado 8.8 M10-1.50 X 60</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:1</p>	<p>Hoja: 48/57</p>

1

2

3

4

1

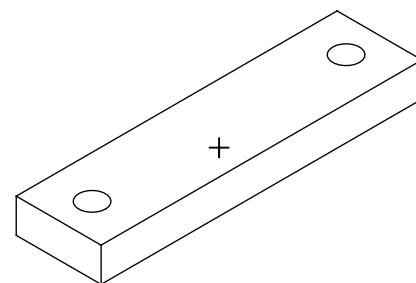
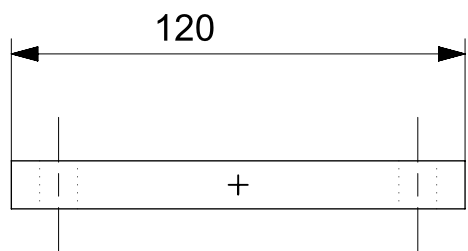
2

3

4

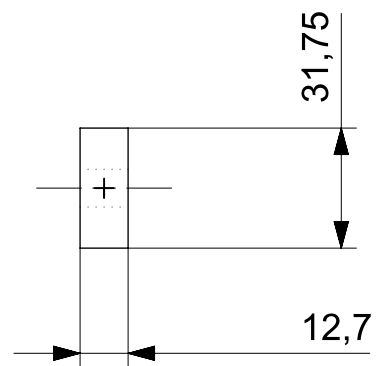
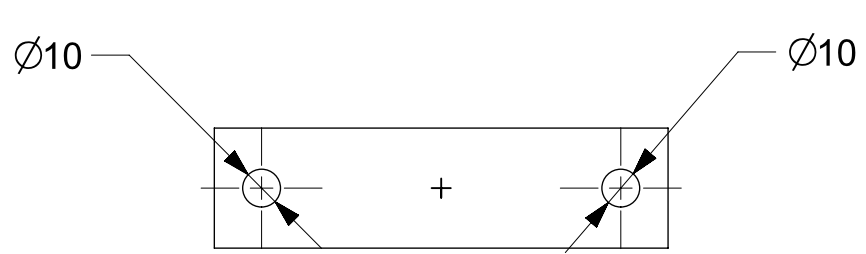
A

A



B

B



C

C

D

D

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Solera para chumacera de 12 cm de largo	Unidad: mm	Escala: 1:2

1

2

3

4

1

2

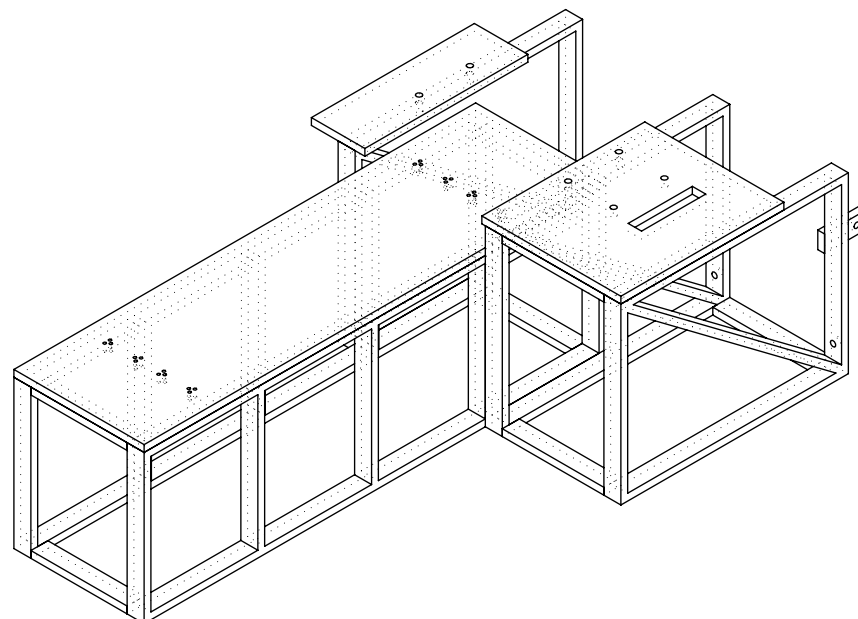
3

4

A

A

Todo es unión rígida



B

B

C

C

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero  
1018 cr

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Bastidor de la máquina (plano 1 de 7)

Unidad:  
mm

Escala:  
1:10

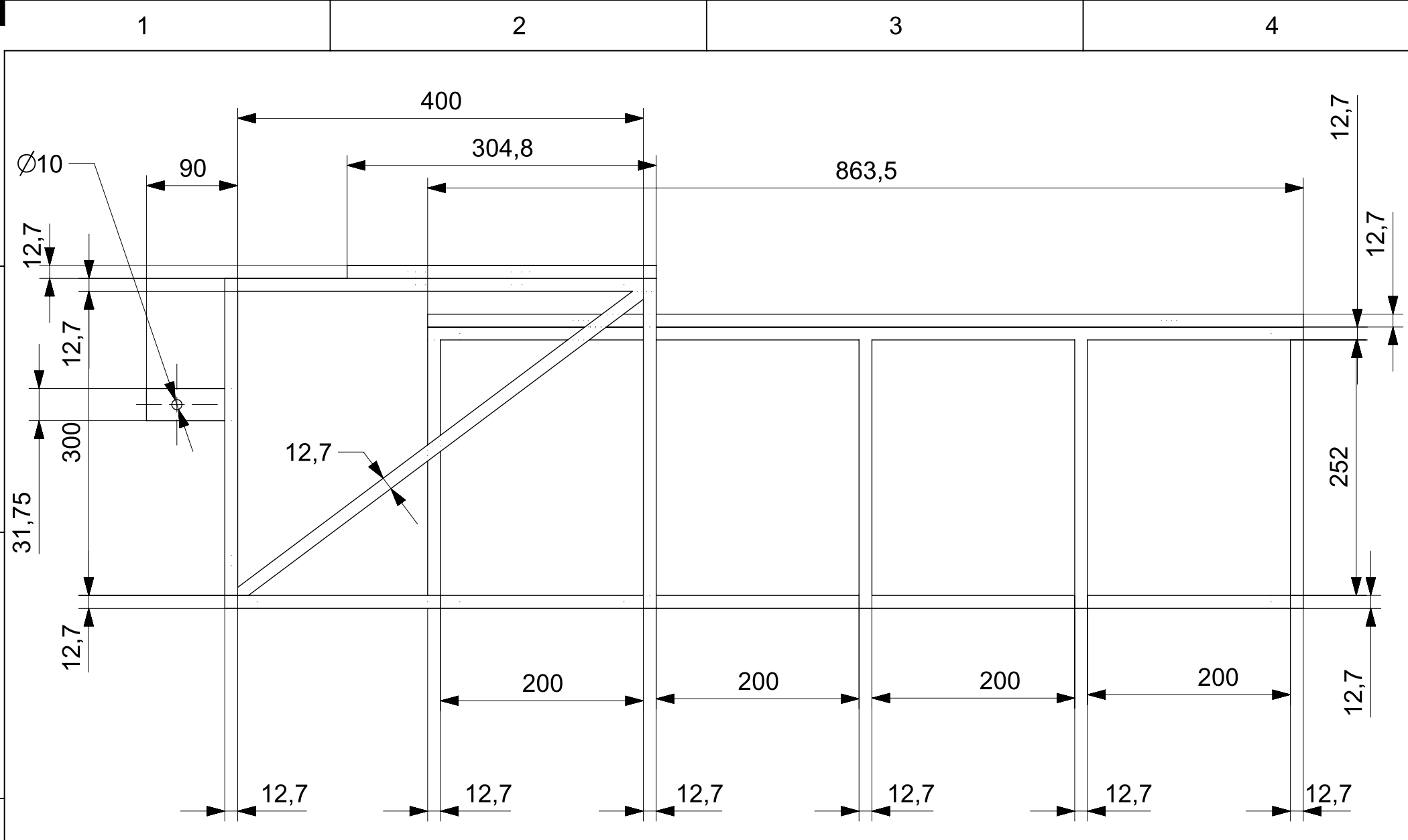
Hoja:  
50/57

1

2

3

4



D	DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Bastidor de la máquina (plano 2 de 7)	Unidad: mm	Escala: 1:5	Hoja: 51/57



1

2

3

4

A

A

B

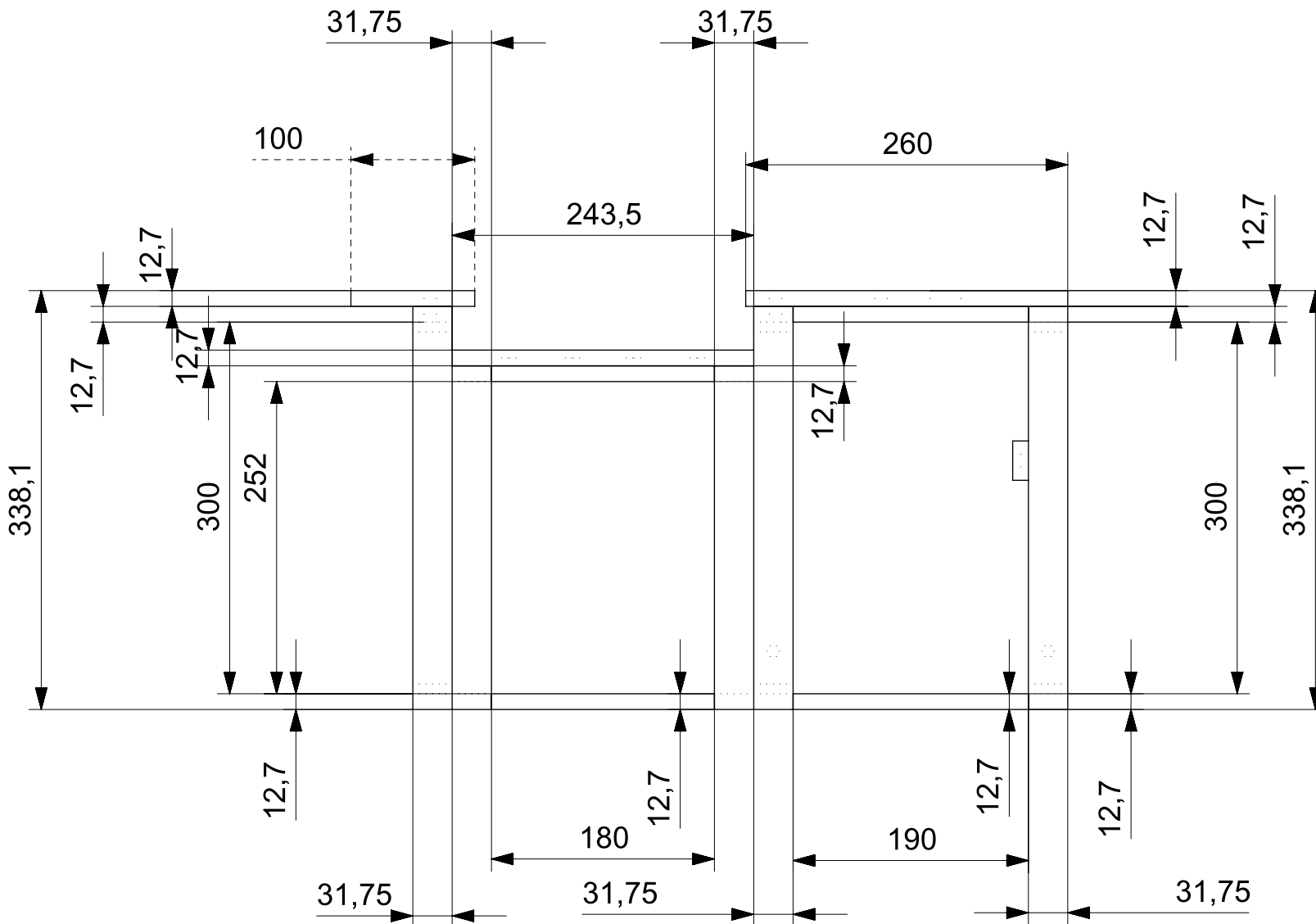
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

FECHA:  
22/10/15

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Bastidor de la máquina (plano 3 de 7)

Tamaño:  
A4

Unidad:  
mm

Material:  
Acero  
1018 cr

Escala:  
1:5

Cantidad:  
1

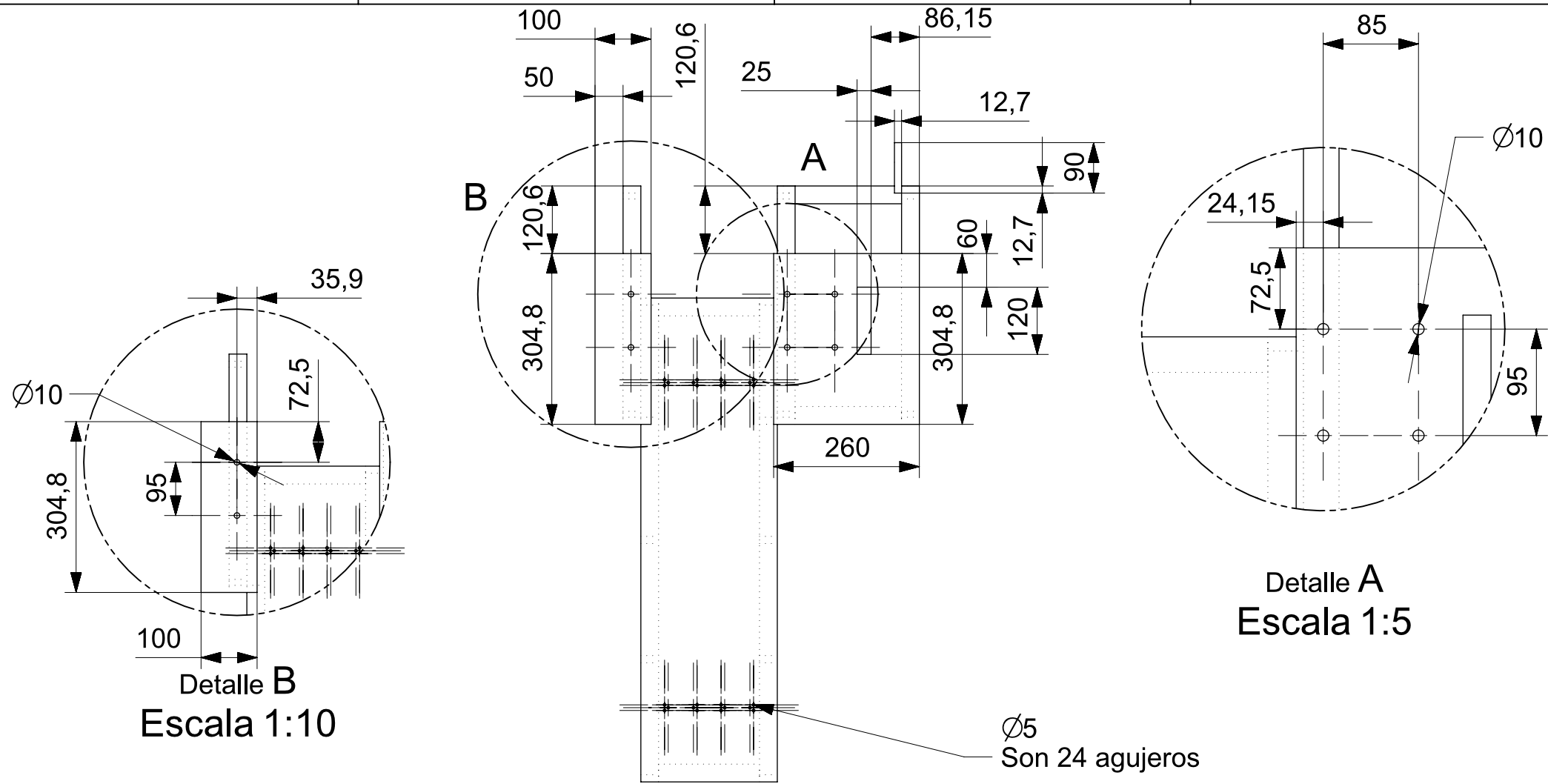
Hoja:  
52/57

1

2

3

4



D	DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15	Bastidor de la máquina (plano 4 de 7)	Unidad: mm	Escala: 1:10	Hoja: 53/57

