



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN BANCO RECONFIGURABLE PARA
REALIZACIÓN DE ENSAYOS DIDÁCTICOS DE
TORSIÓN Y FLEXIÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

MARUSIA URREA MARIÑO



**DIRECTOR DE TESIS:
M.I. ROGELIO DARÍO GUTIÉRREZ CARRILLO
2014**

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la mejor educación desde mi ingreso a Iniciación Universitaria. A la Facultad de Ingeniería, mi *alma mater*, gracias por permitirme estudiar la mayor de mis pasiones.

A mis padres, Ivonne y Javier por su compromiso y ejemplo a lo largo de todos estos años. A mis hermanas Iliana, Aurea, Emilia, Ulsía y Anasazi así como a mi hermano Emiliano por su apoyo y cariño. Al hámster que me acompañó buena parte de la carrera, muchas gracias *Evrivaris*.

A César Núñez quien fue incondicional desde el bachillerato y durante toda la carrera. Gracias por contagiarme la pasión por la mejor de las ingenierías, la mecánica; gracias por tenerme tanta paciencia, por creer en mí, por explicarme y por acompañarme en los desvelos, frustraciones y alegrías. Sin ti no lo habría logrado. Fuiste novio, hermano, padre, amigo, maestro... fuiste todo y nunca podré agradecerte lo suficiente. Muchas gracias.

Al Dr. Javier Mantecón Madrid, por ser el mejor ejemplo de profesionista y profesional que he conocido y a quien le debo la vida.

A mis profesores Jorge Kreuzmann Oropeza e Irma Olivares Domínguez por enseñarme que el arte es parte fundamental de todo ser humano. A Joel por ser más que un *coach*.

A mis amigos de la carrera: Oscar, Nayar, Lalo, Ivon, Monse, Marco, Lya, Herme, Alex, Alí, Ashanti, Martín, David, Javier y a todos los que estoy olvidando pero que espero que me disculpen. Gracias por su compañerismo y por hacer mi estancia en la Facultad la mejor de todas.

A mis amigos que no son ingenieros pero quienes fueron parte fundamental: Diana, Maribel, Pancho, Paulina y Patricio, muchísimas gracias.

A los técnicos del taller de manufactura, en especial a Cuitlahuac Paredes por ser un amigo, familia y maestro. A Carmen Aguilar por cuidar de mí y apoyarme desde mi primer día en la Facultad.

A los profesores que me hicieron convertirme en ingeniera, a aquellos que tenían un férreo compromiso de formar los mejores profesionistas de México y que transmitían a cabalidad su pasión por la ingeniería.

A los profesores que se volvieron amigos: muchas gracias Rogrer, muchas gracias Paco.

Al Dr. Adrián Espinosa por creer en mí para llevar a buen término este trabajo.

Finalmente, al pueblo de México que con sus impuestos permitió que concluyera una carrera profesional. Espero que un día todo mexicano tenga la misma oportunidad de estudiar que yo tuve.

Índice

Prefacio	1
Introducción	2
Capítulo 1: Los ensayos mecánicos didácticos	3
• 1.1 Importancia histórica de los ensayos mecánicos	3
• 1.2 Los ensayos didácticos	10
• 1.3 Planteamiento del problema	11
• 1.4 Bancos para pruebas didácticas	11
Capítulo 2: Propuesta de solución para un banco de ensayos mecánicos didácticos	14
• 2.1 Identificación de necesidades	14
• 2.2 Procedimiento para realizar ensayos didácticos de torsión y flexión	15
• 2.3 Conceptos de solución	20
Capítulo 3: Diseño de detalle	25
• 3.1 Sistema de sujeción y probeta	25
• 3.2 Sistema de aplicación de la carga	41
• 3.3 Sistema de adquisición e interpretación de datos	48
• 3.4 Configuraciones finales del banco	53
Capítulo 4: Fabricación	57
• 4.1 Consideraciones de la manufactura	57
• 4.2 Hojas de los procesos de corte	64
• 4.3 Procesos de soldadura	70
• 4.4 Ensamble	70
• 4.5 Conexión del actuador y el instrumental	74
Capítulo 5: Diseño de las pruebas de validación	75
• 5.1 Caracterización y calibración de instrumentos	75
• 5.2 Caracterización de la configuración de torsión	76
• 5.3 Caracterización de la configuración de flexión	79
• 5.4 Diseño de la rutina de calibración	80
Conclusiones	82
Fuentes consultadas	83
Imágenes	84
Anexos	

Prefacio

Antecedentes

En el año 2012, se llevó a cabo la revisión del Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. Durante esta revisión se encontró que los alumnos presentaban dificultades de aprendizaje para comprender los conceptos de esfuerzo y deformación cuando un cuerpo de encuentra sometido a solicitaciones. Los conceptos son estudiados en la asignatura de Mecánica de Sólidos. El objetivo de conocimiento de la asignatura es el siguiente: “El alumno comprenderá los conceptos básicos, para la solución de problemas de mecánica de materiales y desarrollará las habilidades para modelar, sintetizar y resolver problemas de mecánica de materiales”. Es evidente la importancia de la asignatura, ya que es la base para la comprensión del comportamiento mecánico de los materiales y para facilitar la asimilación de conocimientos posteriores en el tema. Por lo anterior, se propuso la creación de un laboratorio para la asignatura de Mecánica de Sólidos que facilitará la visualización de los fenómenos analizados previamente en la teoría.

Motivación

El laboratorio de Mecánica de Sólidos requiere de un equipamiento acorde a sus necesidades. La motivación del presente trabajo es proporcionar al Laboratorio de Mecánica de Sólidos un equipo para que los alumnos realicen ensayos didácticos de esfuerzos a torsión y flexión.

Esta tesis es resultado del proyecto PE101311 “Mejora de la enseñanza en la materia de Mecánica de Sólidos y materias consecuentes” del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME).

Objetivo

Diseñar y plantear la manufactura de un banco para llevar a cabo ensayos didácticos de torsión y flexión.

Hipótesis

Es posible diseñar un banco reconfigurable para realizar ensayos didácticos de torsión y flexión.

Alcances

1. Diseño del banco de pruebas: emplear una metodología de diseño considerando los requisitos establecidos por el proyecto.
2. Fabricación: a partir de los planos de diseño, plantear las rutas de manufactura que permitan obtener los componentes que no puedan ser adquiridos de manera comercial necesarios para construir el banco.
3. Pruebas de funcionalidad: diseñar una metodología para comprobar la funcionalidad del dispositivo.

Introducción

El presente trabajo versa sobre el proceso de diseño y la propuesta de manufactura para obtener un banco de ensayos en el cual se lleven a cabo ensayos didácticos de torsión y flexión.

En el primer capítulo *Los ensayos mecánicos didácticos*, se realiza una revisión del desarrollo de los ensayos mecánicos a lo largo de la historia, su importancia y el papel que juegan en la ingeniería. Finalmente, se plantea el problema que busca ser solucionado por medio de esta tesis y se describen equipos didácticos similares existentes en el mercado.

En el segundo capítulo *Propuesta de solución para un banco de ensayos mecánicos didácticos*, se aborda el proceso de diseño conceptual desde la identificación de las necesidades, la revisión de los procedimientos para llevar a cabo los ensayos, hasta el planteamiento de los conceptos de solución. En este capítulo, el problema general se segmenta en otros aspectos puntuales para facilitar la solución.

Tercer capítulo *Diseño de detalle*, en este se presenta el diseño de cada uno de los sistemas planteados en el capítulo anterior. Finalmente se muestran los modelos sólidos realizados en un *software* de diseño.

En el cuarto capítulo *Fabricación*, se obtienen los planos de las piezas requeridas a partir del modelo sólido del capítulo anterior. De las piezas se determinan los materiales a emplear y las presentaciones de éstos. Posteriormente se hace una descripción de los procesos de corte y de los de soldadura por medio de una hoja de fabricación para cada pieza. El capítulo finaliza con el ensamble de los elementos mecánicos y con la conexión tanto del actuador como de los instrumentos de medición.

El quinto y último capítulo *Diseño de las pruebas de validación*, se inicia con el planteamiento del procedimiento para caracterizar y calibrar los instrumentos de medición, posteriormente con las rutinas de caracterización para ambos ensayos y concluye con el diseño de la rutina de calibración de instrumentos.

Capítulo 1: *Los ensayos mecánicos didácticos*

El desarrollo tecnológico alcanzado por el hombre es en gran medida resultado del avance en el área de los materiales. Sin embargo, para entender los materiales es necesario conocer sus propiedades mecánicas. De acuerdo a Tweeddale, las propiedades mecánicas se definen como la capacidad para transmitir, sostener o soportar cargas aplicadas mecánicamente, sin que se produzca deformación incontrolada o rotura inesperada. [1]

Así, a lo largo de la historia se han aplicado procedimientos que han permitido conocer dichas propiedades.

1.1 Importancia histórica de los ensayos mecánicos

Breve historia de los ensayos mecánicos

Se sabe que tanto egipcios como griegos, contaban con reglas empíricas basadas en la observación que les permitían conocer la resistencia de los materiales que empleaban en la construcción. De los romanos se han encontrado registros referentes a la arquitectura que también contienen indicios sobre la resistencia de diversas clases de piedras. La mayoría del conocimiento legado por las culturas clásicas en cuanto a ingeniería estructural y resistencia de materiales se perdió durante la Edad Media, y sólo hasta el Renacimiento se recuperó parcialmente. El primer registro existente de un experimento para conocer la resistencia de un material, pertenece a Leonardo da Vinci quien llevó a cabo una prueba de tracción a alambres de diferentes longitudes para determinar qué longitud soportaba mayor carga. El bosquejo que registra este experimento se puede apreciar en la Figura 1.1.

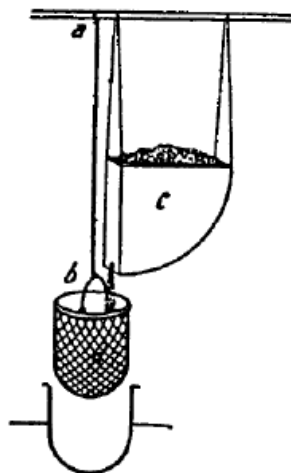


Figura 1.1. Diagrama del experimento realizado por Leonardo da Vinci

A pesar de que Leonardo fue pionero en las pruebas de resistencia mecánica, Galileo Galilei fue el primero en establecer en su libro *Dos nuevas ciencias*, una metodología aplicable a varios materiales, y fue precisamente esa metodología la que permite establecer con ella el comienzo del estudio de la resistencia de materiales.

Galileo realizó observaciones sobre la fragilidad de los materiales. De acuerdo con su teoría, cuanto mayor es la longitud de una columna u obelisco de piedra, éstos eran más susceptibles a fallar debido a su propio peso. Para comprobar dicha teoría desarrolló un ensayo de tracción simple en el cuál los especímenes eran columnas de diversas longitudes y espesores a las cuáles les aplicaba carga por medio de una canasta con arena. Concluyó que la resistencia de un cuerpo sometido a las sollicitaciones uniaxiales se debía a la sección transversal del cuerpo y no a su longitud. A esta resistencia la llamó: “absoluta resistencia a la fractura”. [2]

Asimismo, llevó a cabo el mismo experimento utilizando como especímenes alambres de cobre y u obtuvo la misma conclusión. Posteriormente realizó otro experimento, esta vez para elementos en *cantilever*, y concluyó que a mayor distancia entre la sujeción del espécimen y el sitio de aplicación de la carga, aumentaba la posibilidad de ruptura del elemento.

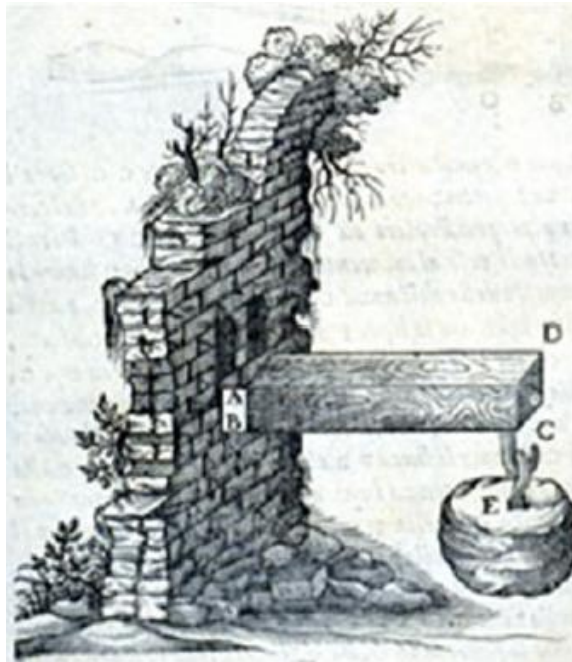


Figura 1.2. Representación del ensayo de viga en voladizo practicado por Galileo

Durante el siglo XVII, varios científicos hicieron importantes descubrimientos y aportaciones en el campo de la resistencia de materiales, uno de ellos fue Robert Hook quién descubrió la llamada “Ley de Hooke”, en la cual se relaciona la deformación de un material con un Módulo de Elasticidad o Módulo de Hooke, propio de cada material.

En el siglo XVIII, el matemático Leonard Euler predijo que una columna sometida a compresión presentaría pandeo, lo anterior fue resultado de un modelo teórico y fue expuesto años antes del desarrollo de modelos físicos que permitieron comprobarlo. A finales del siglo XVIII y principios del XIX, el físico inglés Thomas Young realizó estudios sobre la rigidez de los materiales. Después de su muerte, al módulo que indica esta propiedad mecánica se le llamó Módulo de Young.

A la par de las investigaciones realizadas por Young, el ingeniero italiano Carlo Alberto Castigliano presentó dos teoremas relacionados con estructuras. El primero de ellos relaciona las fuerzas a las que está sometida una estructura elástica a partir de su deformación y el segundo determina el desplazamiento de una estructura elástica debido a las fuerzas que en ella actúan. A estos teoremas se les conoce como Teoremas de Castigliano. Las investigaciones llevadas a cabo por Young y Castigliano prácticamente alcanzan las mismas conclusiones.

Durante la primera mitad del siglo XIX, Siméon Poisson, estudió la relación existente entre la deformación transversal y la deformación axial de un cuerpo cuando está sometido a cargas axiales, a esta relación se le conoce como Módulo de Poisson. [2]

Contemporáneo de Poisson, Jean Barré de Saint-Venant, presentó el principio que lleva su nombre y plantea el siguiente argumento:

“Si la distribución de fuerzas que actúan en la porción de la superficie de un cuerpo es reemplazada por una diferente distribución de fuerzas que actúan en la misma porción del cuerpo, de tal forma que éstas generan los mismos efectos, entonces se puede referir a ellas como equivalentes, ya que sus efectos en zonas alejadas al punto de aplicación son esencialmente los mismos, en virtud de que dan lugar a las mismas fuerzas resultantes y a los mismos pares”. [3]

El principio de Saint-Venant permite simplificar el análisis de cuerpos sometidos a sollicitaciones reemplazando las cargas realmente aplicadas por otras causantes de los mismos efectos.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, James Clerk Maxwell, fue pionero en el estudio de la fotoelasticidad, permitiendo visualizar la distribución de esfuerzos en un cuerpo sometido a sollicitaciones como se puede apreciar en la Figura 1.3.



Figura 1.3. Visualización del campo de esfuerzos en un cuerpo por medio de la técnica de fotoelasticidad

Durante los siglos XVIII y XIX, los avances tecnológicos alentados por la Revolución Industrial demandaron a la ciencia de materiales la capacidad de medir las propiedades de estos. Para ello, los estudiosos de los materiales unificaron los conocimientos que habían alcanzado para llevarlos a la práctica, de allí el surgimiento de procedimientos medianamente estandarizados y de equipos especializados para llevar a cabo ensayos mecánicos. Entendiendo como ensayo una prueba con un procedimiento definido cuyos resultados se espera estén contenidos dentro de intervalos conocidos y se lleva a cabo con la finalidad de conocer una o más propiedades del material en cuestión. [4]

Los primeros equipos de ensayos mecánicos fueron desarrollados en Inglaterra (cuna de la Revolución Industrial) y de allí se diseminaron al resto de Europa y a América.

Una de las primeras compañías fue Zwick Roell® que en 1836 desarrolló equipos para llevar a cabo ensayos de tracción. [5]

La demanda del sector siderúrgico por conocer los materiales que fabricaba propició la creación de la primera máquina universal de ensayos construida en Philadelphia, E.U., por el ingeniero Tinius Olsen, en 1880, el equipo permitía realizar ensayos de tracción y compresión con una capacidad máxima de carga de 40,000 [lbf]. El primer ensayo de tracción en una máquina universal se llevó a cabo en láminas para fabricar calderas empleadas en las máquinas de vapor. [6]

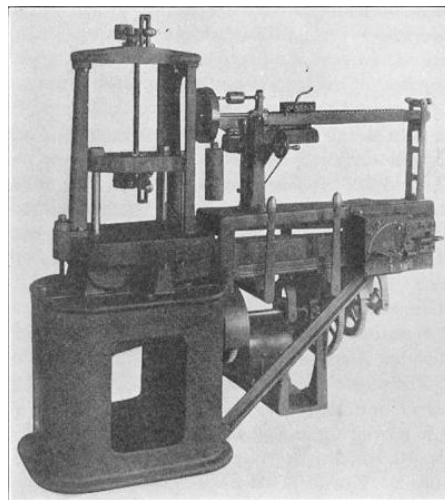


Figura 1.4. Primera máquina universal de ensayos. Olsen. 1880

El éxito de la máquina universal propició el desarrollo de nuevos equipos para llevar a cabo ensayos especializados como los de torsión, flexión, dureza e impacto.

Uno de ellos fue la máquina de ensayos en alambres fabricada por W. & T. Avery Ltd. England hoy Avery Weigh-Tronix part of Illinois Tool Works Inc. En 1899, esta máquina realizaba pruebas de tracción, compresión, torsión y flexión.



Figura 1.5. Máquina de ensayos para alambres. W. & T. Avery Ltd. 1899

Durante poco más de un siglo, las máquinas de ensayos mecánicos únicamente variaron en la capacidad de carga. Las técnicas de medición y los sistemas de aplicación de la fuerza permanecieron prácticamente inalterados.



Figura 1.6. Extensómetros empleados en ensayos mecánicos

La máquina universal de ensayos es el ejemplo más ilustrativo de los pocos cambios sufridos en los dispositivos para ensayos mecánicos. Esto se puede apreciar en las figuras 1.7 y 1.8 en las que la disposición de los elementos es prácticamente la misma y lo único que varía es la carga máxima. [7]

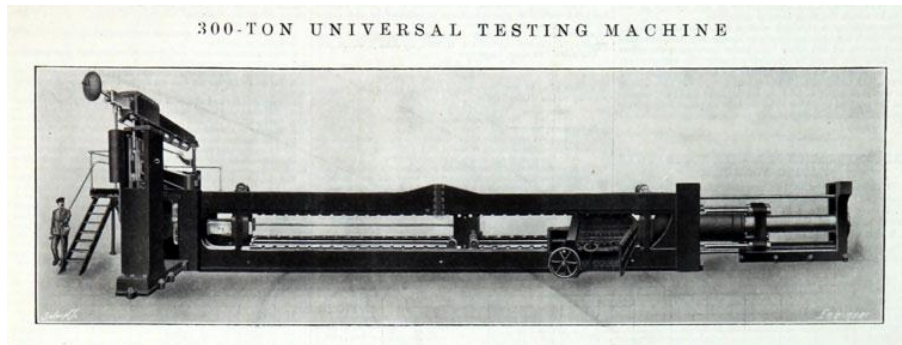


Figura 1.7. Máquina universal de ensayos de 300 toneladas. Avery. 1909.

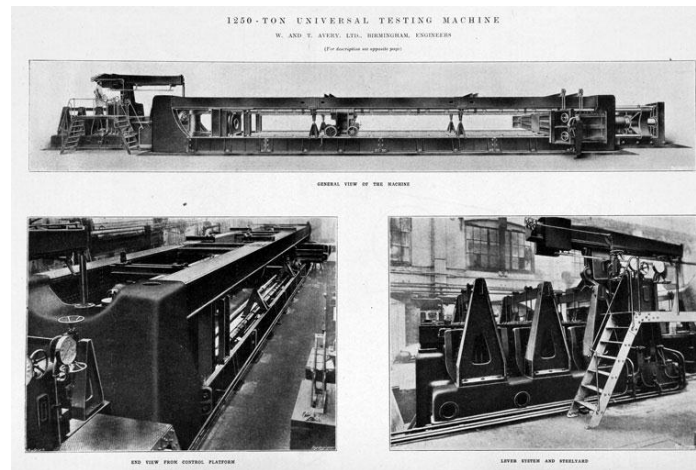


Figura 1.8. Máquina Universal de ensayos de 1250 toneladas. Avery. 1926

Por otra parte, a finales del siglo XIX y principios del XX, el ingeniero alemán Otto Mohr, estableció un criterio para predecir el efecto de un determinado estado de esfuerzo plano en un material frágil, cuando los resultados de varios tipos de pruebas están disponibles para el material. Desarrolló un método basado en consideraciones geométricas simples que no requiere el uso de ecuaciones especializadas para resolver problemas de esfuerzos planos conocido como *Círculo de Mohr*.