1

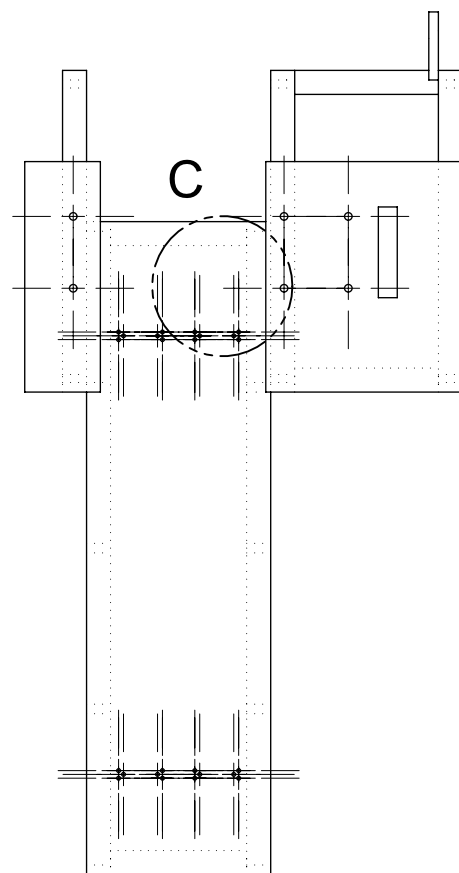
2

3

4

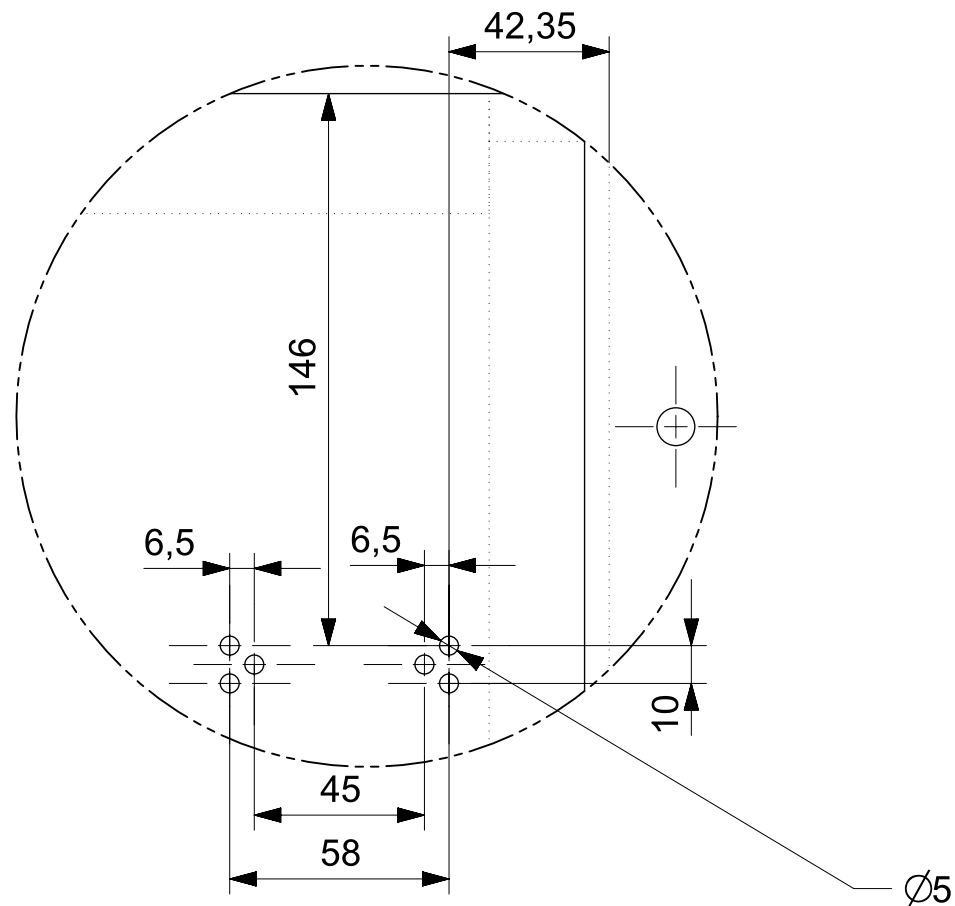
A

A



B

B



C

C

Detalle C  
Escala 1:2

D

D

DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero  
1018 cr

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Bastidor de la máquina (plano 5 de 7)

Unidad:  
mm

Escala:  
1:10

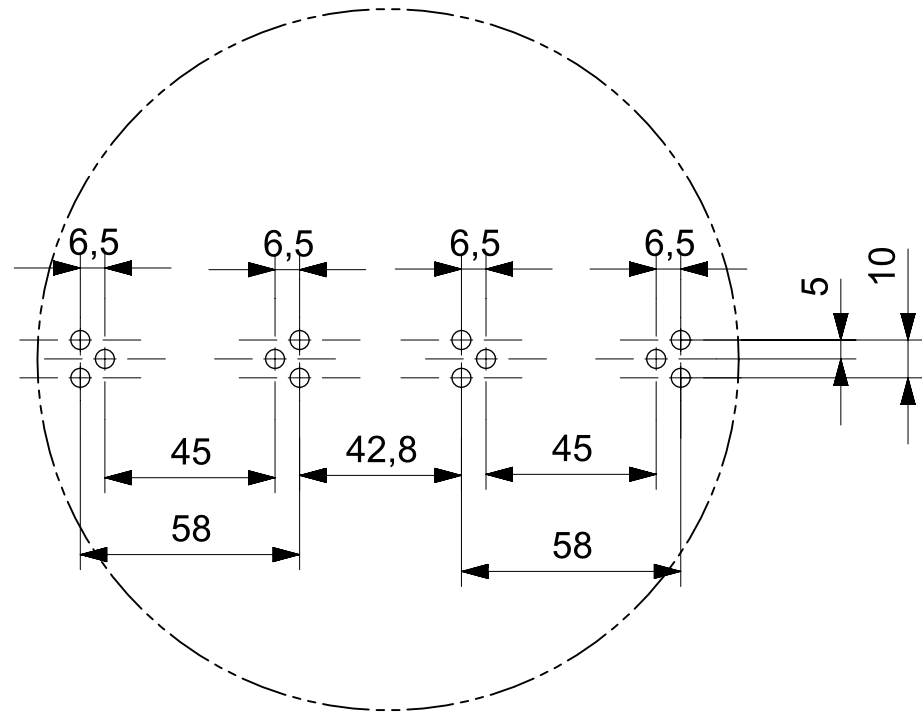
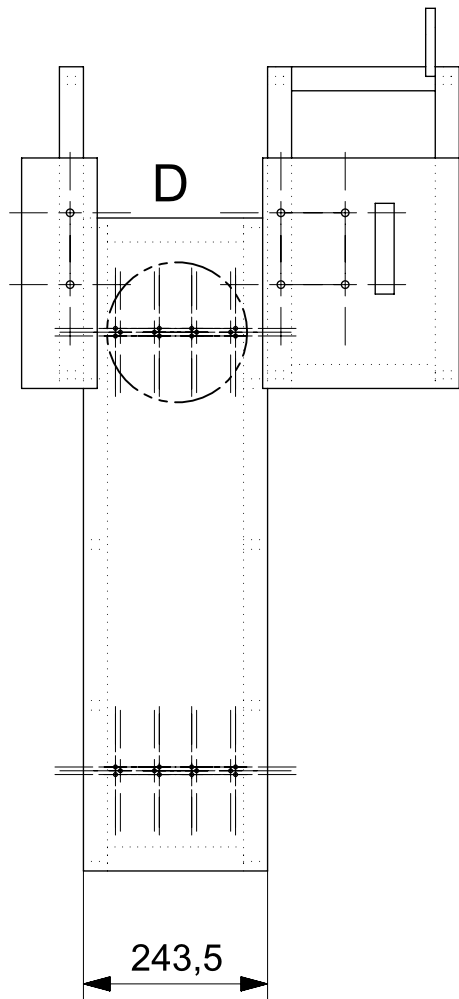
Hoja:  
54/57

1

2

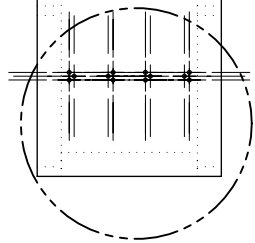
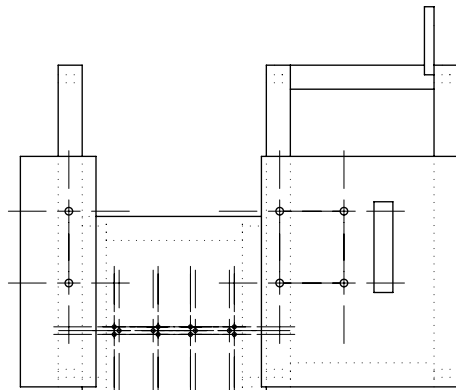
3

4



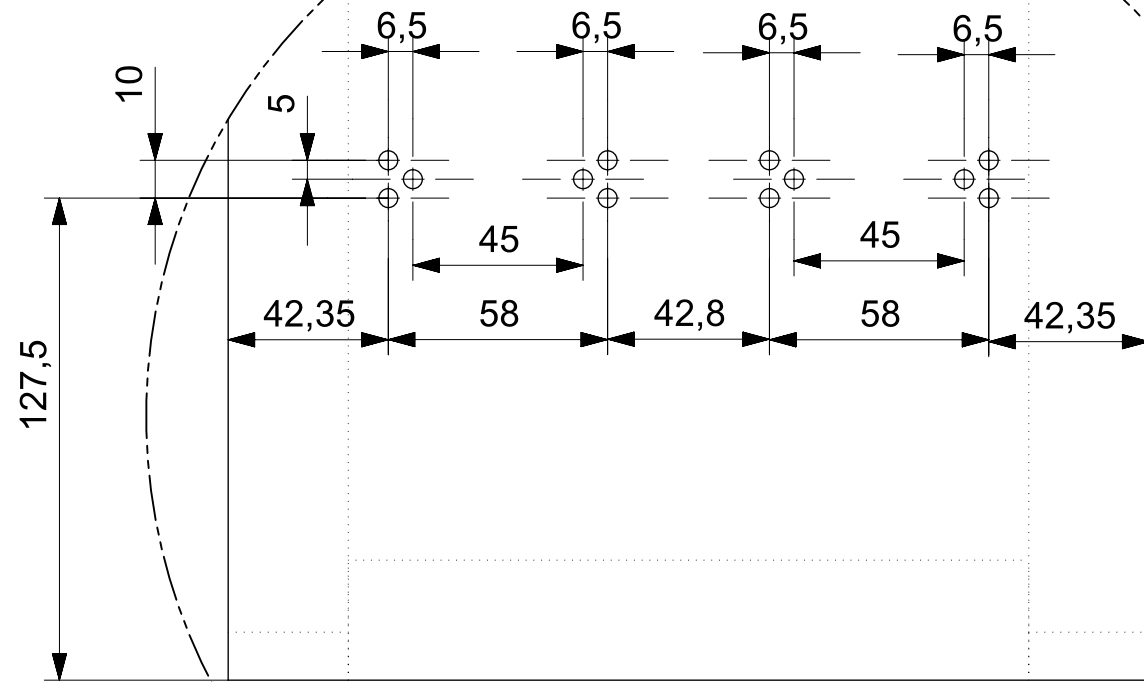
Detalle D  
Escala 1:2

<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p> <p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero 1018 cr</p>	<p>Cantidad: 1</p>
	<p>Bastidor de la máquina (plano 6 de7)</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:10</p>	<p>Hoja: 55/57</p>



E

Detalle E  
Escala 1:2



DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas  FECHA: 22/10/15	Diseño de una máquina que produzca vibraciones mecánicas a perfiles estructurales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	Bastidor de la máquina (plano 7 de 7)	Unidad: mm	Escala: 1:10	Hoja: 56/57

1

2

3

4

A

A

B

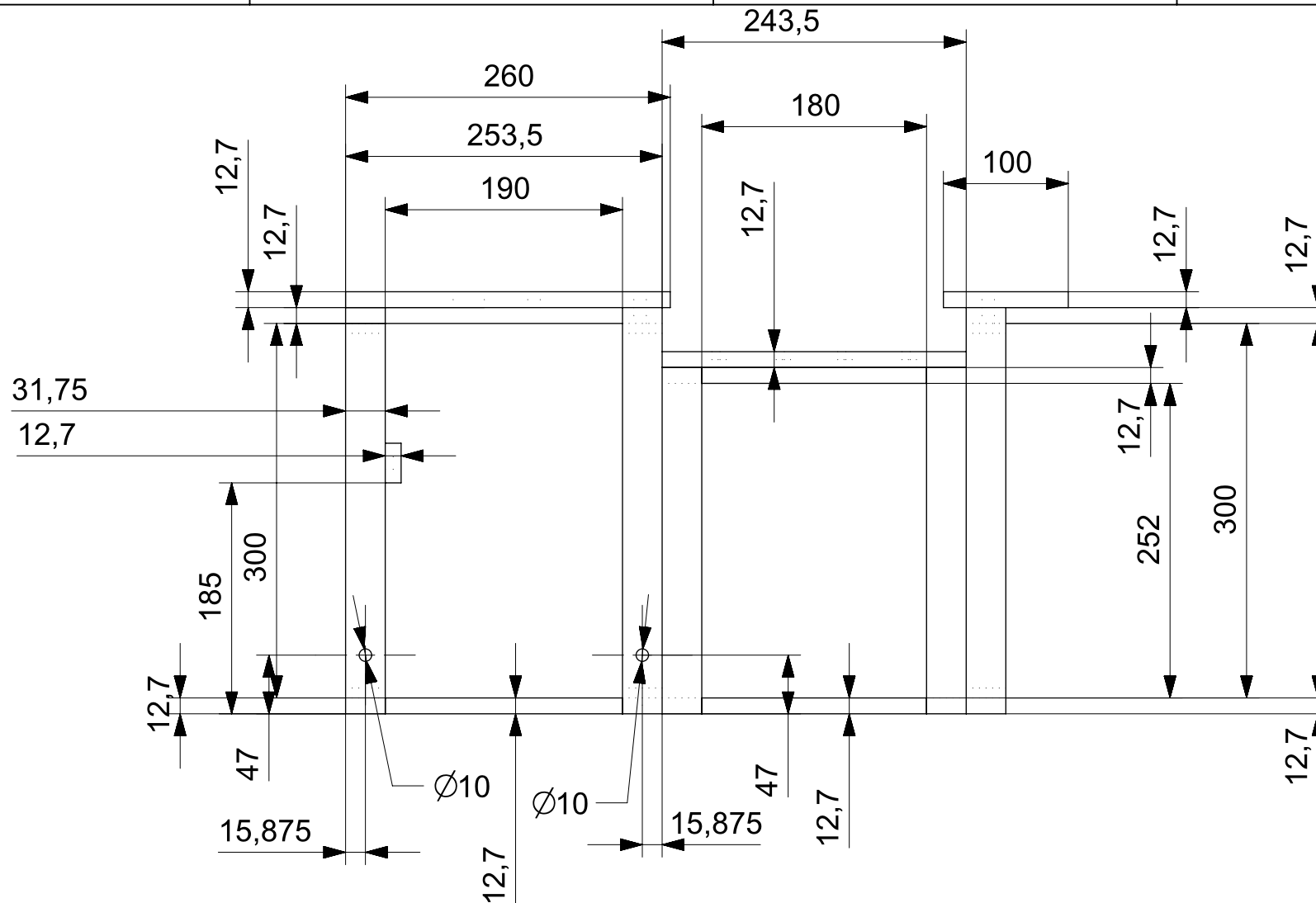
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Diseño de una máquina que produzca vibraciones  
mecánicas a perfiles estructurales