La revolución en los ensayos mecánicos llegó con la implementación y aplicación de la electrónica a éstos.

La compañía Instron®, surgió en el año de 1946 en Boston, Massachusetts, por la necesidad de crear un equipo para llevar ensayos mecánicos en seda. Fue la primera compañía en implementar la nueva tecnología de galgas extensiométricas, celdas de carga y transistores para determinar las deformaciones y las cargas. En ese momento, esa tecnología había sido recientemente patentada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT).

La capacidad de adquirir datos de esfuerzos y deformaciones en menor tiempo permitió el desarrollo de ensayos dinámicos. Actualmente los equipos de ensayos mecánicos no se pueden pensar sin el uso de la electrónica.



Figura 1.9. Panel de control del primer equipo de ensayos instrumentado con electrónica.

Los ensayos mecánicos en la actualidad

Hoy en día, un ensayo mecánico se lleva a cabo con alguna de las siguientes motivaciones:

1. Control de calidad. Se enfoca a verificar las propiedades tanto de materia prima como de productos obtenidos dentro de la industria.
2. Investigación en materiales. Los propósitos centrales de este rubro son:
 - a) alcanzar un nuevo entendimiento de los materiales conocidos
 - b) determinar las propiedades de los nuevos materiales
 - c) elaborar normas de calidad o procedimientos de ensayos
3. Ensayos científicos: archivar de manera fiable y ordenada información útil referente a las propiedades de los materiales con la intención de aportar datos para el análisis exacto del comportamiento de estructuras y volver más eficiente el proceso de diseño. [4]

Un ensayo mecánico es una prueba con un procedimiento definido cuyos resultados se espera estén contenidos dentro de intervalos conocidos. Esto último, se refiere a que el resultado obtenido se debe de asemejar a algún otro reportado en la literatura, si es que ese material ha sido sometido a un ensayo con anterioridad. Esto no se aplica a nuevos materiales.

Los ensayos mecánicos se clasifican en “destructivos” y “no destructivos”. En los primeros, el espécimen del material en cuestión sufre un cambio permanente en su estructura, mientras que en el segundo, el cambio presentado es reversible una vez que se retiran las condiciones que lo provocan. El tipo de ensayo que se aplica depende de la información que se busca obtener con éste.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de un material es menester ya que definen la viabilidad de éste en una aplicación. Los equipos en los cuales se llevan a cabo los ensayos mecánicos son especializados y aunque signifiquen una fuerte inversión, son indispensables en las

áreas de la ingeniería relacionadas con materiales, por ello, las máquinas de ensayos tienen una amplia presencia en las industrias de procesos primarios y secundarios de manufactura, centros de investigación en materiales y organismos certificadores, entre otros.



Figura 1.10. Ejemplo de equipo para llevar a cabo ensayos de torsión empleado en la industria. Instron[®]. 2013.

1.2 Los ensayos didácticos

En atención a la relevancia y aplicación que tienen los ensayos mecánicos, es importante que los ingenieros que se desempeñen en la industria manufacturera, en control de calidad o en centros de investigación, se relacionen con ellos ya que es una de sus herramientas cotidianas.

Por lo anterior, es importante que el estudiante de ingeniería se familiarice con los equipos de ensayos mecánicos. A pesar de la importancia de éstos, el principal problema que han enfrentado las instituciones educativas es su alto costo. Para solucionar esta problemática, en las últimas tres décadas se ha optado por emplear equipos didácticos que si bien no buscan caracterizar materiales, si le permiten al estudiante entender los principios de operación, procedimientos de prueba, aplicaciones y alcances de las máquinas de ensayos.

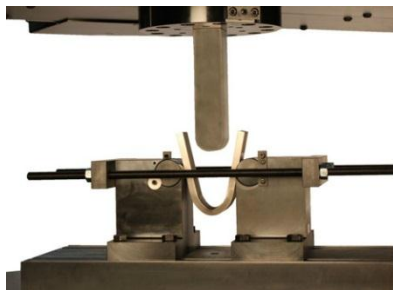


Figura 1.11. Detalle de equipo industrial para realizar ensayos de flexión en tres puntos. Instron. 2013.



Figura 1.12. Equipo didáctico para realizar ensayos de flexión en tres puntos. Gunt. 2013.

Como se puede apreciar en las Figuras 1.11 y 1.12, existen diferencias entre los equipos industriales y didácticos aunque los principios que los rigen y el funcionamiento de los mismos en esencia son los mismos.

1.3 Planteamiento del problema

Como ya se mencionó en los antecedentes, el problema se centra en asegurar que los alumnos comprendan los conceptos básicos asociados a la asignatura de Mecánica de Sólidos. Para ello, en el proyecto PAPIME PE101311, se plantea el diseño y la construcción de un banco de ensayos mecánicos. El propósito del presente trabajo ha consistido en crear un equipo didáctico para realizar prácticas relacionadas con esfuerzos a torsión, flexión y combinados.

1.4 Bancos para pruebas didácticas

Se efectuó una revisión de los equipos didácticos para llevar a cabo ensayos de torsión y flexión que actualmente se fabrican y, a partir de la revisión, tener un panorama de las características del banco didáctico.

Los equipos didácticos que actualmente se encuentran en el mercado presentan las siguientes características.

a) Ensayo de torsión:

- Tipo de ensayo: ensayo simple de torsión. No destructivo.
- Probetas: existen en acero, cobre, latón y aluminio, tanto sólido como hueco de sección transversal circular y cuadrada. Las siguientes tablas muestran las características de cada probeta.

Probetas sólidas de sección transversal circular		
Material	Intervalo de diámetros [mm]	Intervalo de longitudes [mm]
Aluminio	10	50-640
Acero	5-12	50-340
Cobre	10	50-340
Latón	6-10	50-695

Probetas huecas de sección transversal circular			
Material	Diámetro exterior [mm]	Diámetro interior [mm]	Longitud [mm]
Latón	6	5	695

Probeta hueca de sección transversal cuadrada			
Material	Longitud lado exterior [mm]	Espesor de pared [mm]	Longitud [mm]
Latón	6	1	695

- Sujeción: la sujeción se lleva a cabo por sujetadores de mordazas ajustables, esto permite emplear probetas de diversos diámetros. La distancia entre los sujetadores es variable, ya que estos se pueden deslizar sobre el bastidor.
- Aplicación de la carga: la aplicación de la carga se hace por medio de una polea de 110 [mm] de radio, acoplada a uno de los sujetadores, la cual actúa como un brazo de palanca, a ésta se le colocan masas que generan una fuerza que van desde 1 [N] hasta 15 [N].
- Medición: la medición del ángulo de giro se hace por medio de un goniómetro acoplado a la polea, éste tiene un rango de operación de -90° hasta 90° con una resolución de 1° .
- Bastidor: el bastidor que le da soporte a cada uno de los sistemas mencionados anteriormente. En su mayoría están fabricados de perfiles estructurales de aluminio, teniendo las siguientes dimensiones 1000x250x200 [mm]. El peso de estos equipos oscila entre los 15 y 18 [Kg].



Figura 1.13. Banco didáctico de Gunt® para ensayos de torsión

b) Ensayo de flexión:

- Del tipo de ensayo no destructivo, las configuraciones que se pueden llevar a cabo son un apoyo simple y empotramiento, dos apoyos simples, doble empotramiento y viga en voladizo.
- Probetas: al igual que en el ensayo de torsión, las hay de aluminio, cobre, latón y acero. A continuación se describen sus características.

Probetas sólidas de sección transversal rectangular			
Material	Intervalo de espesor [mm]	Intervalo de altura [mm]	Intervalo de longitudes [mm]
Aluminio	6-30	4-10	210-1000
Acero	6-30	3-20	210-1000
Cobre	10-30	3-10	210-510
Latón	3-30	3-10	210-1000

- Sujeción: se presentan apoyos simples y empotramientos.
- Aplicación de la carga: la carga se aplica por medio de masas que se sujetan a la probeta por medio de una arandela y la fuerza va desde 1 [N], hasta 80 [N].
- Medición: la deformación se obtiene a partir de comparadores de carátula con un intervalo de operación entre 0 y 10[mm], con una resolución de 0.01 [mm].
- Bastidor: al igual que en el caso anterior, se emplean perfiles estructurales como bastidor. El peso de todo el dispositivo oscila entre los 18 y 37 [kg], y su dimensiones van desde 1000x250x200, hasta 1400x400x630[mm]. [8]

Capítulo 2: *Propuesta de solución para un banco de ensayos mecánicos didácticos*

En el primer apartado de este capítulo, se analizará el proceso general para realizar ensayos didácticos de torsión y flexión en un banco capaz de ser transportado al salón de clases. Con el conocimiento obtenido al final del primer capítulo, se abordó el diseño conceptual de la solución y, por último, se contrastaron los posibles diseños del sistema para generar una propuesta de solución.

2.1 Identificación de necesidades

Partiendo de los requerimientos planteados al final del capítulo anterior, se pueden identificar las necesidades puntuales de cada requerimiento y así plantear los criterios de solución que servirán más adelante, a su vez, para evaluar los diseños conceptuales.

1. Realizar un ensayo didáctico de torsión: para satisfacer este requerimiento es indispensable realizar una prueba para conocer las propiedades a torsión de un elemento dentro de intervalos definidos, de forma visible y medible.
2. Realizar un ensayo didáctico de flexión: para satisfacer este requerimiento es necesario realizar una prueba para conocer las propiedades a flexión de un elemento dentro de intervalos definidos, de forma visible y medible.
3. Sistema portátil: ara el último requerimiento el sistema debe ser móvil y fácil de transportar por una persona.

Traduciendo estas necesidades en criterios de evaluación, se puede decir que el diseño en la propuesta de solución debe cumplir con las siguientes propiedades.

- Realizar un ensayo de torsión sobre un elemento visible, al mismo tiempo medir y almacenar la información necesaria para conocer las características de la deformación de ese elemento.
- Realizar un ensayo de flexión sobre un elemento visible, de manera simultánea medir y almacenar la información necesaria para conocer las características de la deformación de ese elemento.
- El sistema debe ser capaz de realizar los dos tipos de ensayo.
- Para ser de fácil traslado por una persona, el banco no debe de exceder un peso de 25 kg, y debe de poder contenerse en una caja de las siguientes dimensiones 50 X 50 X 80 [cm], como se aprecia en la Figura 2.1. [9]

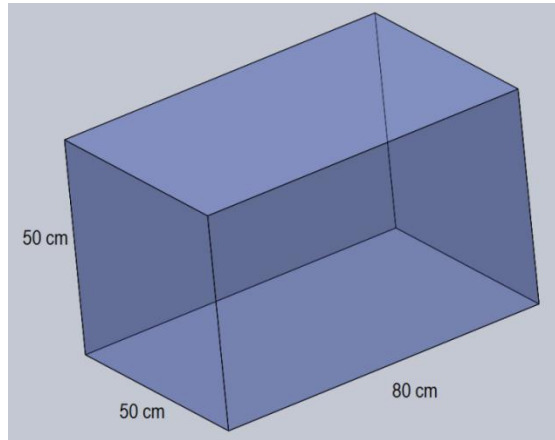


Figura 2.1. Volumen máximo para la geometría del banco didáctico de pruebas mecánicas

Con los criterios de evaluación del diseño es posible pasar al diseño conceptual, la primera etapa, atiende al procedimiento que llevará a cabo el sistema propuesto.

2.2 Procedimientos para realizar ensayos didácticos de torsión y flexión

A continuación, se describen los procedimientos para llevar a cabo los ensayos de torsión y de flexión con la finalidad de determinar los pasos que se deben seguir en el sistema diseñado para realizar estas funciones, también se busca determinar los sistemas en los cuales se divide el proceso de acuerdo a su funcionalidad.

- a) Selección de la probeta: se elige el elemento que se deformará de acuerdo al ensayo que se llevará a cabo.
- b) Obtención de las dimensiones de la probeta: se miden las dimensiones de la probeta en condiciones previas al ensayo.
- c) Preparación de los instrumentales y montura de la probeta:
 - Torsión: se emplean dos sujeciones, la probeta se sujeta de sus extremos de tal manera que éstas no deformen al espécimen
 - Flexión: la probeta descansa sobre dos mandriles cilíndricos para evitar la concentración de esfuerzos.
- d) Montar los instrumentos de medición y calibrarlos a cero: de acuerdo al ensayo se colocan los instrumentos que medirán y almacenarán los datos de la prueba.
- e) Acoplar el sistema de aplicación de la carga: se conecta el elemento que aplicará la carga necesaria para llevar a cabo el ensayo.
- f) Realización del ensayo:

- Torsión: una de las sujeciones permanece estática mientras que la otra realiza un desplazamiento angular, esto deformará el elemento de forma proporcional a la carga aplicada.
- Flexión: un tercer mandril colocado a la mitad de la longitud de la probeta, realiza un desplazamiento lineal que produce deformación sobre la probeta.

Toda vez que se pretende realizar un ensayo didáctico, no se realizará una deformación plástica en las probetas. La carga aplicada se calculará para mantenerse constante y por debajo del límite de cedencia del material, en ambos ensayos, los instrumentos de medición registran variables asociadas a la carga y al desplazamiento. Éstas son obtenidas, interpretadas y entregadas al usuario. A partir de los procedimientos descritos se determinó un diagrama general de procesos para la operación del banco.

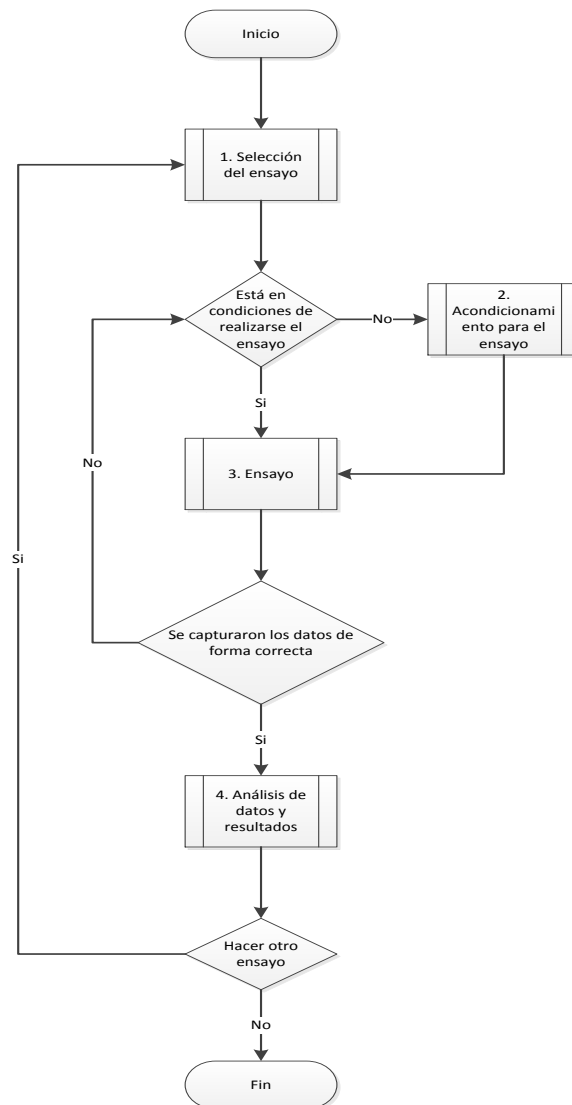


Figura 2.2. Diagrama general de procesos para la operación del banco de pruebas

El diagrama general permitió identificar las subrutinas del funcionamiento del banco. Para cada una de ellas se elaboró un diagrama de proceso. Éstos se presentan a continuación.

1. Selección del ensayo

Implica la selección de la probeta, medición y la determinación de la viabilidad para el ensayo de ésta.

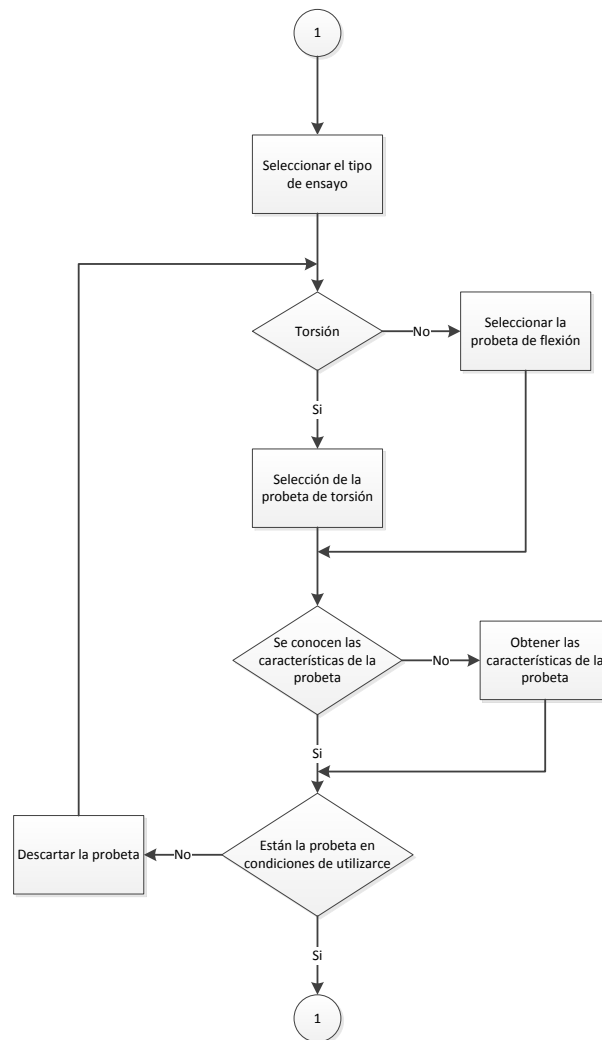


Figura 2.3. Diagrama de la subrutina "Selección del tipo de ensayo"

2. Acondicionamiento para el ensayo

Un vez definido el ensayo y elegida la probeta, pudiera presentarse que el banco no estuviese acondicionado para llevar a cabo dicho ensayo, por ejemplo, que tuviese montada la configuración de torsión cuando se desea realizar un ensayo de flexión. Con la "configuración" se hace mención a la correcta disposición de los elementos del banco para que éste realice el ensayo deseado.

En este caso, la subrutina a seguir se ejemplifica en el siguiente diagrama.

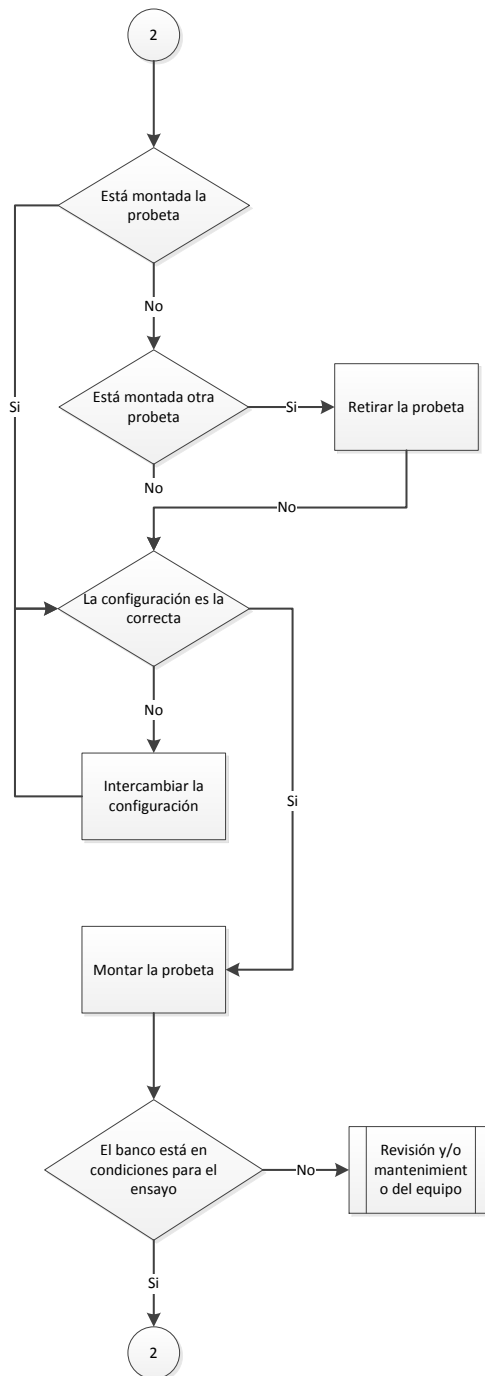


Figura 2.4. Diagrama de la subrutina "Acondicionamiento"

3. Ensayo

Una vez que el banco está en condiciones de realizar el ensayo, se hace presente esta subrutina. Con la prueba concluida es necesario interpretar los datos obtenidos para encontrar las variables que motivaron la realización del ensayo.