Tamaño:  
A4

Material:  
Acero  
1018 cr

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Bastidor de la máquina (plano 8 de 8)

Unidad:  
mm

Escala:  
1:5

Hoja:  
57/57

1

2

3

4

# ANEXO 2

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D

Identificador	Nombre	Cantidad	No. de Plano u Hoja
1	Volante de inercia de la bicicleta de spinning	1	7-8
2	Cuña cuadrada de 6 mm	1	5
3	Sprocket 06B-Tipo B 30dientes	1	6

DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas  FECHA: 22/10/15	Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales	Tamaño: A4
	Lista de Materiales	Hoja: 1/8

1

2

3

4



1

2

3

4

A

A

B

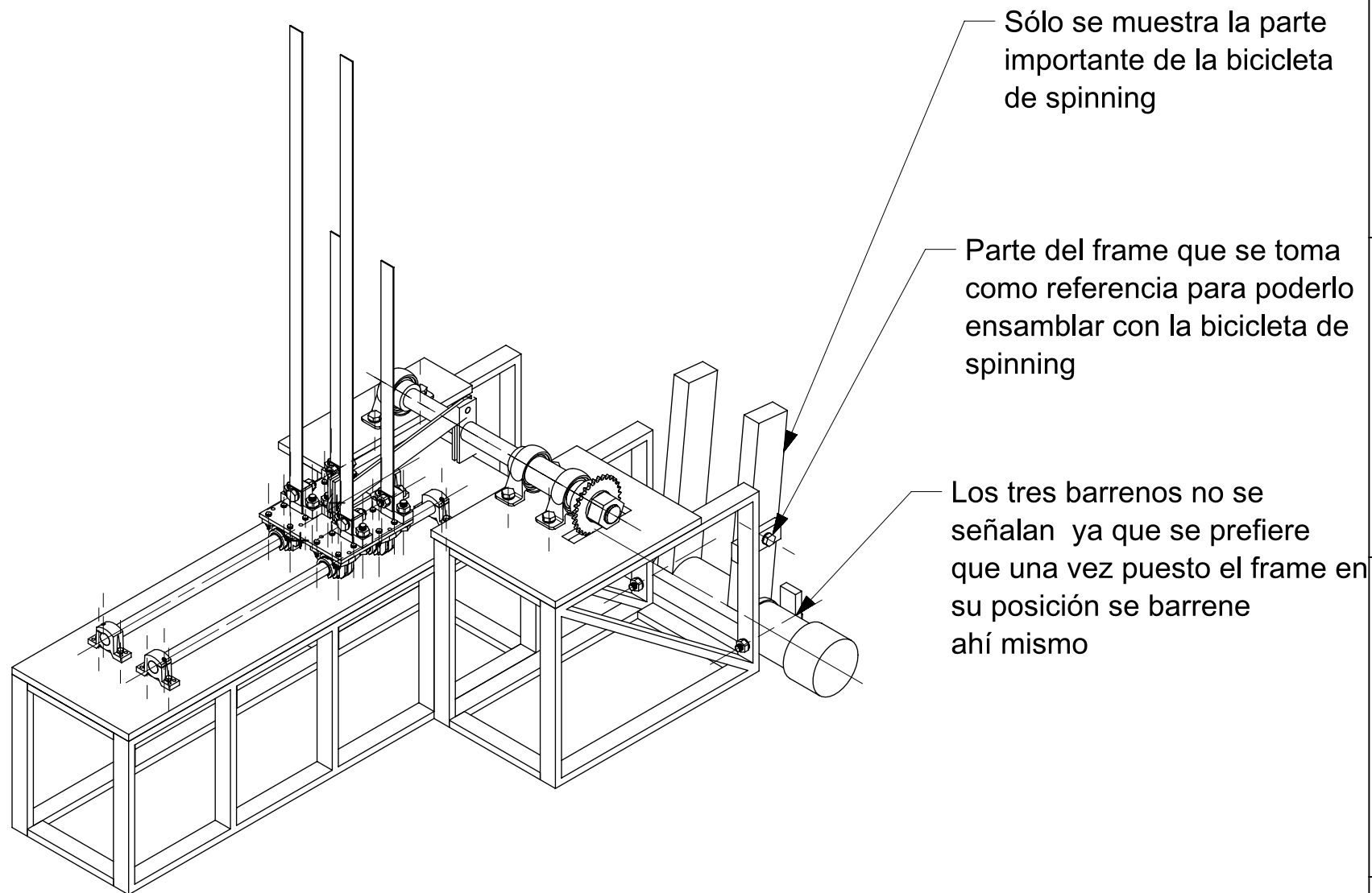
B

C

C

D

D



DISEÑADO POR:  
Diego Darío Santibáñez Olivas

Modificaciones a la Bicicleta de spinning  
y piezas adicionales

Tamaño:  
A4

Material:  
Mixto

Cantidad:  
1

FECHA:  
22/10/15

Ensamble del frame (bastidor) junto con la bicicleta de  
spinning

Unidad:  
mm

Escala:  
1:5

Hoja:  
2/8

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

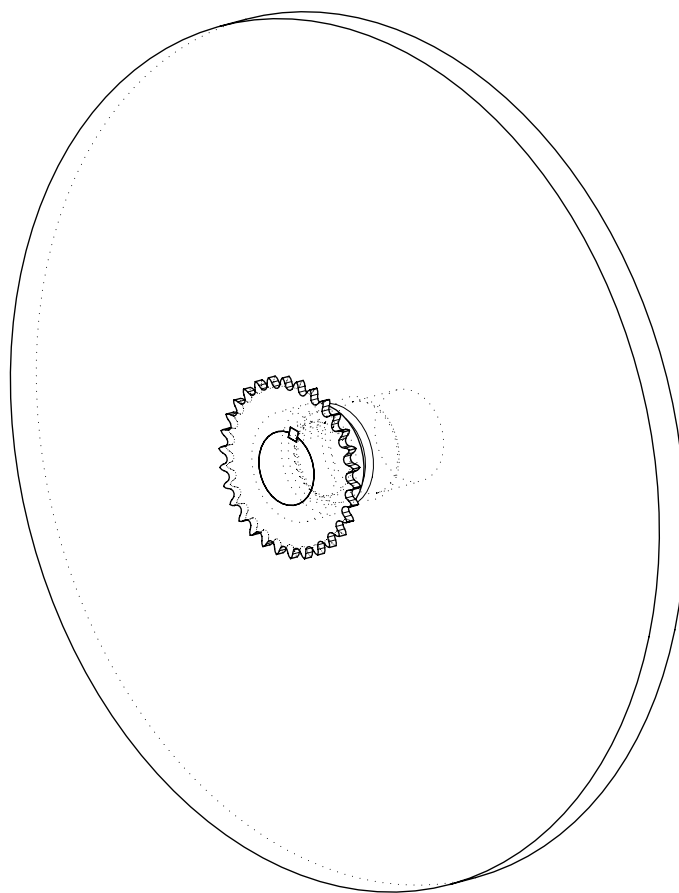
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero 1018 cr</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Explosivo del volante de inercia con la cuña y sprocket (plano 1 de 2)</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:4</p>	<p>Hoja: 3/8</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

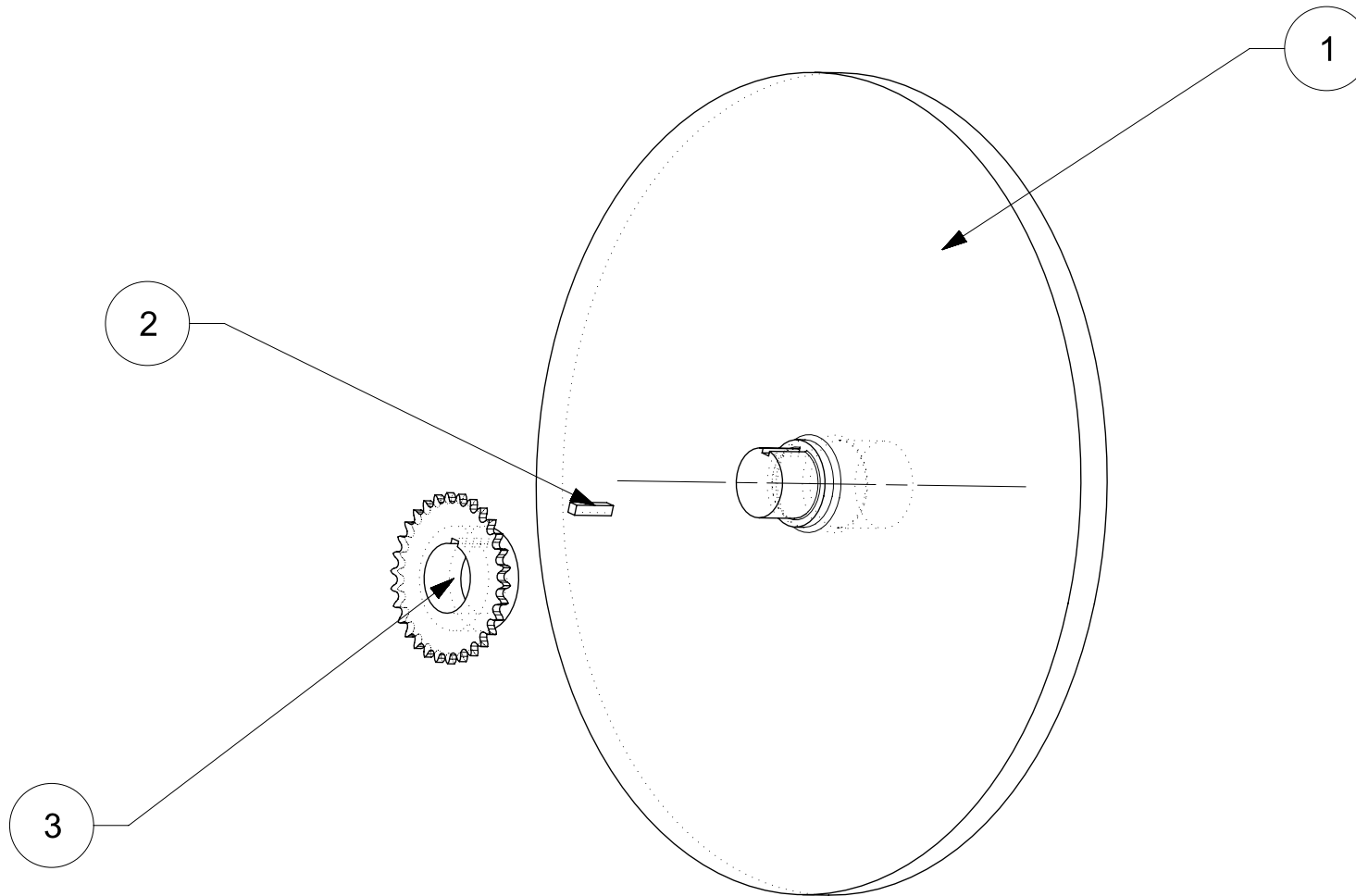
B

C

C

D

D



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero 1018 cr</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Explosivo del volante de inercia con la cuña y sprocket (plano 2 de 2)</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:4</p>	<p>Hoja: 4/8</p>

1

2

3

4

1

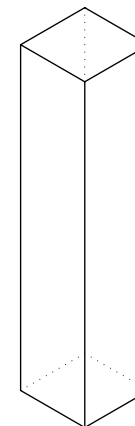
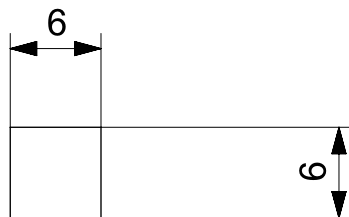
2

3

4

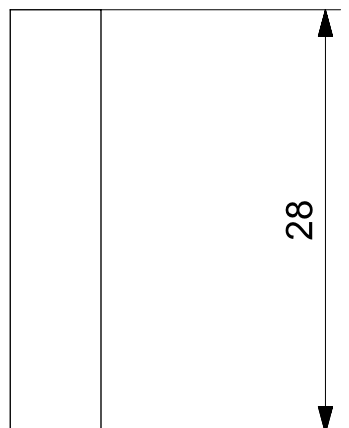
A

A



B

B



C

C

D

D

<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero 1018 cr</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Cuña cuadrado de 6 mm</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 2:1</p>	<p>Hoja: 5/8</p>