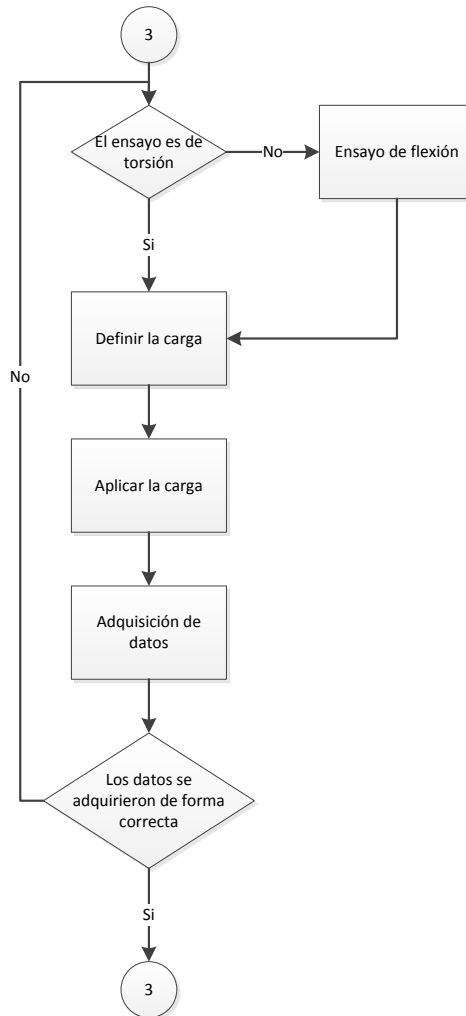


Figura 2.5. Diagrama del subproceso "Ensayo"

Por último, se propuso una separación de los sistemas constitutivos del proceso de acuerdo a su funcionalidad:

- Probeta y sujeción: es la parte que integra la estructura de la bancada y la sujeción sobre la probeta, también incluye a la probeta misma.
- Sistema de aplicación de la carga: es el responsable de producir y transmitir la carga que se aplicará al sistema de probeta y sujeción.
- Sistema de medición e interpretación de datos: se compone de los sensores, transductores, etapa de adquisición de datos, *software* de almacenamiento e interpretación de resultados.

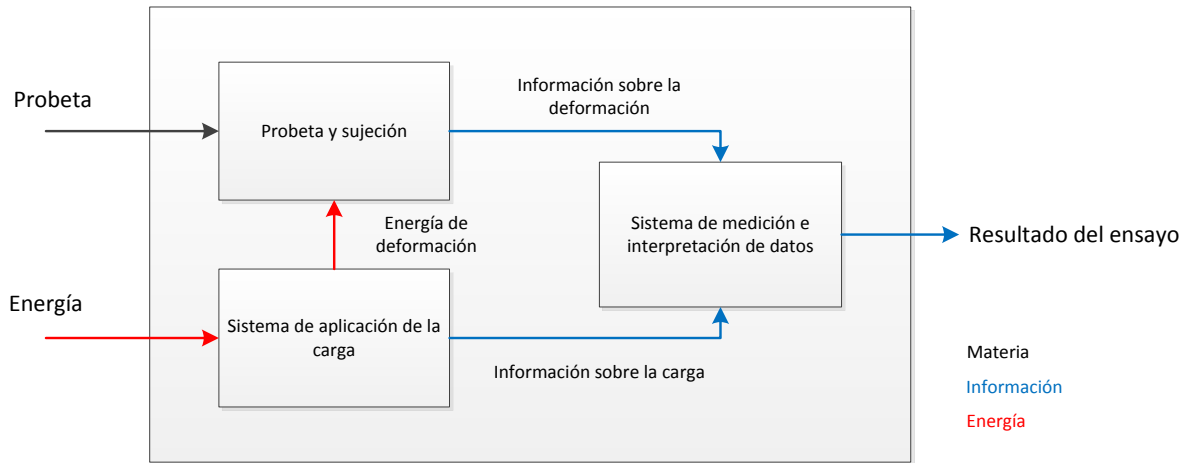


Figura 2.6. Interacción entre los sistemas que componen la solución

2.3 conceptos de solución

Para proponer una serie de conceptos de solución es necesario atender a los criterios de diseño, a lo aprendido en máquinas similares y a la interacción entre los sistemas, esta última se puede apreciar en la Figura 2.6, a continuación se presentan algunos diagramas que permiten solucionar el sistema.

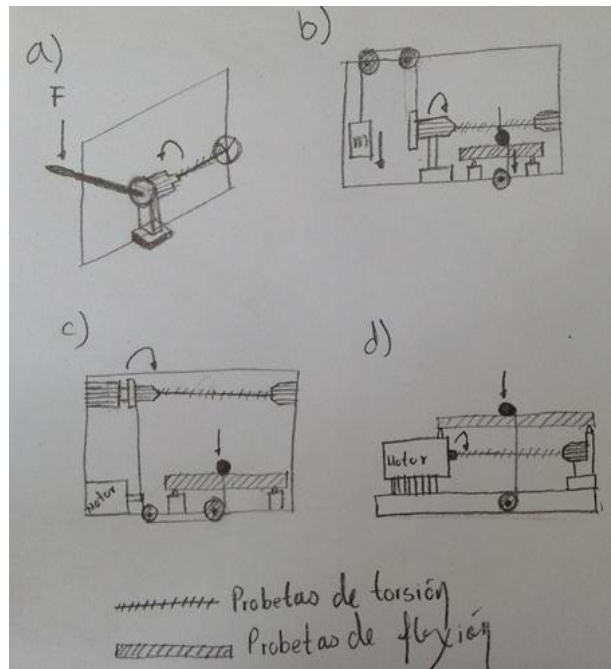


Figura 2.7. Conceptos de solución

En la propuesta a) solamente se contempla el ensayo de torsión. La probeta se sujeta por medio de un *chuck* de tres mordazas por un extremo y un broquero por el otro. El *chuck* se encuentra fijo al bastidor mientras que el broquero está sostenido por un soporte. El broquero se acopla de su

parte trasera a un plato con una ranura. La ranura empata con el macho de un torquímetro. De esta manera se le aplica la carga a la probeta y se conoce por medio del indicador de carátula del torquímetro. Esta idea es poco viable, porque la aplicación de la carga depende completamente de las capacidades físicas del usuario y, por lo tanto, no hay un control de la velocidad de aplicación. Las sujeciones aportan demasiado peso al equipo y éste se restringe al ensayo de torsión.

En la Figura 2.7 b), se presenta la propuesta de un banco que realice ambos ensayos. En el caso del ensayo de torsión, se conserva la idea de la propuesta anterior pero se reemplaza el *chuck* por otro broquero. En el claro existente entre la parte inferior del bastidor y los dos broqueros se encuentran los soportes para el ensayo de flexión. La carga se genera por medio de masas acopladas a un cable de acero que a su vez transmiten la fuerza por medio de poleas.

La propuesta del inciso c), es similar a la anterior. En la parte superior del banco se encuentran los herramientas de torsión y en la inferior los de flexión. La carga se genera por medio de un motor eléctrico en lugar de masas. Esta configuración se vuelve poco práctica porque el peso de los herramientas se concentra en la parte superior y vuelve inestable al banco. A diferencia de la propuesta del párrafo anterior, esta únicamente emplea dos poleas para transmitir la carga.

El inciso d), de la Figura 2.7, presenta un diseño que cuenta con un motor eléctrico unido por medio de un cople a la probeta de torsión, mientras que del otro lado un soporte sostiene un broquero que fija el otro extremo de la probeta. Sobre el soporte y el motor, descansan los herramientas de flexión. La carga a esta configuración se transmite por medio de poleas. La problemática de esta propuesta radica en la dificultad de retirar el cople de torsión para dirigir la carga hacia las poleas de flexión.

Propuesta de solución

Se analizaron las diferentes alternativas y en consecuencia se propuso la siguiente solución:

- Un banco de pruebas mecánicas reconfigurable, el cual sólo requiere la adición del componente, el cual conecta la probeta al sistema de aplicación de la carga para modificar el tipo de ensayo
- Un marco simple pero cerrado, para sujetar las probetas
- Una sujeción con no más de un elemento hacia el marco
- En el caso del sistema de aplicación de la carga, un sistema de poleas para la transmisión y para la generación el uso de un motor eléctrico que se pueda intercambiar por un sistema de pesas.
- Para la medición de los datos se utilizan sensores electrónicos y transductores que envíen la información a una tarjeta de adquisición de datos (“DAQ” por sus siglas en inglés), esta enviará la información a una computadora personal (PC), donde un *software* interpretará, almacenará y mostrará los datos.

Las siguientes figuras muestran los bocetos de los conceptos finales para el banco reconfigurable, así como un diagrama con el flujo de la información generada durante los ensayos y su tratamiento.

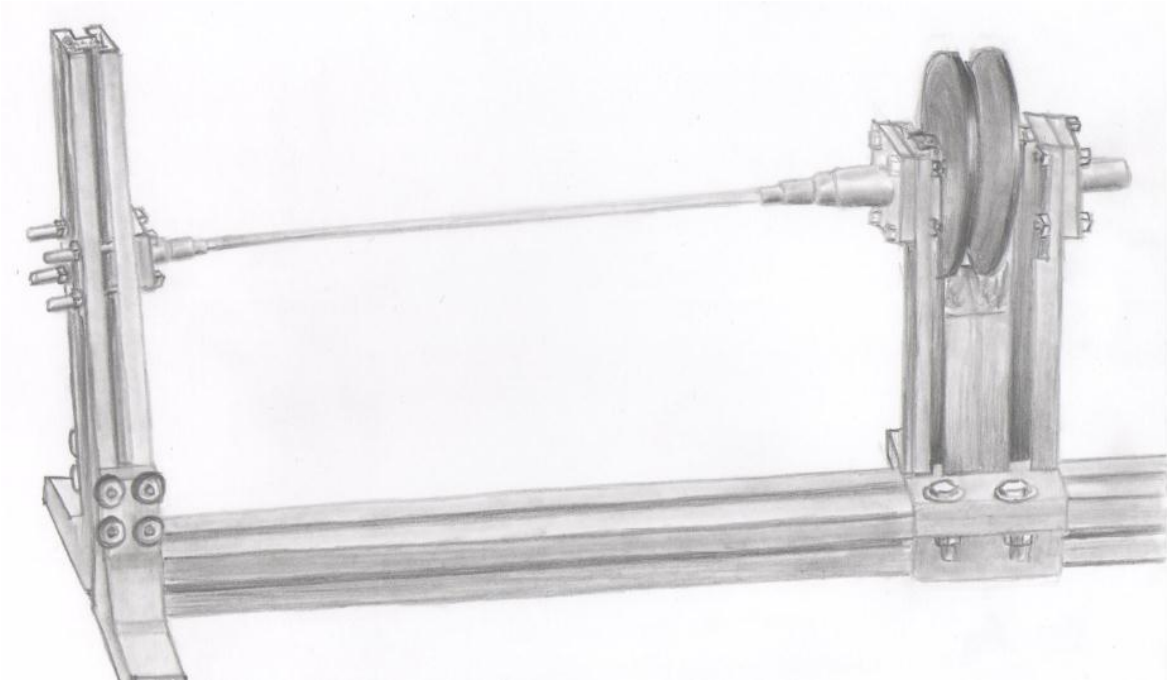


Figura 2.8. Boceto de la solución para el ensayo de torsión

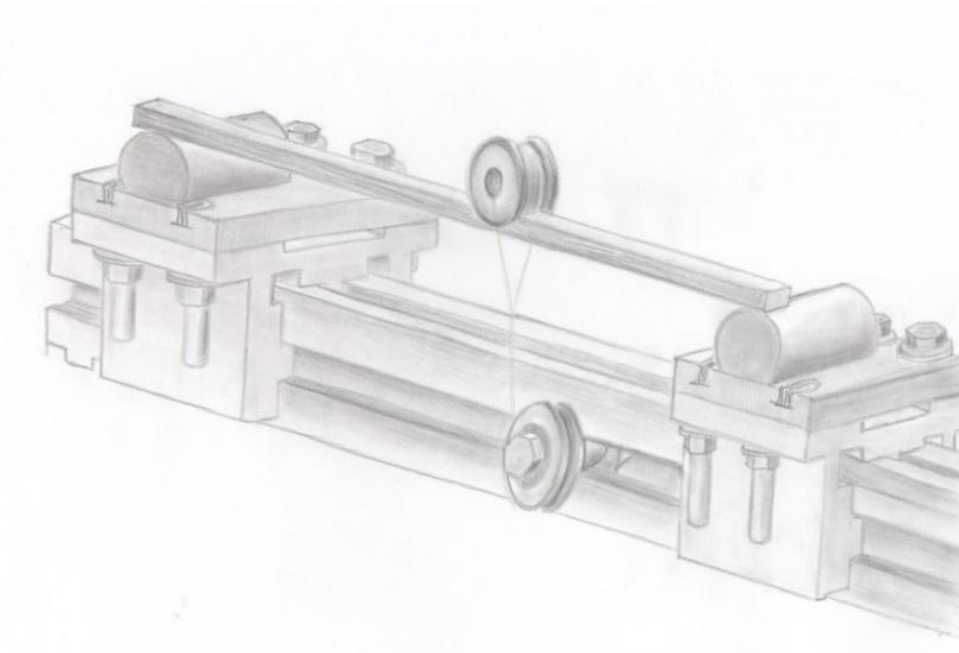


Figura 2.9. Boceto de la solución para el ensayo de flexión

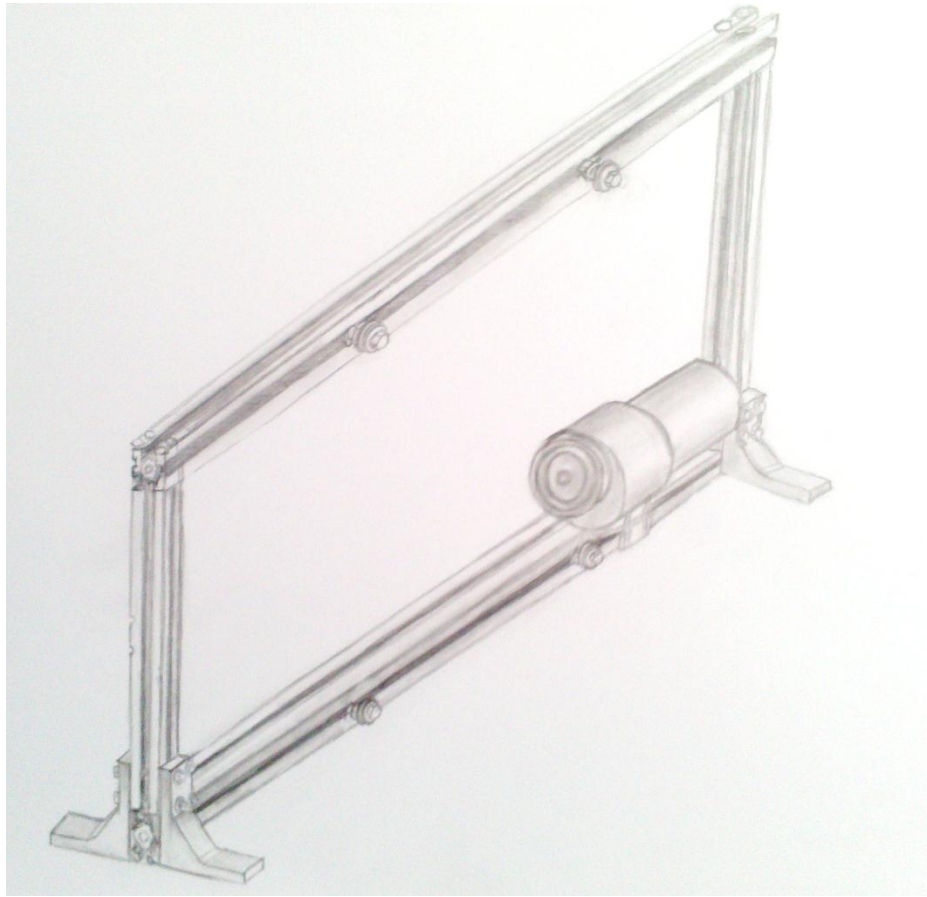


Figura 2.10. Boceto de la solución para el marco, generación y aplicación de la carga

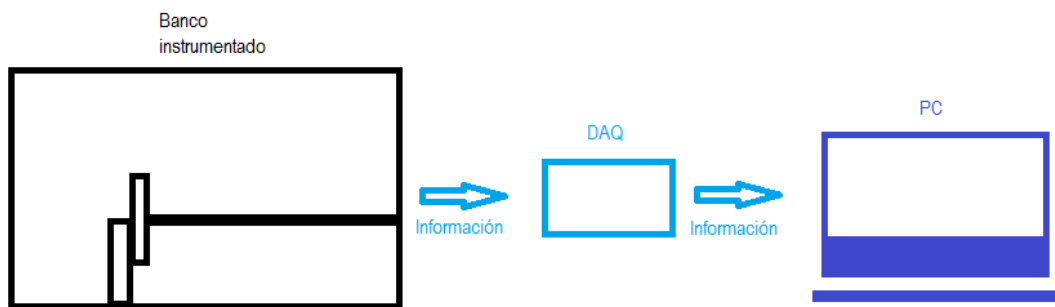


Figura 2.41. Diseño del flujo de información

El diseño del banco permite la realización de dos tipos de ensayos mecánicos en el mismo equipo, sin necesidad de emplear aditamentos ajenos a éste para cambiar el acomodo de los herramientas. El motor y su controlador permiten un variado rango de cargas a aplicar, asegurando que éstas no deformen plásticamente las probetas. El sistema de instrumentación, la

DAQ y el tratamiento de la información en una computadora, arrojan información de utilidad al usuario como gráficas esfuerzo contra deformación, en un tiempo más breve que los bancos referidos en el primer capítulo. Las dimensiones y el peso del equipo permiten trasladarlo con facilidad por un docente. Por lo anterior, el banco aquí presentado es una opción viable que cumple con los requerimientos de diseño y, además, que no se encuentra entre los equipos existentes comercialmente.

Capítulo 3: *Diseño de detalle*

En este capítulo se presenta la etapa de *Diseño de detalle*, la cual implica la selección y justificación de los elementos finales para emplearse en el banco de ensayos. Se inicia con la probeta y su sistema de sujeción

3.1 Sistema de sujeción y probeta

Características de diseño de la probeta

Las características de las probetas para el ensayo de torsión son las siguientes:

- Sección transversal constante y similar a las medidas de las barras existentes en el mercado.
- Intervalo del ángulo de giro entre 1° y 20° , para un par máximo de 5 [Nm].
- Máximo esfuerzo de torsión (T_{\max}), al menos 20% inferior al límite de proporcionalidad (σ_p), del material.
- Longitud de la probeta entre 250 y 300 [mm], para cumplir con los requerimientos de las dimensiones del banco.

Las características de las probetas del ensayo de flexión son las siguientes:

- Sección transversal constante y similar a las medidas de las barras existentes en el mercado.
- Intervalo de deflexión entre 1 y 15 [mm], para una fuerza máxima de 10 [N].
- Esfuerzo máximo por lo menos del 20%, por debajo del valor del límite de proporcionalidad del material.
- Longitud entre 300 y 400 [mm].

La diferencia entre las longitudes de los dos tipos de probetas, se debe al espacio que ocupan los herramientas de un ensayo cuando no se ocupan.

Diseño de la probeta de torsión

Las probetas se idealizaron como barras cilíndricas sólidas sometidas a torsión pura en sus extremos y se despreció el efecto del pandeo debido al peso. Para el caso de la probeta de torsión, se seleccionó esta sección transversal, dado que es la geometría más empleada en elementos sometidos a este tipo de solicitaciones como se puede apreciar en los ejes cardan. Debido a que el ángulo de giro depende de la longitud, se seleccionó la máxima (300 [mm]). Para determinar los materiales y los diámetros de las probetas, se graficaron éstos contra los ángulos de giro para distintos materiales y pares (1, 2, 3, 4 y 5 [Nm]). Se seleccionaron aquellos que se encontraran dentro de las características establecidas.