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

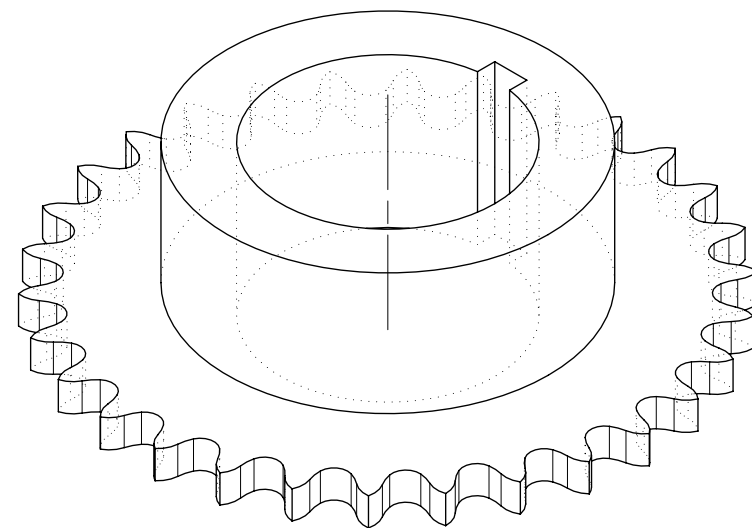
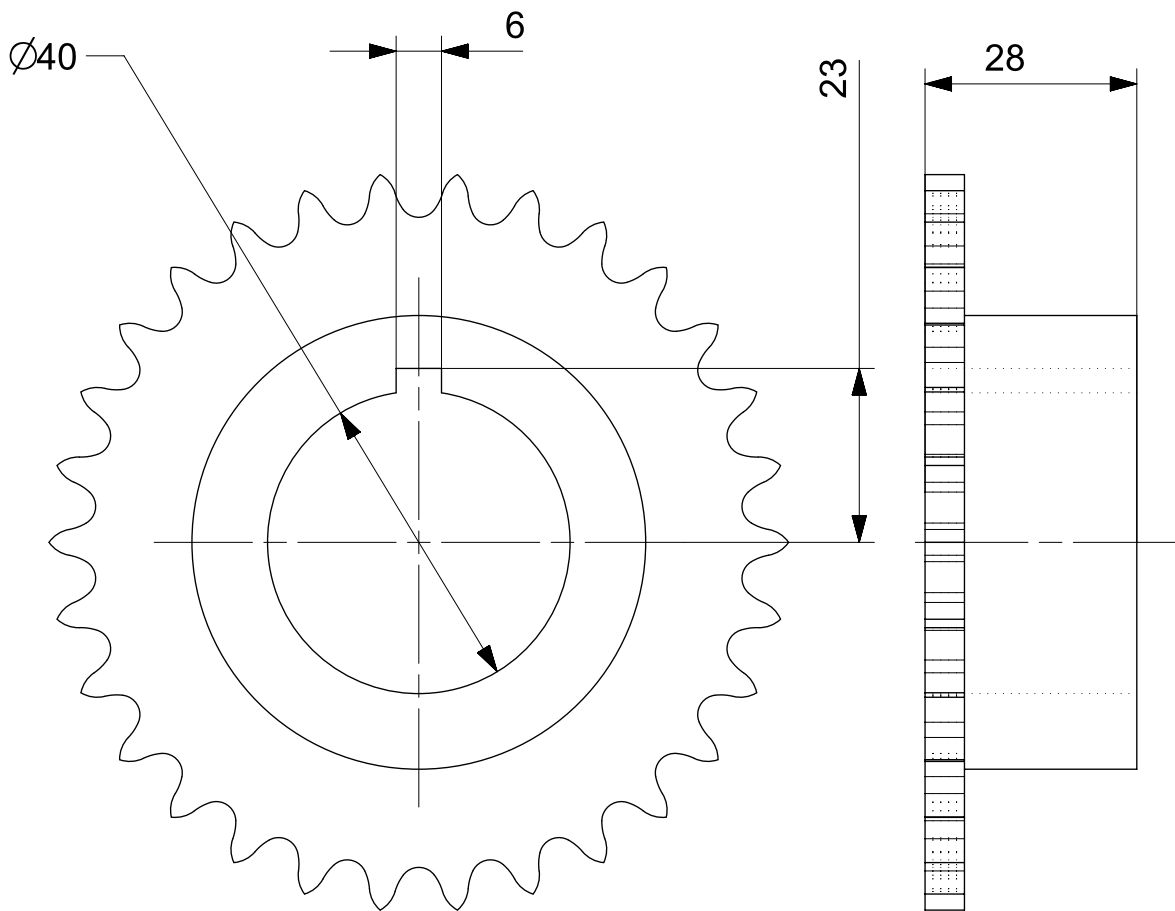
B

C

C

D

D



D	DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas	Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales	Tamaño: A4	Material: Acero 1018 cr	Cantidad: 1
	FECHA: 22/10/15		Sprocket 06B-Tipo B 30 dientes	Unidad: mm	Escala: 1:1

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

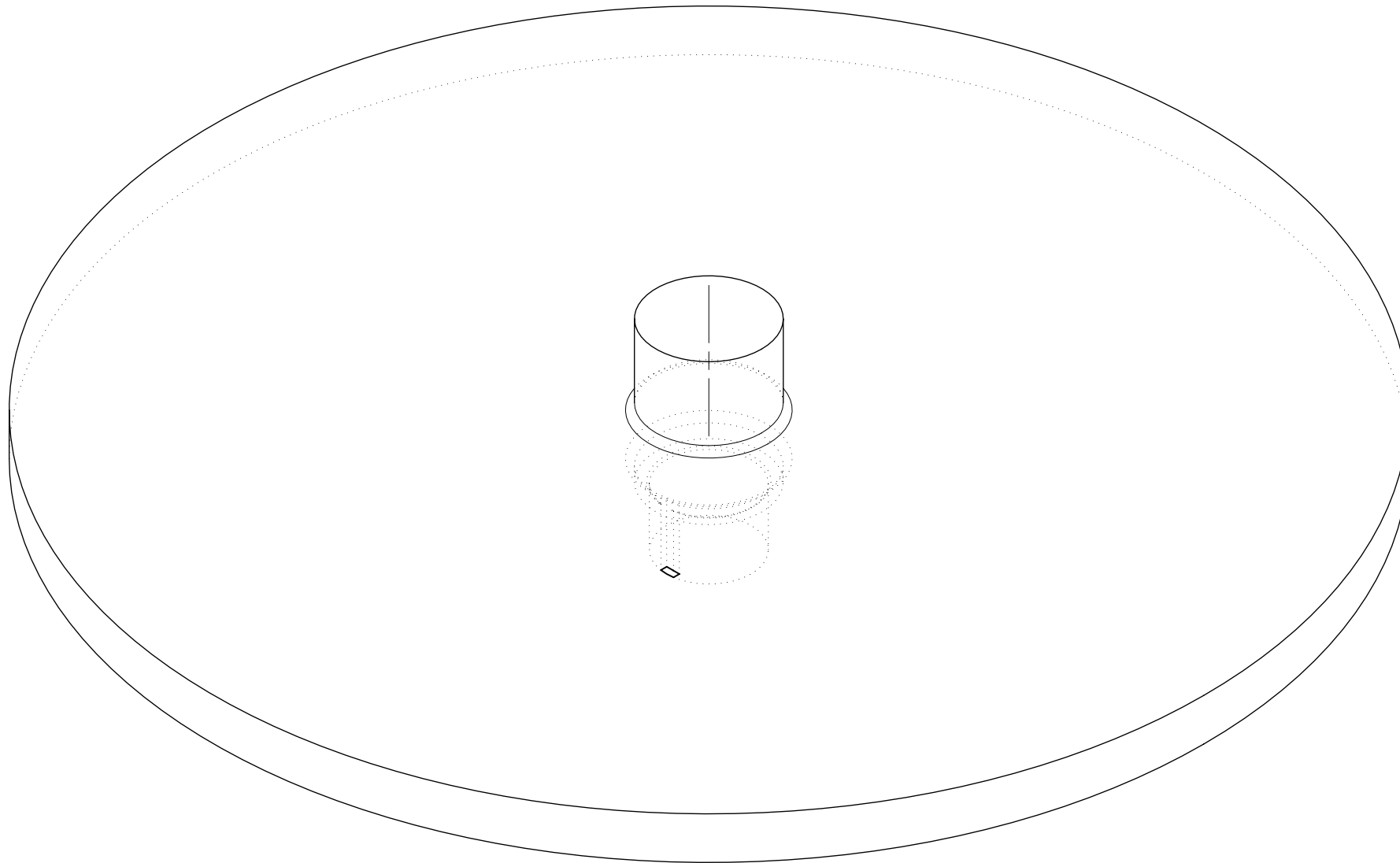
B

C

C

D

D



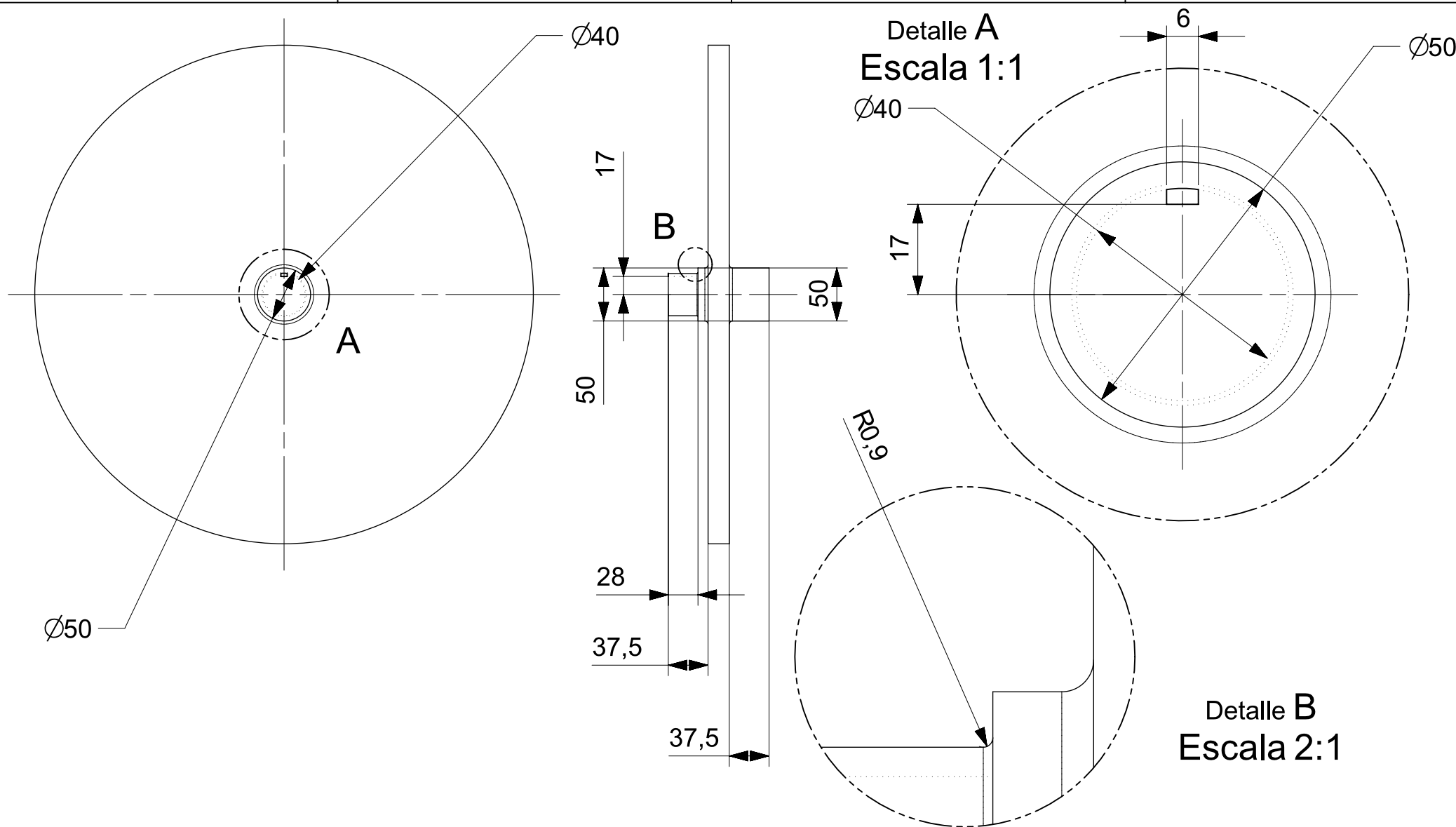
<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p>	<p>Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Acero 1018 cr</p>	<p>Cantidad: 1</p>
<p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Volante de inercia de la bicicleta de spinning (plano 1 de 2)</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:2</p>	<p>Hoja: 7/8</p>

1

2

3

4



<p>DISEÑADO POR: Diego Darío Santibáñez Olivas</p> <p>FECHA: 22/10/15</p>	<p>Modificaciones a la Bicicleta de spinning y piezas adicionales</p>	<p>Tamaño: A4</p>	<p>Material: Mixto</p>	<p>Cantidad: 1</p>
	<p>Volante de inercia de la bicicleta de spinning (plano 2 de 2)</p>	<p>Unidad: mm</p>	<p>Escala: 1:5</p>	<p>Hoja: 8/8</p>

# ANEXO 3



# Vibraciones Mecánicas

Para este anexo se usaron las referencias [2], [22] y [23].

## Conceptos básicos de vibraciones

### **Vibración**

Cualquier movimiento que se repite después de un intervalo de tiempo se llama vibración u oscilación. La teoría de la vibración se ocupa del estudio de los movimientos oscilatorios de los cuerpos y las fuerzas asociadas con ellos.

### **Partes elementales de sistemas vibrantes**

Un sistema vibratorio, en general, incluye un medio para almacenar energía potencial (resorte o elasticidad), un medio para almacenar energía cinética (masa o inercia), y un medio por el cual la energía se pierde gradualmente (amortiguador).

La vibración de un sistema implica la transferencia de su energía potencial en energía cinética y de la energía cinética en energía potencial, alternativamente. Si el sistema se amortigua, algo de energía se disipa en cada ciclo de vibración y debe ser sustituido por una fuente externa si un estado de vibración constante se ha de mantener.

### **Número de grados de libertad**

El número mínimo de coordenadas independientes que son necesarias para determinar completamente las posiciones de todas las partes de un sistema en cualquier instante de tiempo define el número de grados de libertad del sistema.

### **Sistemas discretos y continuos**

Un gran número de sistemas prácticos puede ser descrito usando un número finito de grados de libertad. Algunos sistemas, especialmente aquellos que tienen miembros elásticos continuos, tienen un número infinito de grados de libertad.

El número infinito de coordenadas define su curva de deflexión elástica. Así por ejemplo, la viga en voladizo tiene un número infinito de grados de libertad.

La mayoría de los sistemas estructurales y sistemas de máquinas tienen miembros deformables (elásticos) y por lo tanto deben tener un número infinito de grados de libertad. Los sistemas con un número finito de grados de libertad se denominan sistemas

de parámetros discretos o agrupados, y los que tienen un número infinito de grados de libertad son los llamados sistemas continuos o distribuidos.

La mayor parte del tiempo, los sistemas continuos se pueden aproximar como sistemas discretos, y las soluciones se obtienen de una manera más simple.

Aunque el tratamiento de un sistema como continuo da resultados exactos, los métodos analíticos disponibles para tratar con sistemas continuos están limitados a una estrecha selección de problemas, tales como vigas, varillas delgadas uniformes, y las placas delgadas. Es por ello que la mayoría de problemas simples se tratan como sistemas discretos y aquellos que son complejos se resuelven con métodos numéricos.

### **Vibración libre y vibración forzada**

Vibración libre. Si un sistema, después de una perturbación inicial, se deja a vibrar por sí mismo, la vibración resultante se conoce como vibración libre (ninguna fuerza externa actúa sobre el sistema). La oscilación de un péndulo simple es un ejemplo de vibración libre.

Vibración forzada. Si un sistema se somete a una fuerza externa (a menudo, un tipo de fuerza que se repite), la vibración resultante se conoce como vibración forzada. La oscilación que surge en máquinas tales como motores diésel es un ejemplo de vibración forzada.

Si la frecuencia de la fuerza externa coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, una condición conocida como resonancia se produce, y el sistema se somete a peligrosamente a grandes oscilaciones. Las fallas de estructuras tales como edificios, puentes, turbinas y alas de los aviones han sido asociadas con la ocurrencia de este fenómeno.

### **Vibraciones no amortiguadas y vibraciones amortiguadas**

Si no se pierde energía o se disipa en fricción u otra forma de resistencia durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración no amortiguada. Sin embargo, si toda la energía se pierde de esta manera se llama vibración amortiguada. En muchos sistemas físicos, la cantidad de amortiguamiento es tan pequeña que puede ignorarse para la mayoría de los propósitos de ingeniería.

Sin embargo, la consideración de amortiguación se vuelve extremadamente importante en el análisis de sistemas vibratorios cercanos a la resonancia.

Las ecuaciones de movimiento de un sistema de vibración son por lo general un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias para un sistema discreto y ecuaciones diferenciales parciales para un sistema continuo. Las ecuaciones pueden ser lineales o no lineales, dependiendo del comportamiento de los componentes del sistema.

### **Elementos elásticos (resortes)**

Un resorte es un tipo de enlace mecánico que en la mayoría de las aplicaciones se supone que tiene masa despreciable y amortiguación.

De hecho, cualquier cuerpo elástico o miembro deformable, tal como un cable, barra, viga, eje o placa, pueden ser considerados como un resorte.

Un resorte se dice que es lineal si el alargamiento o reducción de la longitud  $x$  está relacionada con la fuerza aplicada  $F$  como (donde  $k$  es conocida como constante del resorte):

$$F = k * x \quad (1)$$

Si trazamos una gráfica entre  $F$  y  $x$ , el resultado es una línea recta de acuerdo a la ec (1). El trabajo realizado  $U$  en deformar un resorte se almacena como la tensión o energía potencial en la resorte, y viene dada por

$$U = \frac{1}{2} * k * x^2 \quad (2)$$

Se pueden tener dos tipos de casos en los resortes

Caso 1: Resortes en paralelo.

Caso 2: Resortes en Serie.

### **Elementos de Inercia (masa)**

El elemento inercia o masa se supone que es un cuerpo rígido; se puede ganar o perder energía cinética cuando la velocidad del cuerpo cambia. De la segunda ley de movimiento de Newton, el producto de la masa y su aceleración es igual a la fuerza aplicada a la masa.

El trabajo es igual a la fuerza multiplicada por el desplazamiento en la dirección de la fuerza, y el trabajo realizado sobre una masa se almacena en forma de energía cinética de la masa.

## Elementos de amortiguación

En muchos sistemas prácticos, la energía de vibración se convierte gradualmente en calor o en sonido. Debido a la reducción en la energía, la respuesta, tales como el desplazamiento del sistema, disminuye gradualmente.

El mecanismo por el cual la energía de vibración se convierte poco a poco en calor o en sonido se conoce como amortiguación. Aunque la cantidad de energía convertida en calor o en sonido es relativamente pequeña, la consideración de amortiguación se convierte muy importante para una predicción precisa de la respuesta de vibración de un sistema.

Para un amortiguador se supone que no tiene masa ni la elasticidad y fuerza de amortiguación sólo existe si hay velocidad relativa entre los dos extremos del amortiguador. Es difícil determinar las causas de amortiguación en los sistemas prácticos.

## Movimiento Armónico

Si el movimiento se repite después de intervalos de tiempo iguales, se denomina movimiento periódico. El tipo más simple de movimiento periódico es un movimiento armónico. El movimiento impartido a una masa  $m$  debido al mecanismo de yugo escocés (Fig.1) es un ejemplo de un movimiento armónico simple.

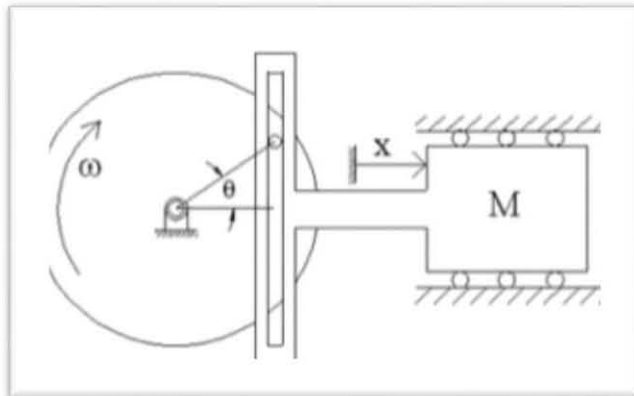


Figura 1

## Definiciones y Terminología

Las siguientes definiciones y la terminología son útiles en el tratamiento de movimiento armónico y otras funciones periódicas:

**Ciclo.** El movimiento de un cuerpo vibrante a partir de su posición de equilibrio (no perturbado) a su posición extrema en una dirección, y luego a la posición de equilibrio, posteriormente, a su posición extrema en la otra dirección, y de nuevo a posición de equilibrio se denomina un ciclo de vibración. Una revolución (es decir, el desplazamiento angular de radianes).

**Amplitud.** El desplazamiento máximo de un cuerpo vibrante a partir de su posición de equilibrio se llama la amplitud de vibración.

**Periodo de oscilación.** El tiempo necesario para completar un ciclo de movimiento se conoce como el periodo de oscilación o periodo de tiempo y se designa por  $\tau$ .

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3)$$

**La frecuencia de oscilación.** El número de ciclos por unidad de tiempo se denomina la frecuencia de oscilación o simplemente la frecuencia y se denota por  $f$ .

$$f = \frac{1}{\tau} \quad (4)$$

Aquí  $\omega$  se denomina frecuencia circular para distinguirla de la variable de frecuencia lineal  $f$ , además  $\omega$  denota la velocidad angular del movimiento cíclico;  $f$  se mide en ciclos por segundo (Hertz), mientras que  $\omega$  se mide en radianes por segundo.

**Frecuencia natural.** Si un sistema, después de una perturbación inicial, se deja vibrar por sí mismo, la frecuencia con la que oscila sin fuerzas externas se conoce como su frecuencia natural. Un sistema vibratorio que tiene  $n$  grados de libertad tendrá, en general,  $n$  frecuencias naturales distintas de vibración.

**Pulsaciones.** Cuando dos movimientos armónicos, con frecuencias cercanas entre sí, se añaden, el movimiento resultante exhibe un fenómeno conocido como pulsaciones.

## Análisis Armónico

Aunque el movimiento armónico es más sencillo de manejar, el movimiento de muchos sistemas vibratorios no es armónico. Sin embargo, en muchos casos, las vibraciones son periódicas. Afortunadamente, cualquier función periódica del tiempo se puede representar por series de Fourier como una suma infinita de términos seno y coseno.

## Vibración libre para sistemas de un grado de libertad

Vibración libre significa que la masa se pone en movimiento debido a la perturbación inicial sin fuerza aplicada externamente que no sea la fuerza del resorte, la fuerza de amortiguación, o fuerza gravitacional.

Un sistema se dice que es sometido a vibraciones cuando oscila sólo bajo una perturbación inicial y sin fuerzas externas que actúan después. Un ejemplo son las oscilaciones del péndulo de un reloj de péndulo.

Cuando no hay ningún elemento que provoque la disipación de la energía durante el movimiento de la masa, la amplitud de movimiento permanece constante con el tiempo; se dice que es un sistema no amortiguado. En la práctica real, excepto en el vacío, la amplitud de vibración libre disminuye gradualmente con el tiempo debido a la resistencia ofrecida por el medio circundante (como el aire). Tales vibraciones se dice que están amortiguadas. El estudio de la vibración libre de los sistemas no amortiguados y amortiguados de un solo grado de libertad es fundamental para la comprensión de los temas más avanzados en vibraciones.

## Vibración libre de un sistema traslacional no amortiguado

Para el análisis de este tipo de sistemas se utiliza la segunda ley de Newton.

$$\mathbf{F} = m * \frac{d^2 \mathbf{x}(t)}{dt^2} = m * \ddot{\mathbf{x}} \quad (5)$$

Donde  $\mathbf{F}$  es la fuerza,  $m$  es la masa, la segunda derivada con respecto a  $x$  indica la aceleración (si están en negritas indica que es un vector). Recordando la ec. (2) e igualando a cero se tiene que:

$$m * \ddot{x} + k * x = 0 \quad (6)$$

Donde  $x$  indica la posición y los puntos encima de las letras indicarían derivadas con respecto del tiempo

**Principio de desplazamientos virtuales.** El principio de los desplazamientos virtuales establece que si un sistema que está en equilibrio bajo la acción de un conjunto de fuerzas es sometido a un desplazamiento virtual, entonces el trabajo virtual total realizado por las fuerzas será cero.

Aquí, el desplazamiento virtual se define como un desplazamiento infinitesimal imaginario dado instantáneamente. Debe ser un físicamente posible el desplazamiento que es compatible con las limitaciones del sistema. El trabajo virtual se define como el trabajo

realizado por todas las fuerzas, incluidas las fuerzas de inercia de un problema dinámico, debido a un desplazamiento virtual. Aplicando el concepto de desplazamiento virtual se puede llegar a la ecuación 6.

### Principio de conservación de la energía.

Un sistema se dice que es conservador si no se pierde energía debido a la fricción o la energía de disipación de los miembros no elásticos. Si no se realiza trabajo en un sistema conservador por fuerzas externas (aparte de la gravedad u otras fuerzas potenciales), entonces la energía total del sistema permanece constante.

Puesto que la energía de un sistema de vibración es en parte potencial y en parte cinética, la suma de estas dos energías se mantiene constante. La energía cinética  $T$  se almacena en la masa en virtud de su velocidad, y la energía potencial  $U$  se almacena en el resorte en virtud de su deformación elástica. Así, el principio de conservación de la energía se puede expresar como:

$$T + U = \text{constante} \quad (7)$$

Donde

$$T = \frac{1}{2} * m * \dot{x}^2 \quad (8)$$

$$U = \frac{1}{2} * k * x^2 \quad (9)$$

Hay que hacer hincapié que cuando una masa se mueve en una dirección vertical, podemos ignorar su peso, debido a que siempre medimos  $x$  ( $x$  indica posición que para poder obtenerla se debe usar un sistema de referencia) desde su posición de equilibrio estático.

Ahora bien, la solución de la ec. (6), la cual es una ecuación diferencial, es la siguiente:

$$x(t) = C_1 * e^{i*\sqrt{\frac{k}{m}}*t} + C_2 * e^{-i*\sqrt{\frac{k}{m}}*t} \quad (10)$$

Donde al término

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (11)$$

Se le conoce como frecuencia natural del sistema.

Conociendo las condiciones de frontera y manejando identidades trigonométricas y algebraicas podemos obtener diferentes expresiones que describan el movimiento del cuerpo sometido a este tipo de vibración a través del tiempo.

### Movimiento armónico

Las funciones armónicas de tiempo es un movimiento que es simétrico con respecto a la posición de equilibrio de la masa  $m$ . La velocidad es un máximo y la aceleración es cero cada vez que la masa pasa a través de esta posición. En los desplazamientos extremos, la velocidad es cero y la aceleración es un máximo. Dado que este representa un movimiento armónico simple, el sistema de resorte-masa en sí se llama un oscilador armónico

### Método energía de Rayleigh

El método de energía para encontrar las frecuencias naturales de los sistemas de un solo grado de libertad se llama método de energía de Rayleigh. El principio de conservación de la energía, en el contexto de un sistema de vibración no amortiguada, se puede replantearse como:

$$T_1 + U_1 = T_2 + U_2 \quad (12)$$

### Vibración libre con amortiguamiento viscoso

Si tiene amortiguamiento viscoso, la ecuación que muestra esa relación es la siguiente:

$$F = -c * \dot{x} \quad (13)$$

Donde  $c$  es la constante de amortiguamiento viscoso y  $\dot{x}$  indica la velocidad. El signo aparece negativo porque va en dirección contraria a la velocidad y de hecho lo mismo ocurre con la fuerza debida al resorte (sin olvidar que hay que establecer un sistema de referencia).

Si ahora a la ec (6) agregamos la parte correspondiente al amortiguamiento se tiene lo siguiente:

$$m * \ddot{x} + c * \dot{x} + k * x = 0 \quad (14)$$

En donde si vemos su sistema así como el diagrama de cuerpo libre, quedaría de la siguiente forma:



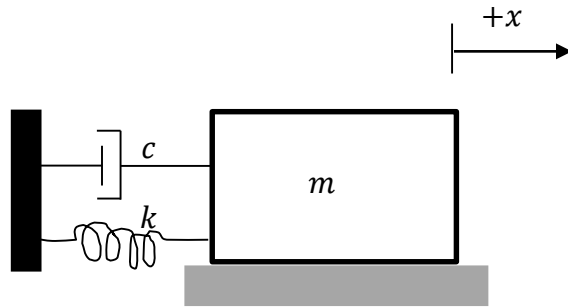


Figura 2

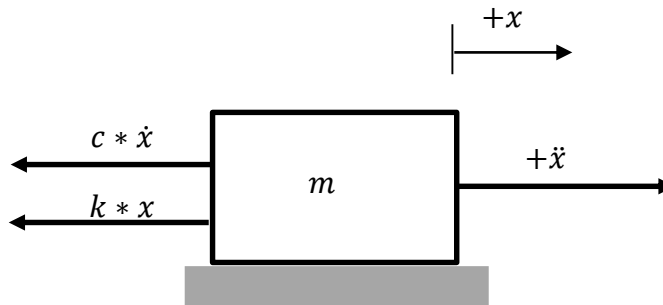


Figura 3

Si se resuelve la ec. (14) se tiene lo siguiente:

$$x(t) = C_1 * e^{\frac{1}{2}\left(-\frac{c}{m} - \frac{\sqrt{c^2 - 4km}}{m}\right)t} + C_2 * e^{\frac{1}{2}\left(-\frac{c}{m} + \frac{\sqrt{c^2 - 4km}}{m}\right)t} \quad (15)$$

Conociendo las condiciones de frontera y manejando identidades trigonométricas y algebraicas podemos obtener diferentes expresiones que describan el movimiento del cuerpo sometido a este tipo de vibración a través del tiempo.

Para este tipo de movimiento se pueden tener tres casos, el primero se llama sistema subamortiguado y es cuando las raíces que se observan de la ec. (15) son imaginarias y la amplitud del movimiento decae en forma exponencial, además este es el único caso que lleva a un movimiento oscilante; al caso 2 se le llama críticamente amortiguado y la parte que corresponde a las raíces en la ec. (15) es igual a cero, por lo tanto se tendrá un movimiento no periódico que disminuirá hasta llegar a cero; el tercer y último caso llamado sistema sobreamortiguado se da cuando las raíces de la ec. (15) son reales y mayores a 0, con lo cual se tendrá un movimiento no periódico que decaerá de forma exponencial rápidamente pero le tomará más tiempo que al caso 2.

## Vibración armónicamente excitada

Un sistema mecánico o estructural se dice que se somete a vibración forzada siempre que una energía externa se suministre al sistema durante la vibración. La energía externa puede ser suministrada a través de una fuerza aplicada o un desplazamiento de excitación impuesta. La fuerza aplicada o de excitación de desplazamiento pueden ser armónica, no armónica pero periódica, no periódica, o al azar.

La respuesta de un sistema a una excitación armónica se llama respuesta armónica. La excitación no periódica puede tener una duración larga o corta. La respuesta de un sistema dinámico que aplica de repente excitaciones no periódicas se denomina respuesta transitoria.