A continuación, se muestra el procedimiento empleado en el diseño de las probetas y se ilustra, por medio del siguiente caso, en el cual se determinó el ángulo de giro (Θ) y el máximo esfuerzo de torsión (T_{\max}), para una barra cilíndrica de aluminio 3003 (Anexo 1 a) de $D=6.4$ [mm], $L=30$ [mm], $G=30$ [GPa], $\sigma_p=150$ [MPa] y $T= 5$ [Nm]. [10]

De acuerdo con la teoría de la resistencia de los materiales -una barra cilíndrica sólida sometida a torsión pura-, se puede visualizar de la siguiente manera:

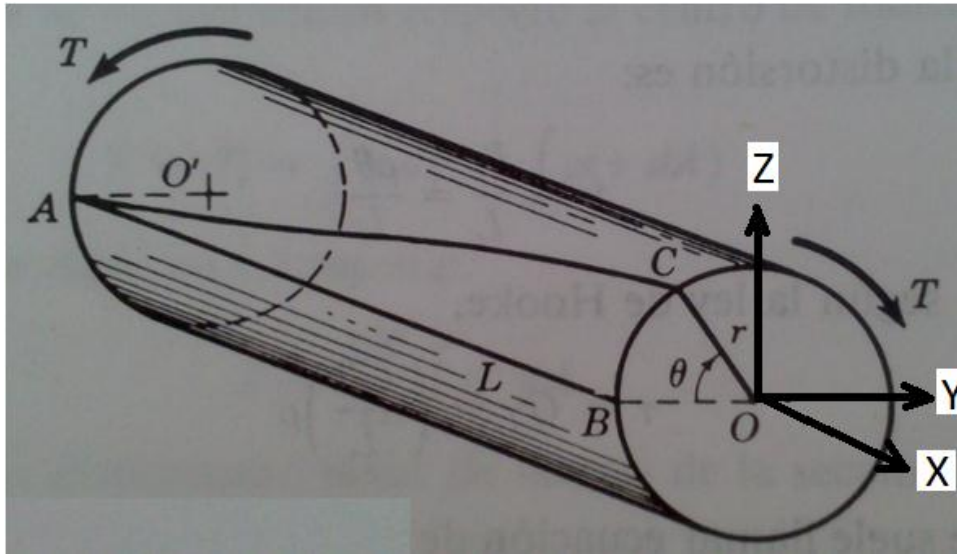


Figura 3.1. Visualización de la deformación de una barra cilíndrica sometida a un par T

“AB” es una generatriz cualquiera en la superficie del cilindro. Inicialmente recta y paralela al eje “X”. Al momento de aplicar los pares “T”, de igual magnitud y sentido contrario que actúan en los extremos de la barra, ésta sufre una deformación que se asemeja a una hélice representada por la línea “AC”, simultaneo al giro Θ , que realiza el punto B respecto de la sección A.

La ecuación que relaciona el ángulo de giro de la barra cilíndrica con el par aplicado es la siguiente:

$$\theta = \frac{TL}{JG} \quad (3.1)$$

Dónde:

Θ : giro [rad]

T: magnitud del par [Nm]

L: longitud del eje [m]

J: momento polar de inercia de la sección transversal [m⁴]

G: módulo de rigidez del material [N/m²]

El esfuerzo máximo de torsión se puede obtener por medio de la siguiente Ecuación:

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} \quad (3.2)$$

T_{\max} : máximo esfuerzo de torsión [N/m²]

r: radio de la sección transversal [m]

Para la geometría indicada:

$$J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (3.3)$$

Ya que $D=2r$, entonces:

$$J = \frac{\pi r^4}{2} \quad (3.4)$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación 3.4:

$$J = \frac{\pi(3.2 \times 10^{-3} \text{ [m]})^4}{2} = 164.70 \times 10^{-12} \text{ [m}^4\text{]}$$

Sustituyendo el valor de J, en la Ecuación 3.1, se obtiene la el ángulo de giro:

$$\theta = \frac{(5 \text{ [Nm]})(0.3 \text{ [m]})}{(164.70 \times 10^{-12} \text{ [m}^4\text{]})(30 \times 10^9 \text{ [Pa]})} = 0.3035 \text{ [rad]} = 17.39^\circ$$

Para calcular el esfuerzo máximo de torsión, se sustituyen los valores en la Ecuación 3.2:

$$T_{\max} = \frac{(5 \text{ [Nm]})(3.2 \times 10^{-3} \text{ [m]})}{164.70 \times 10^{-12} \text{ [m}^4\text{m}^4]} = 97.15 \text{ [MPa]}$$

De acuerdo a las especificaciones de diseño, $0.8 \sigma_p \geq T_{\max}$:

$$(0.8)(150 \times 10^6 \text{ [Pa]}) = 120 \text{ [MPa]}$$

$$120 \text{ [MPa]} \geq 97.15 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, se cumple la especificación.

El mismo procedimiento se repitió para cada diámetro propuesto y se generaron gráficas para cada par, para una longitud de 300 [mm], se seleccionaron los diámetros cuyo esfuerzo máximo se ubique por lo menos 20% por debajo del límite de proporcionalidad, toda vez que cumplen con las especificaciones de diseño.

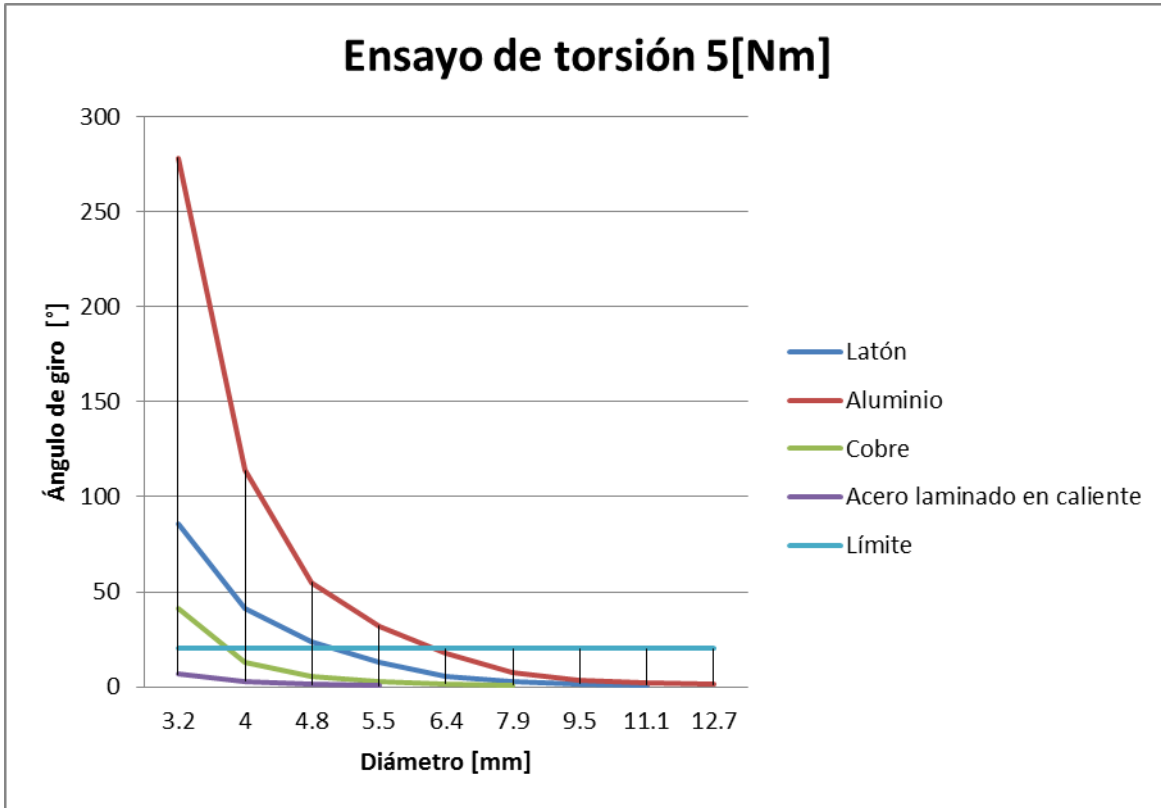


Figura 3.2. Gráfica ángulo de giro vs diámetro para probetas de diversos materiales de 300 [mm] de longitud sometidas a un par de 5 [Nm]

De acuerdo a las gráficas, las probetas seleccionadas fueron las siguientes:

- Aluminio: (1) 4.8 [mm], (1) 6.4 [mm], (1) 7.9 [mm] y (1) 9.5 [mm]
- Latón: (1) 4.8 [mm], (1) 6.4 [mm], (1) 7.9 [mm] y (1) 9.5 [mm]
- Cobre: (1) 4.8 [mm], (1) 6.4 [mm], (1) 7.9 [mm] y (1) 9.5 [mm]
- Acero laminado en caliente: (1) 6.4 [mm], (1) 7.9 [mm] y (1) 9.5 [mm]

Las tablas a partir de las cuales se generaron las gráficas se encuentran en el “Anexo 1 b)”, al final de este trabajo.

Diseño de las probetas de flexión

El diseño tomó como pauta la norma ASTM E290-09, la cual establece los lineamientos para llevar a cabo diversos tipos de ensayos de ductilidad por medio de doblez y flexión.

Uno de los ensayos presentados por dicha norma, es el que se aborda en el apartado 3.1.1.1, *Guided bend, no die*. De acuerdo con este apartado, la configuración para realizar un ensayo de flexión en una barra de sección rectangular uniforme es la siguiente:

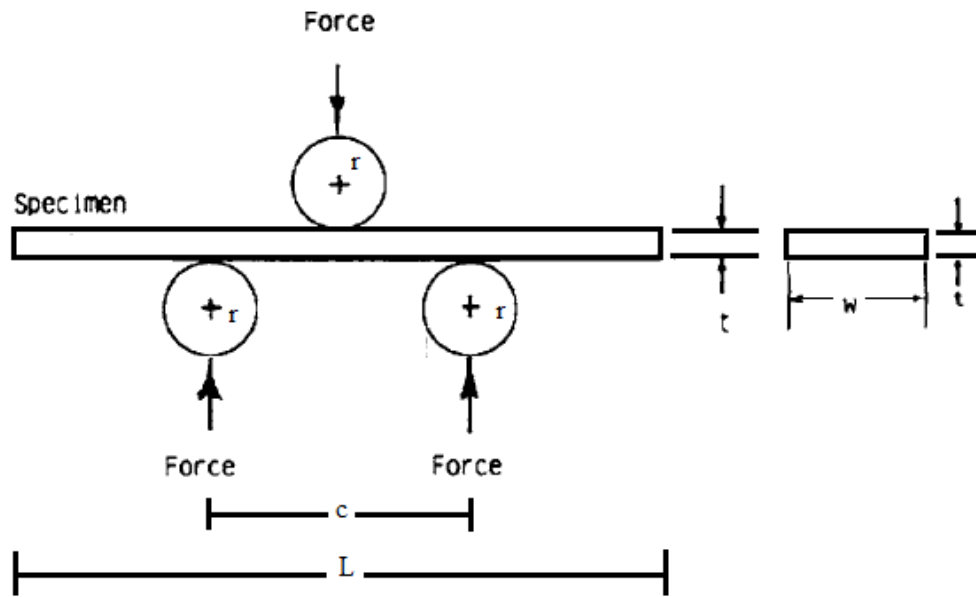


Figura 3.3. Disposición de los soportes, mandril y probeta en un ensayo de flexión bajo la norma ASTM E290-09 apartado 3.1.1.1