La ecuación general que tiene este movimiento es la siguiente:

$$m * \ddot{x} + c * \dot{x} + k * x = F(t) \quad (16)$$

Es importante decir que en esta ecuación la parte predominante es la fuerza externa proporcionada por  $F(t)$ , ya que la respuesta homogénea de esta ecuación diferencial se pierde con el tiempo y queda como respuesta sólo la fuerza  $F(t)$ .

Ahora bien, en el presente trabajo se requiere mostrar la primera frecuencia natural de perfiles estructurales mediante una excitación a una base donde vayan a estar sujetos.

La constante de rigidez de los perfiles estructurales se calcula usando la siguiente ecuación:

$$k = \frac{3 * E * I}{l^3} \quad (17)$$

Donde  $l$  es el largo del perfil,  $E$  es módulo de elasticidad e  $I$  es el momento de inercia y viene dado por la siguiente fórmula (ver figuras 4 y 5):

$$I = \frac{b * d^3}{12} \quad (18)$$

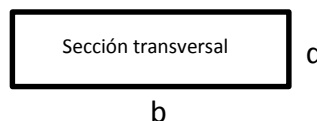


Figura 4

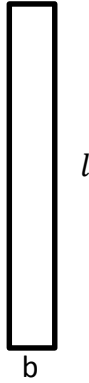


Figura 5

Todos los perfiles usados tienen la medida de  $b=0.0254$  [m]=1[in] y

$d=0.0015875$  [m]= $\frac{1}{16}$  [in] y con las siguientes propiedades:  $\rho=2680$  [kg/m<sup>3</sup>] y  $E= 68.9$  [GPa]

A continuación se ponen en la siguiente tabla un resumen de las características importantes de los cuatro perfiles a utilizar:

Largo del perfil $l$ [m]	Masa $m$ [Kg]	Material (perfil comercial)	Constante de Rigidez $k$ [k/m]	Esfuerzo de cedencia (MPa/Ksi)
0.831	0.0945	Aluminio 6063 T-5	3.0502193921	110
0.588	0.0680	Aluminio 6063 T-5	8.60998056	110
0.480	0.0563	Aluminio 6063 T-5	15.82743129	110
0.416	0.0493	Aluminio 6063 T-5	24.31387375	110

Tabla 1

Con los datos anteriores se calculará, como una primera aproximación, las frecuencias naturales considerando que se tiene una viga en voladizo con masa concentrada en el extremo considerando la propia masa del perfil (o viga). Por lo tanto se tiene la siguiente ecuación:

$$\omega_n = \frac{\sqrt{\frac{k}{\frac{33}{144} * m + M}}}{2 * \pi} \quad (19)$$

Donde  $m$  es la masa del perfil y  $M$  la masa que se usa en un extremo de la viga en voladizo. En este caso la masa  $M$  es cero y la masa  $m$  de cada perfil se muestra en la tabla 1.

La siguiente tabla muestra las frecuencias naturales encontradas con el uso de la ec. (19)

Largo del perfil $l$ [m]	Frecuencia Natural $\omega_n$ [Hz]
0.831	1.888
0.588	3.741
0.480	5.574
0.416	7.383

Tabla 2

Estas frecuencias van a ser comparadas con la solución exacta de una viga en voladizo considerada como un medio continuo y con el software de NX®.

La ecuación que gobierna el movimiento de una viga en voladizo considerada como un medio continuo sin amortiguamiento es:

$$E * I * \frac{\partial^4 v(x, t)}{\partial x^4} + m * \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (20)$$

Donde  $v$  se refiere al desplazamiento en el eje vertical,  $x$  a la posición (en el eje horizontal) y  $t$  denota el tiempo. La solución de la ec. (20), considerándolo como viga en voladizo, y mostrando la primera frecuencia natural es:

$$\omega_n = \frac{1.875^2 * \sqrt{\frac{E * (\frac{b * d^3}{12})}{\rho * (b * d) * l^4}}}{2 * \pi} = \frac{1.875^2 * \sqrt{\frac{E * d^2}{12 * \rho * l^4}}}{2 * \pi} \quad (21)$$

La siguiente tabla se muestra las frecuencias naturales de los perfiles usados y se muestran también los ya calculados con la ec. 19.

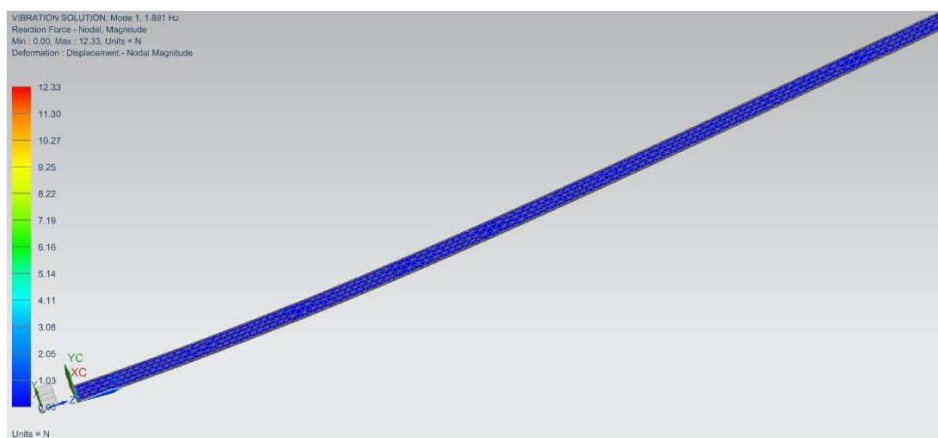
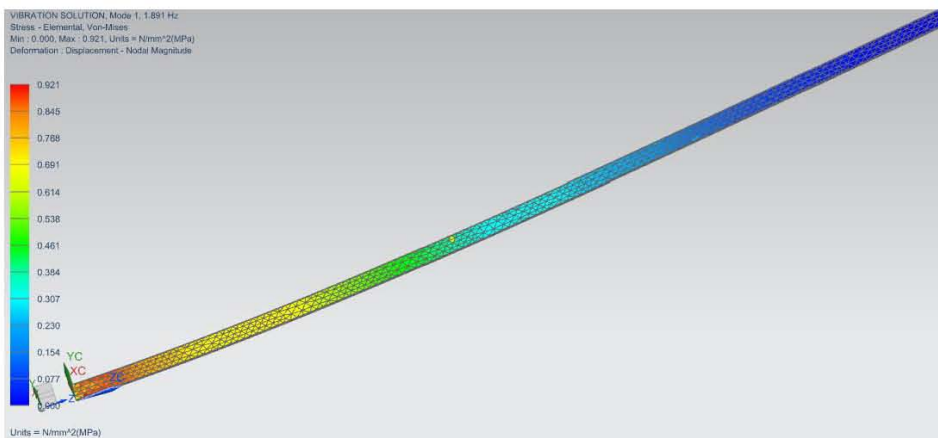
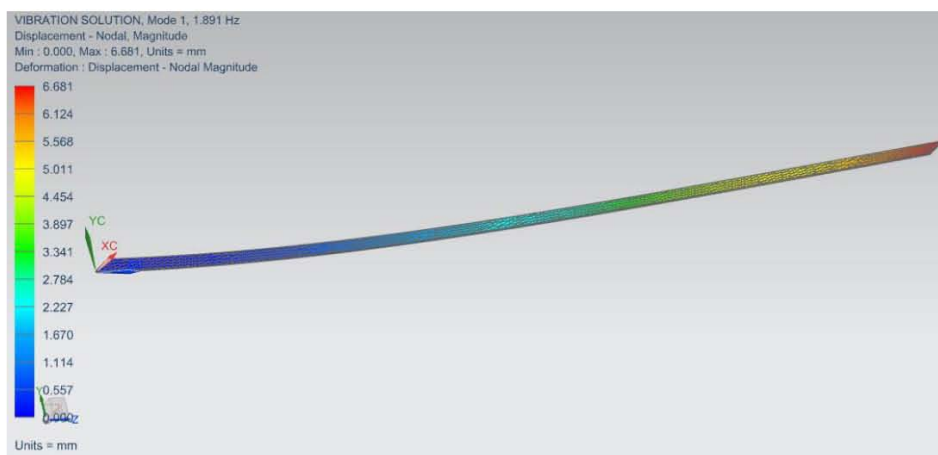
Largo del perfil $l$ [m]	Frecuencia Natural ec. (19) $\omega_n$ [Hz]	Frecuencia Natural ec. (21) $\omega_n$ [Hz]
0.831	1.888	1.883
0.588	3.741	3.760
0.480	5.574	5.643
0.416	7.383	7.513

Tabla 3

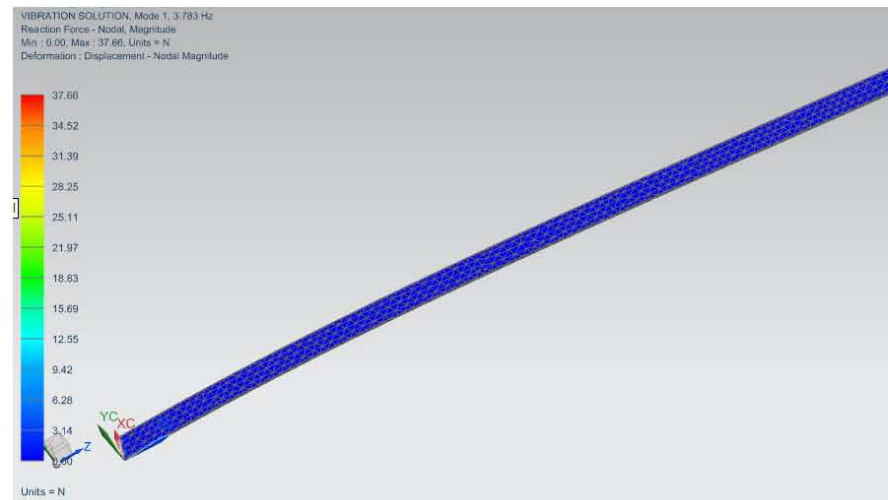
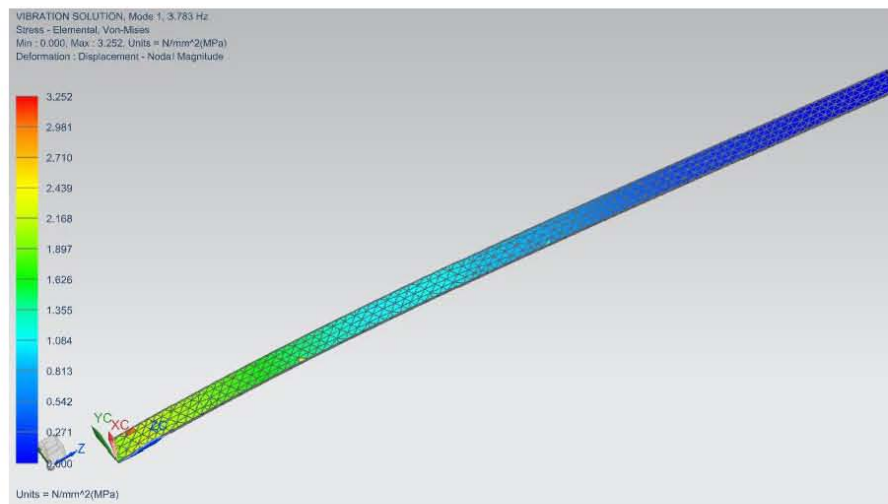
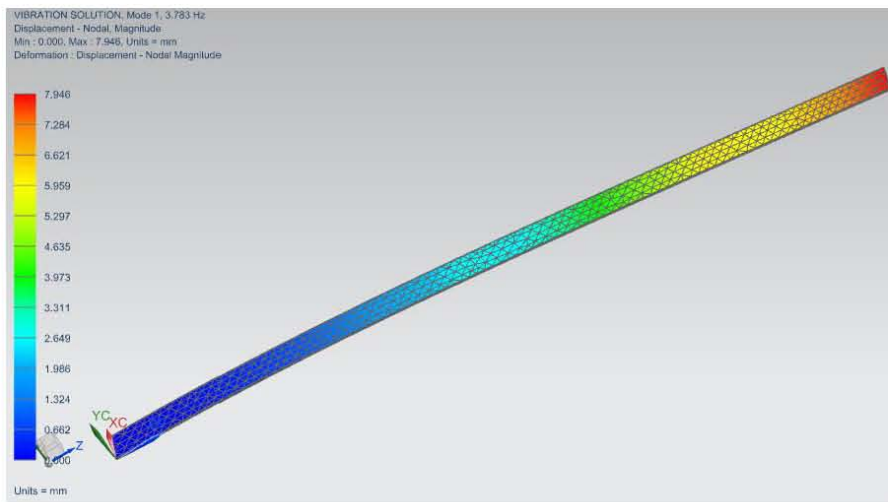
Si se compara los resultados de la ec. (21) con los resultados del software NX® se obtienen resultados muy similares.

Se muestra a continuación los desplazamientos (en mm), esfuerzos y las fuerzas producidas debido a la vibración de los perfiles usados empleando el software de NX® (se ven del mayor al menor):

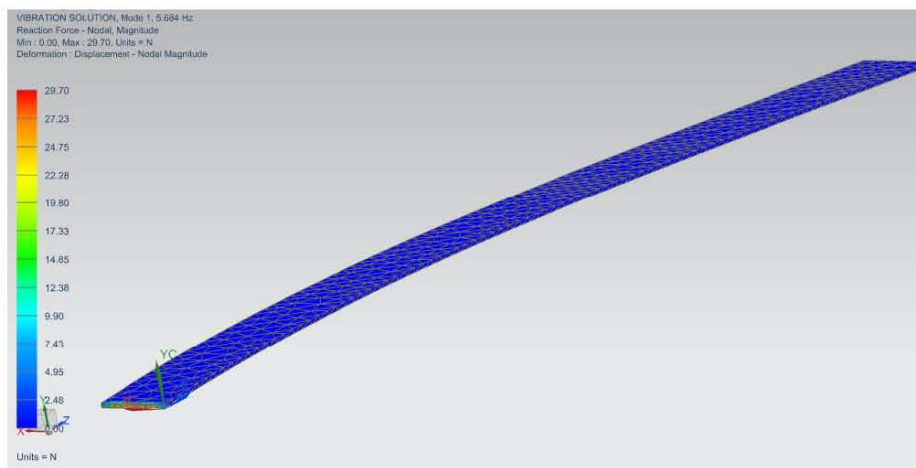
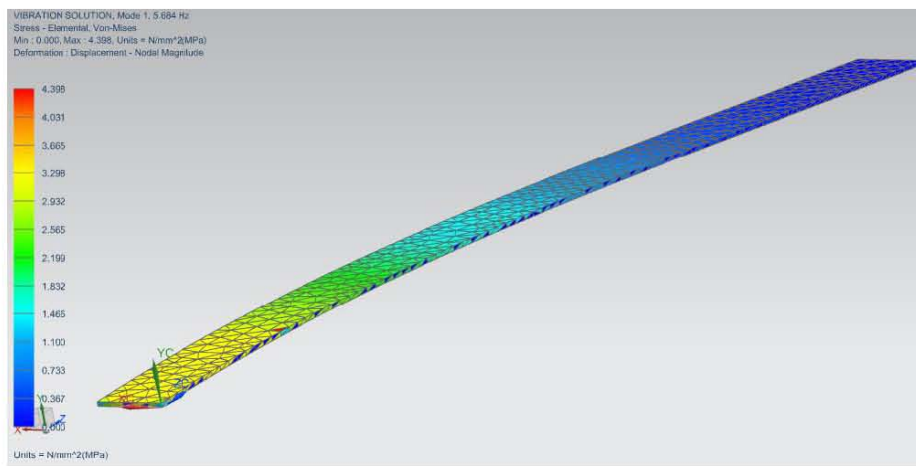
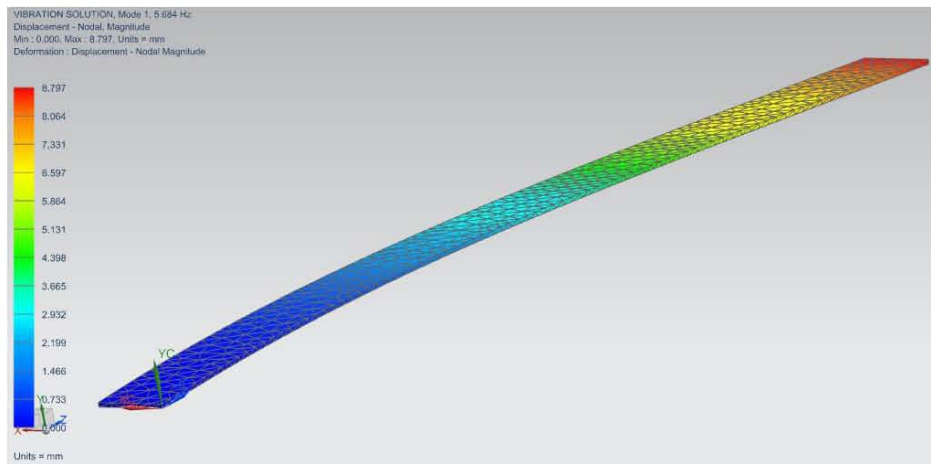
Perfil de 831 mm de largo



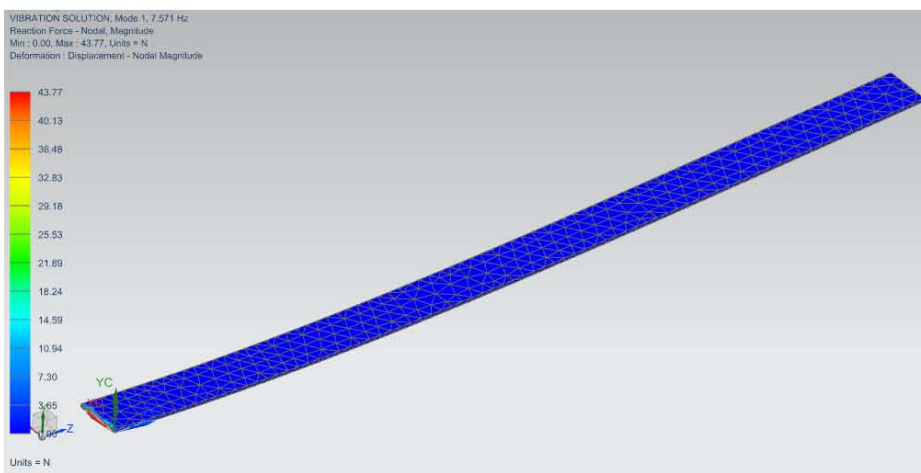
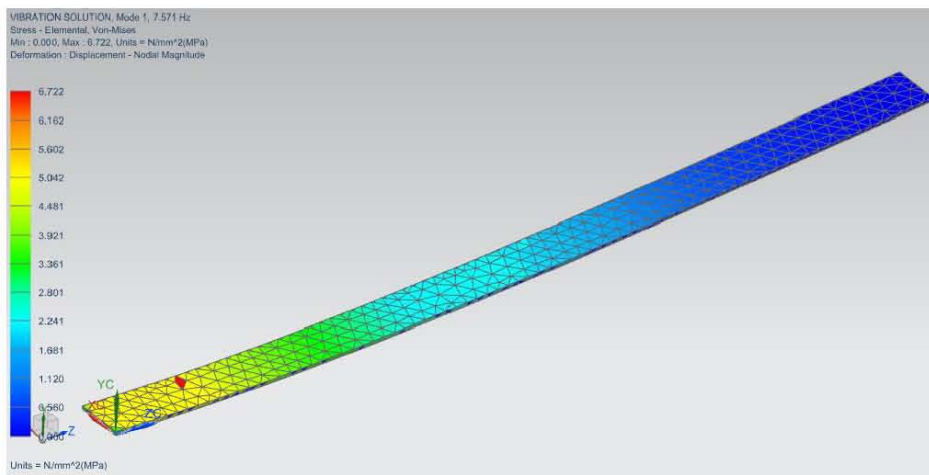
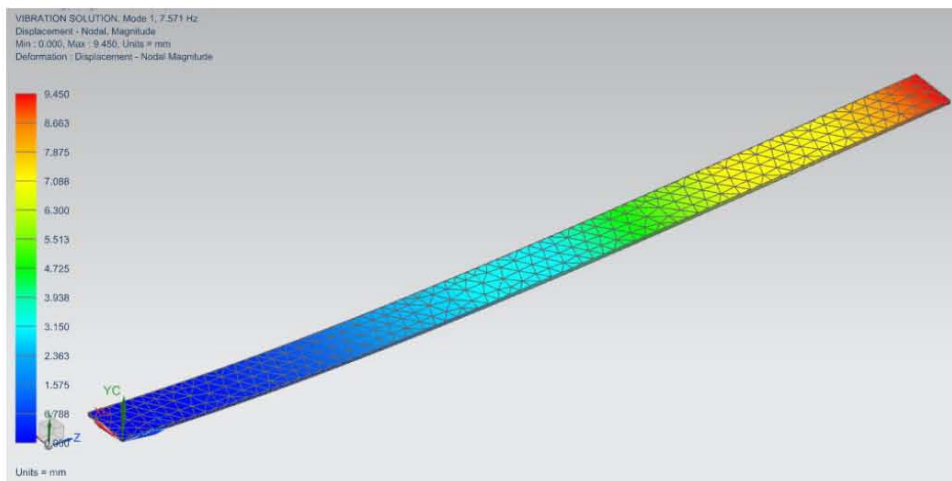
# Perfil de 588 mm de largo



# Perfil de 480 mm de largo



# Perfil de 416 mm de largo





Se puede observar que los valores de frecuencias naturales son muy similares con respecto a los calculados con el software y las ecuaciones 19 y 21. Ahora bien, ya el software muestra los valores de esfuerzo y fuerza debido a las vibraciones. Para tener con que comparar se da una aproximación tomando el sistema elegido (que fue tipo cigüeñal) como respuesta de un sistema amortiguado bajo influencia del movimiento de la base que básicamente es lo mismo que la ec. (16).

La ecuación que se resuelve es la siguiente:

$$m * \ddot{x} + c * (\dot{x} - \dot{y}) + k * (x - y) = 0 \quad (22)$$

Donde se tiene lo siguiente:

x-se refiere al movimiento del perfil.

y-se refiere al movimiento de la base.

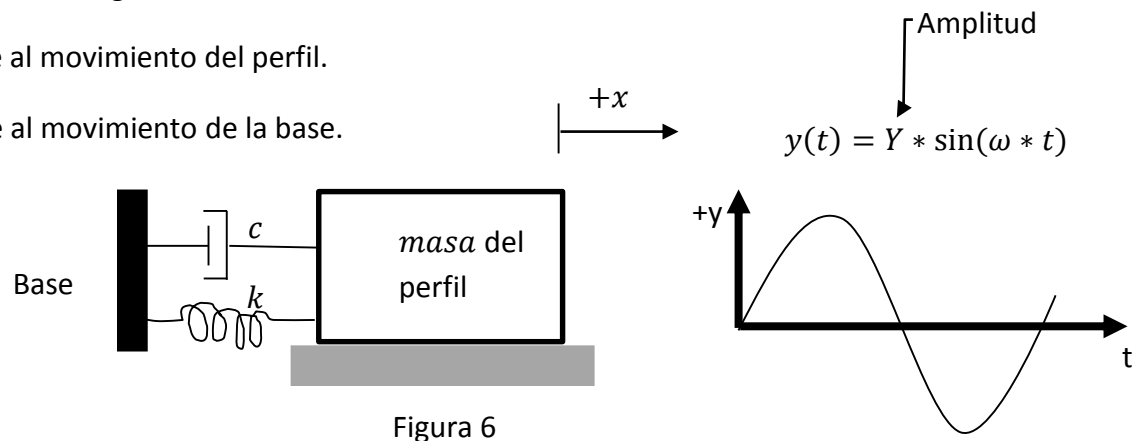


Figura 6

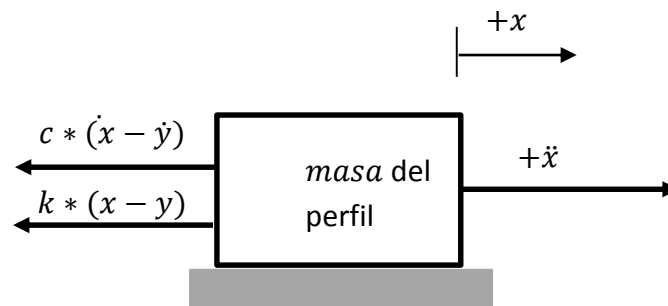


Figura 7

Si se resuelve la ec. (22), se tiene que la respuesta estable es (se toma que es no amortiguado por lo que a "c" se le asigna un cero):

$$x(t)_{estable} = \frac{Y * k}{k - m * \omega^2} \sin(\omega * t) \quad (23)$$

Donde m es la masa total del perfil, Y es la amplitud y es de 3.75 cm y k la constante de rigidez.

El radio de amplitud con respecto al movimiento de la base se le conoce como desplazamiento de transmisibilidad  $T_d$ , para este caso es:

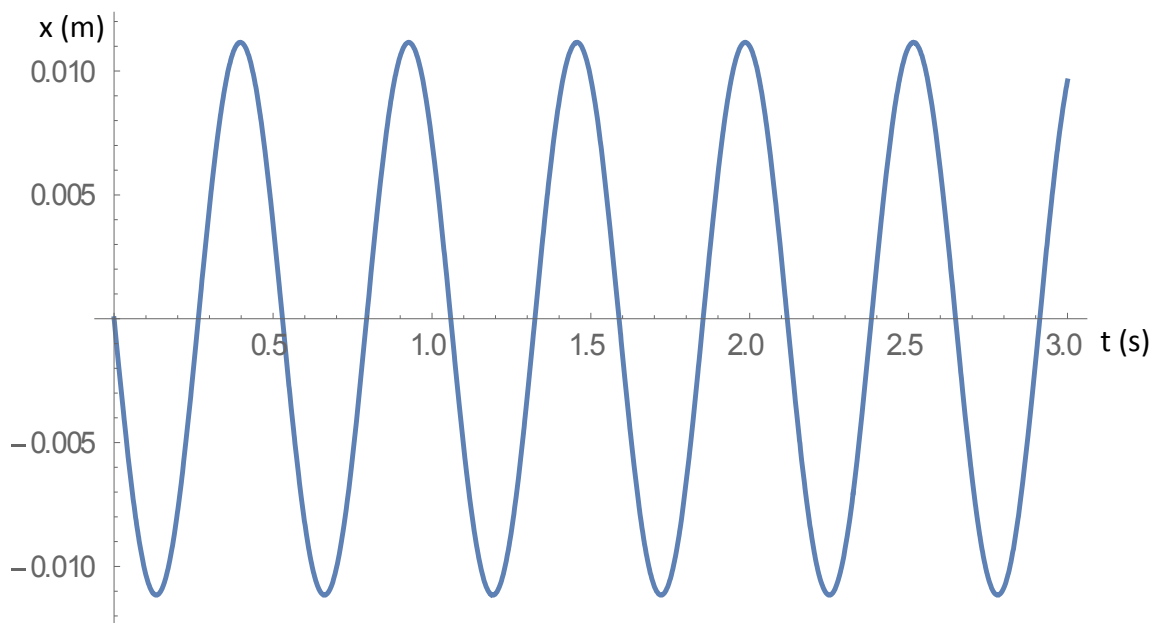
$$T_d = \left| \frac{k}{k - m * \omega^2} \right| \quad (24)$$

Además, la fuerza transmitida a la base debido a las vibraciones en el perfil se puede calcular de la siguiente forma:

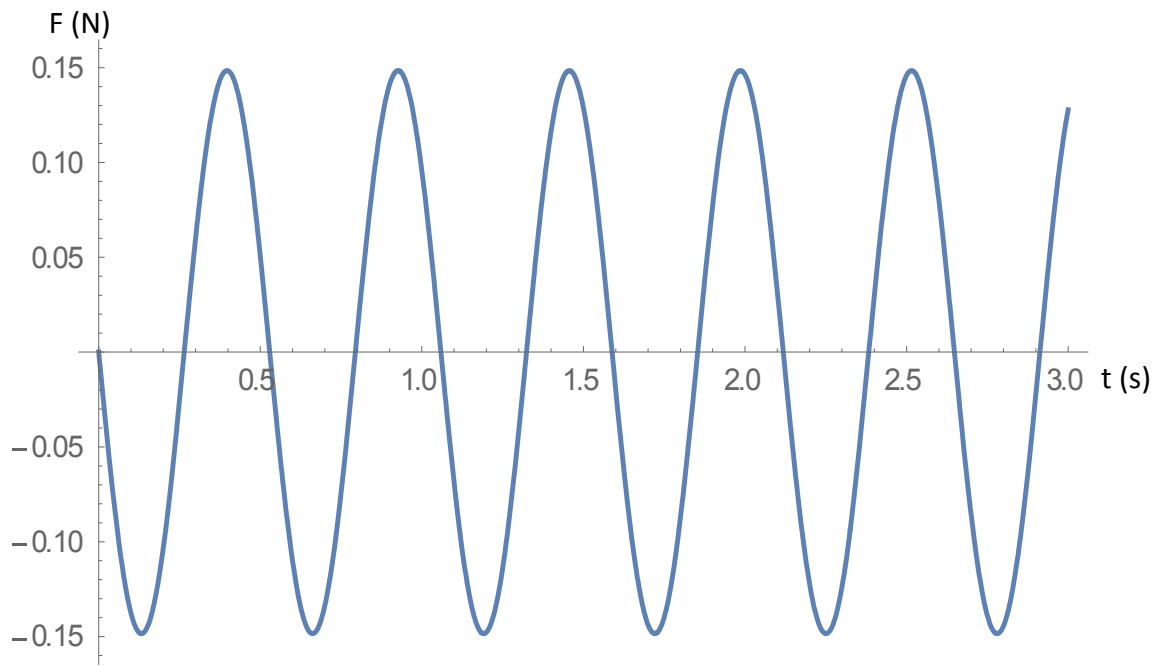
$$F_{transmitida} = k * (x - y) \quad (25)$$

Se muestran los valores obtenidos en las siguientes gráficas y valores comenzando por el desplazamiento, después el desplazamiento de transmisibilidad y por último la fuerza transmitida (se utilizó la "k" de la ec. (19)):

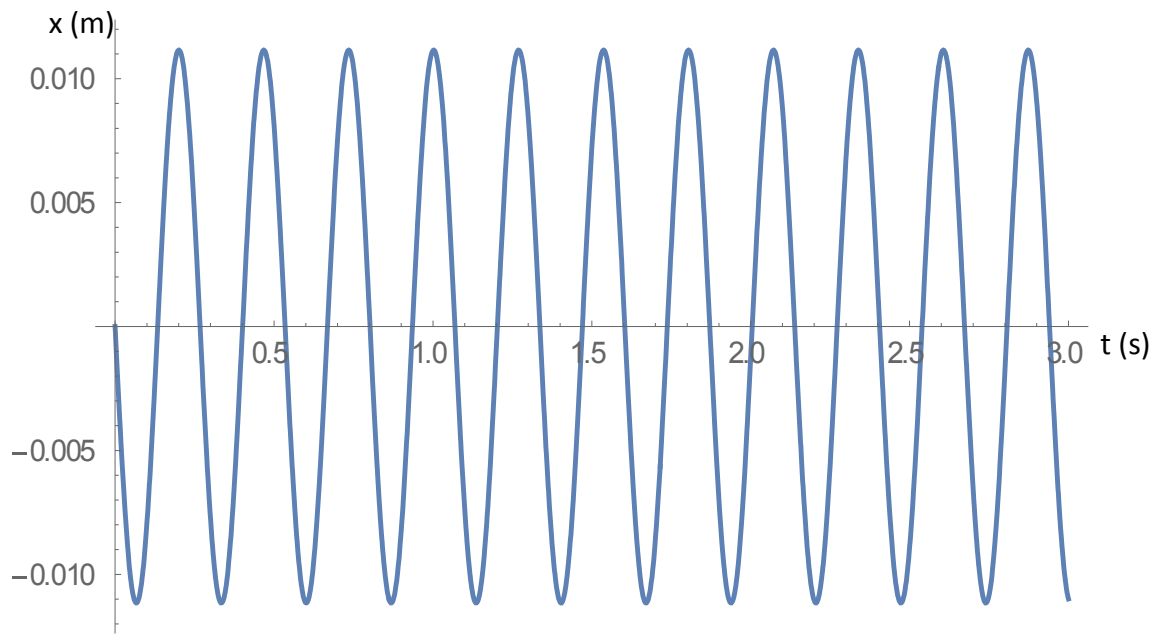
Perfil de 831 mm de largo



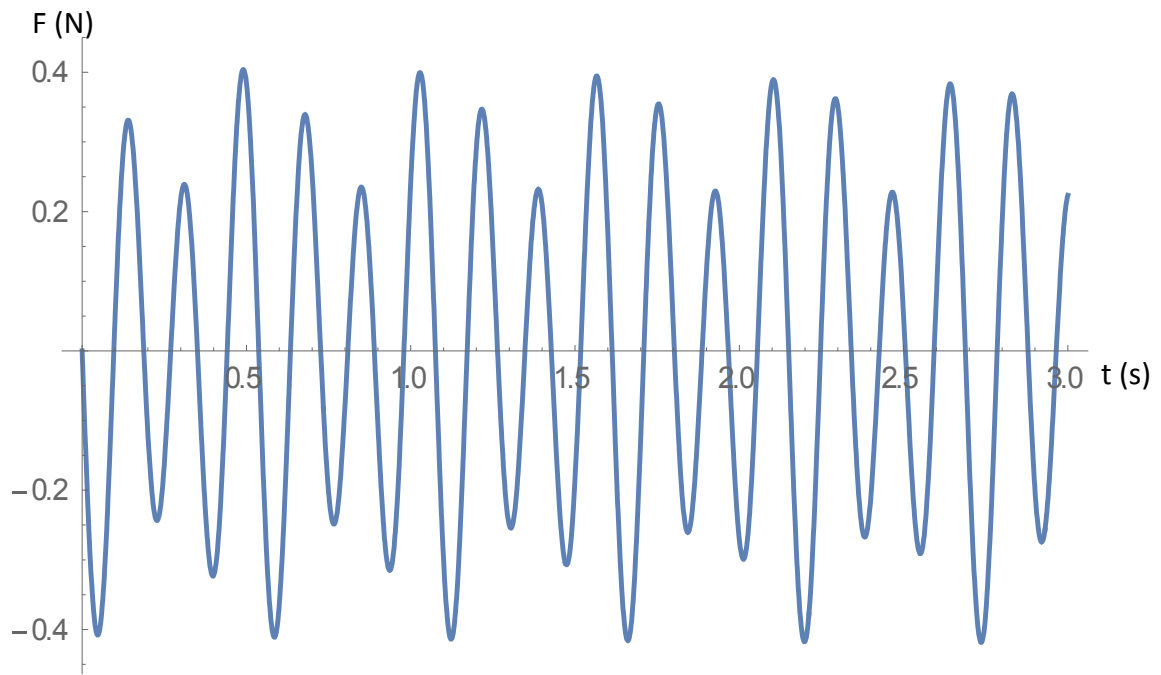
$T_d=0.2975$



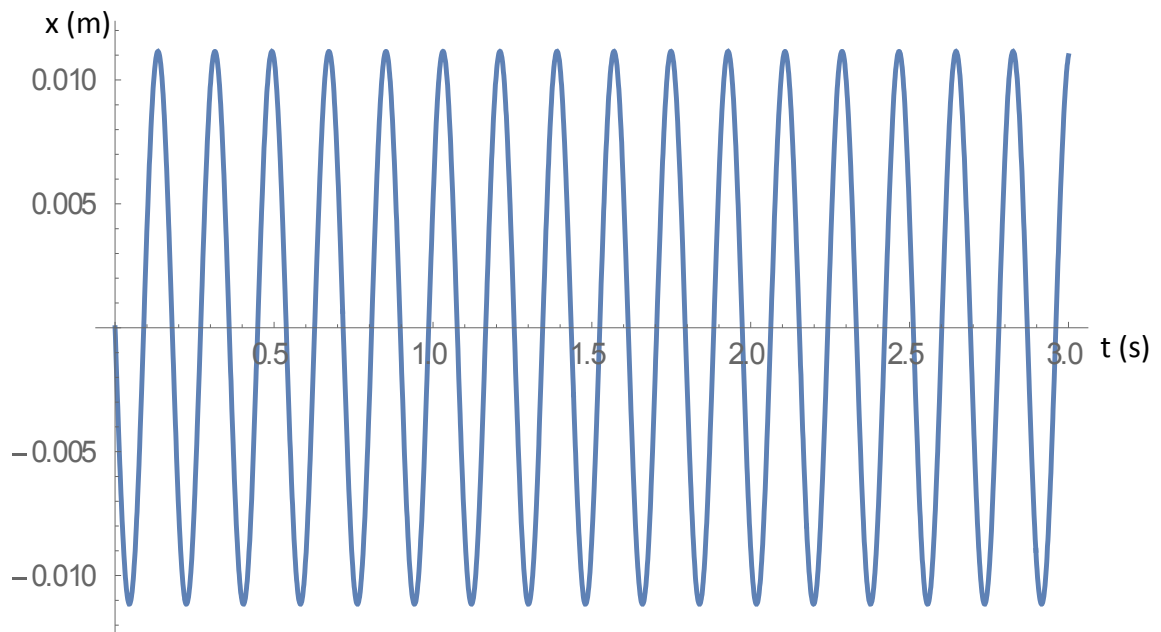
Perfil de 588 mm de largo



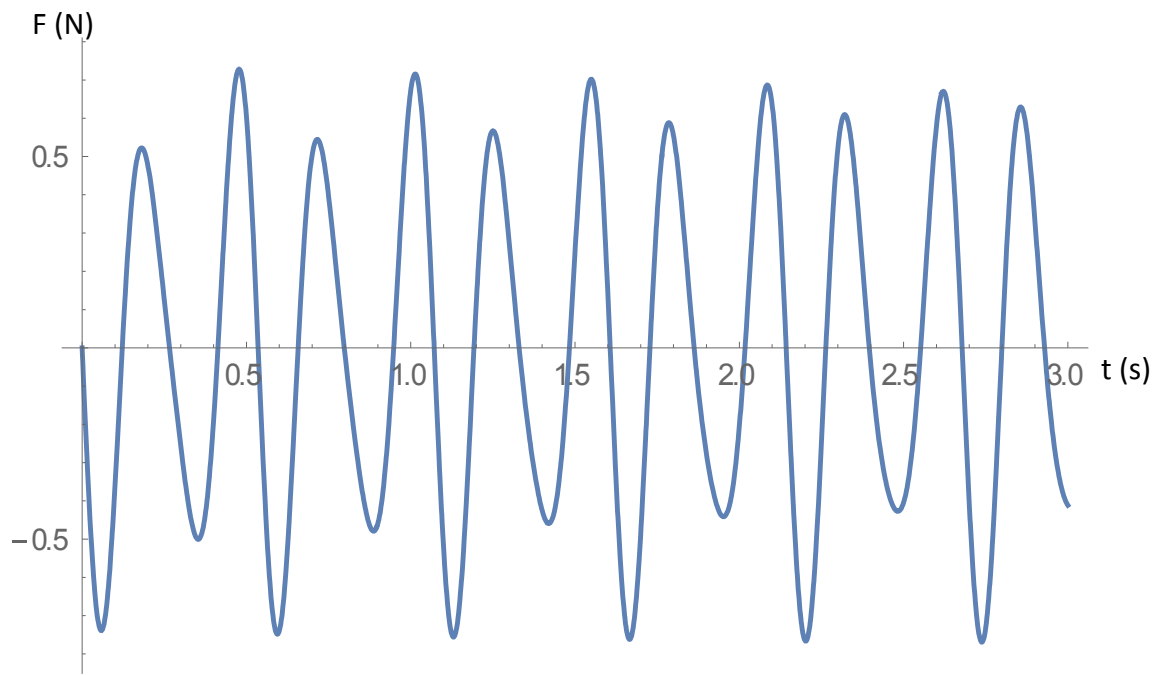
$T_d=0.2973$



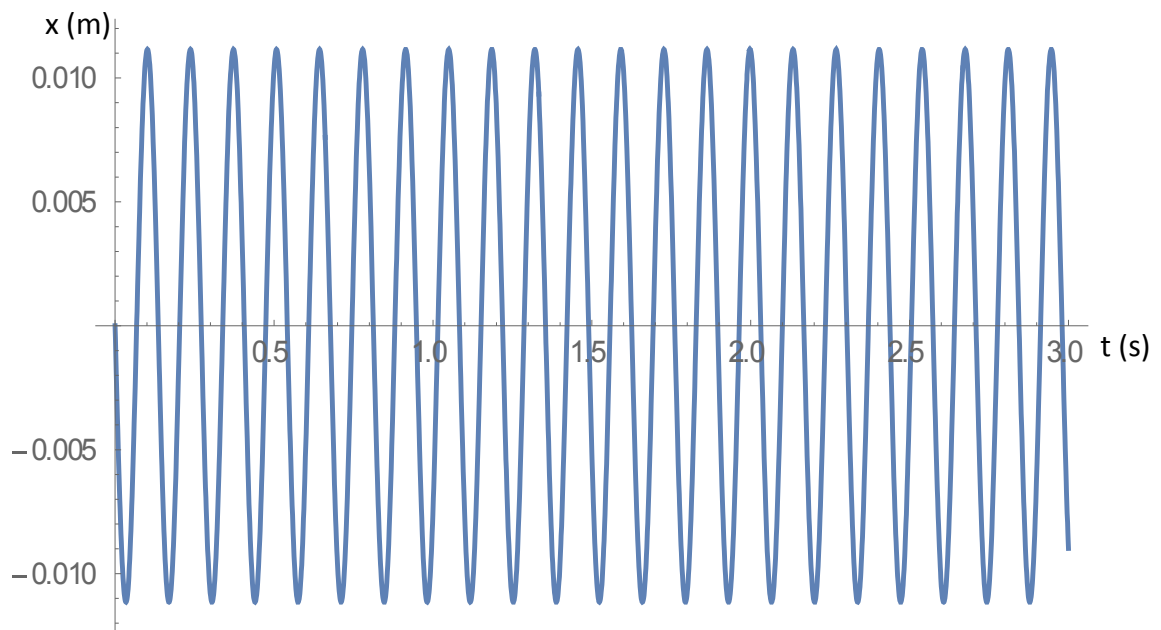
Perfil de 480 mm de largo



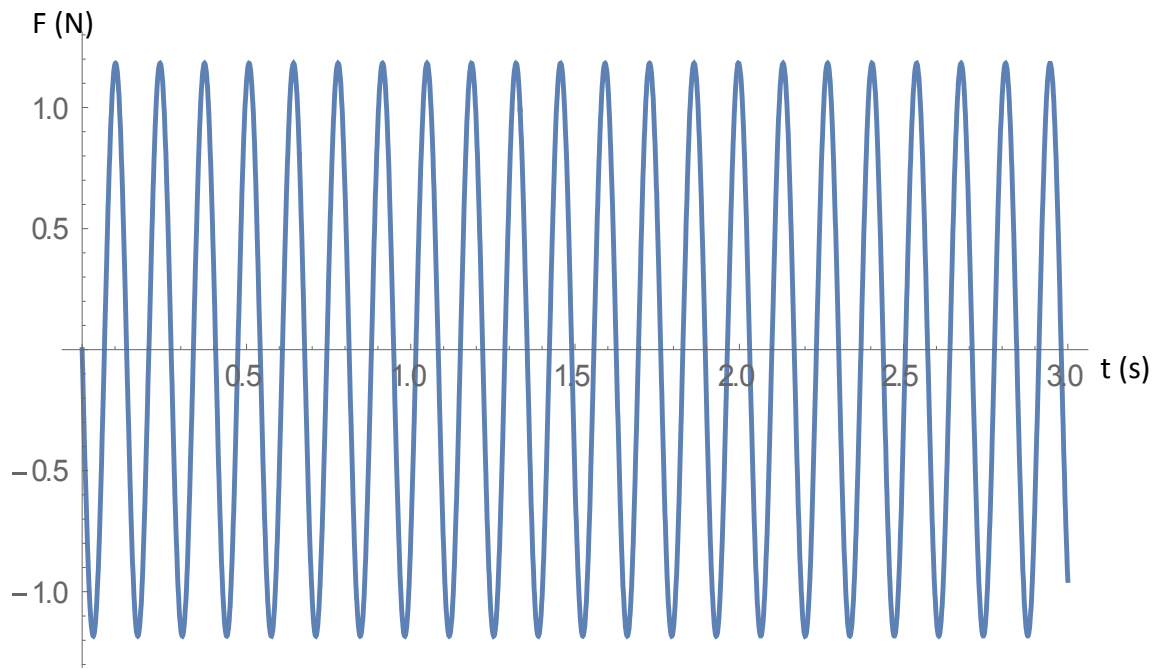
$T_d=0.2973$



Perfil de 416 mm de largo



$T_d=0.2973$



Como se puede apreciar sólo es una mera aproximación al igual que todo lo hecho durante el presente anexo pero que nos da una idea de cuál muy posiblemente sea el comportamiento de estos perfiles. La única forma de corroborar y obtener los datos verdaderos debe ser mediante experimentación y con ello se puede entonces equiparar la teoría con los resultados experimentales.