Dónde:

r : radio del mandril y de los apoyos [m]

t : espesor de la barra [m]

w : ancho de la barra [m]

L : longitud de la barra [m]

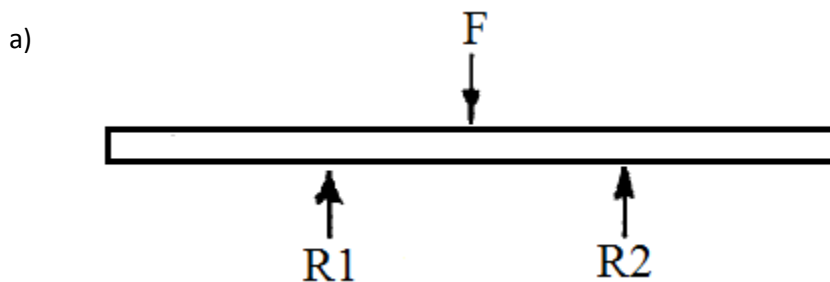
c : distancia entre los soportes de apoyo [m]

Force: es la fuerza que se aplica a la barra. F [N]

De acuerdo a la norma antes mencionada, " c " se calcula de la siguiente manera:

$$c = 2r + 3t \pm \frac{t}{2} \quad (3.5)$$

El diagrama de cuerpo libre de la barra mostrada en la Figura 3.3, se puede ver en la Figura 3.4 a):



b)

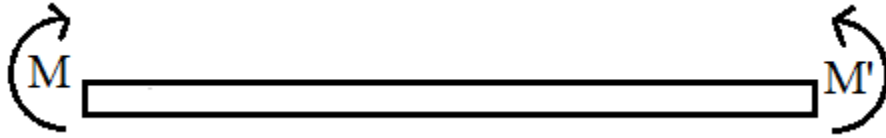


Figura 3.4. a) Disposición de la fuerza en los soportes, mandril y probeta en un ensayo de flexión bajo la norma ASTM E290-09 apartado 3.1.1.1 b) Momento flexionante sobre la probeta a deformar

Para este caso, se desprecia el efecto de flexión debido al peso del elemento y se sustituyen las fuerzas de los soportes por las reacciones que éstos causan para que el sistema se mantenga en equilibrio.

De acuerdo al diagrama de cuerpo libre, la fuerza y las reacciones provocan un Momento Flector en cada extremo de la barra (M y M'). La barra se encuentra sometida a flexión pura y se puede representar de la forma exhibida en la Figura 3.4 b). La configuración inicial sugerida por la norma se trata de un estado de carga concentrada. Para este caso, el momento flector se calcula como sigue:

$$M = \frac{Fc}{4} \quad (3.6)$$

Durante la flexión, se presentan esfuerzos máximos a compresión en la superficie de aplicación de la carga y a tracción en la superficie opuesta. Cualquiera de estos dos esfuerzos máximos se calculan de la misma manera, para el caso de compresión le antecede un signo negativo.

$$\sigma_{\max} = \frac{Mk}{I} \quad (3.7)$$

Dónde:

σ_{\max} : es el máximo esfuerzo a tensión [Pa]

$-\sigma_{\max}$: máximo esfuerzo a compresión [Pa]

M : momento flector [Nm]

k : distancia desde el eje neutro a una de las superficies [m]

I : momento de inercia de la sección transversal de la barra [m⁴]

Por la geometría de la barra:

$$k = \frac{t}{2} \quad (3.8)$$

$$I = \frac{wt^3}{12} \quad (3.9)$$

La flexión que presenta la barra cuando se le aplicada la carga se obtiene de la siguiente manera:

$$P = \frac{F c^3}{48 EI} \quad (3.10)$$

Dónde:

P: flexión [m]

F: fuerza aplicada [N]

E: módulo de elasticidad del material [N/m²]

A partir de las ecuaciones anteriores, se puede calcular la deformación que presenta una probeta de sección transversal rectangular constante cuando es sometida a una carga.

Para este diseño se consideraron dos valores de c (c_{mín} y c_{máx}), la primera se estima de acuerdo a la norma mientras que la segunda se establece de manera arbitraria. Los valores de "c" se calculan de la siguiente manera:

- $c_{\text{mín}} = 2r + 3t \pm \frac{t}{2}$
- $c_{\text{máx}} = 0.8L$

Las consideraciones hechas fueron las siguientes:

- Se despreció el efecto del pandeo debido al peso.
- Los desarrollos son válidos dentro del rango elástico.
- Se asume que los materiales son lineales y homogéneos.
- El radio de los mandriles es de 25 [mm].
- El límite de proporcionalidad de diseño es $0.8 \sigma_p$

Se calculó la deformación (flexión) y el esfuerzo máximo para una probeta de aluminio con las siguientes características:

L=400 [mm], w=10 [mm], t=5 [mm] y E=70.5 [MPa] para una carga F=10 [N]

Para c_{mín}:

De la Ecuación (3.5), se obtiene el valor de c:

$$c = 2r + 2t; c = 2(25) + 2(5); c = 50 + 10; c = 60 \text{ [mm]} = 60 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

El momento de inercia se obtiene a través de la Ecuación (3.9):

$$I = \frac{wt^3}{12}; I = \frac{(10 \times 10^{-3} \text{ [m]})(5 \times 10^{-3} \text{ [m]})^3}{12}; I = 104.1667 \times 10^{-12} \text{ [m}^4\text{]}$$

El momento flector se calcula como sigue:

$$M = \frac{Fc}{4}; M = \frac{(10 [N])(60 \times 10^{-3} [m])}{4}; M = 0.15 [Nm]$$

Por lo tanto, el máximo esfuerzo que presenta la barra a tensión es el siguiente:

$$\sigma_{\max} = \frac{(0.15 [Nm])(2.5 \times 10^{-3} [m])}{104.1667 \times 10^{-12} [m^4]}; \sigma_{\max} = 3.6 [MPa]$$

La flexión que presenta el eje neutro se calcula a continuación:

$$P = \frac{Fc^3}{48 EI}; P = \frac{(10 [N]) (60 \times 10^{-3} [m])^3}{48 (70.5 \times 10^6 [Pa]) (104.1667 \times 10^{-12} [m^4])}; P = 6.127 \times 10^{-3} [m]$$

Para C_{\max} :

$$C_{\max} = 0.8L$$

Se repite el procedimiento anterior y se obtienen los siguientes resultados:

$$M = 1 [Nm]$$

$$\sigma_{\max} = 24 [MPa]$$

$$P = 0.09295 [m]$$

Se propusieron diferentes medidas de anchura (w), y espesor (t), para cada material con una distancia entre mandriles constante de 400 [mm]. Con esos datos se calcularon el máximo esfuerzo flector y la deflexión máxima en el centro de cada probeta. Se seleccionaron aquellas que cumplieron con el criterio de diseño alusivo al límite de proporcionalidad, adicionalmente se buscó la existencia de probetas de cada material para las mismas dimensiones, con la finalidad de ejemplificar las variaciones de las propiedades mecánicas en cada material.

Se requieren en total doce probetas, tres de cada material (aluminio, cobre, latón y acero laminado en caliente) con las siguientes dimensiones:

- L= 400 [mm], w=10 [mm] y t= 5 [mm]
- L= 400 [mm], w=20 [mm] y t= 5 [mm]
- L= 400 [mm], w=20 [mm] y t= 4 [mm]

Las tablas a partir de las cuales se calcularon y seleccionaron las probetas, se encuentran en el "Anexo 1 b)".

Criterios de diseño y selección de sujeción

Una vez definidas las probetas para cada ensayo, es necesario diseñar las sujeciones.

Para el caso de la torsión, se determinó el uso de dados en cada extremo de las probetas para sujetarlas en atención a las siguientes razones:

- La mayoría de los materiales de las probetas son no ferrosos y por lo tanto auto lubricantes. Para evitar el deslizamiento durante la prueba, requieren de un elemento que permita una mayor área de contacto entre la probeta y la sujeción.
- El peso de los dados es inferior al de un *chuck* o broquero.
- Las mordazas del *chuck* y del broquero propician la concentración de esfuerzos, lo que deformaría las probetas e intervendría en los resultados del ensayo.
- La cantidad de medidas de dados disponibles en el mercado, se adapta a los diámetros determinados en el apartado anterior.

Los dados cuentan con una medida en milímetros o fracciones de pulgada que indica la distancia entre dos de los lados paralelos de su cavidad hexagonal. Dicha cavidad será la que contenga a la probeta en su interior. A partir de las medidas del dado, se deben de considerar las adecuaciones que tendrá el diseño de la probeta para asegurar el acoplamiento a los dados pero conservará las características ya definidas. Para ello, será necesaria una geometría hexagonal en los extremos y una disminución paulatina del diámetro desde las sujeciones hasta llegar al diámetro indicado. La sección transversal constante permanecerá en 300 [mm]. La geometría final del espécimen se puede consultar en los planos.

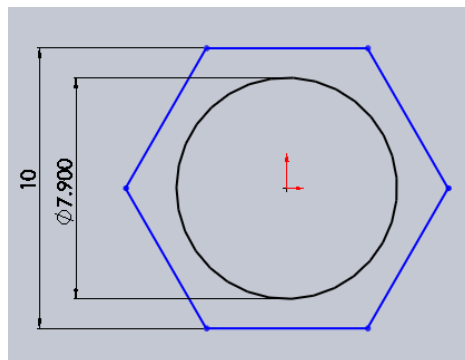


Figura 3.5. Visualización del tamaño de la cavidad de un dado y del diámetro de una probeta

A continuación se muestran los diámetros de las probetas anteriormente diseñadas y la medida del dado que les corresponde:

Diámetro de probeta [mm]	Medida de dado [mm]
4.8	6
6.4	8
7.9	10
9.5	12

Tabla 3.1. Diámetro de las probetas propuestas y medidas de dados comerciales correspondientes



Figura 3.6. Dados seleccionados para sujetar las probetas durante el ensayo de torsión



Figura 3.7. Vista de una probeta con las consideraciones geométricas para ser sujeta por un dado

En el caso de la flexión, las sujeciones son simples porque se limitan a ser apoyos. Desde el apartado anterior se definió que los radios de los mandriles será de 25 [mm].

Diseño de la sujeción

En atención a los lineamientos planteados al final del anterior capítulo, será un único elemento el que tenga contacto con el marco. Para ello, en el caso de torsión, se diseñó una placa (Placa-Montura), que se unirá al marco por medio de tornillos y que a su vez estará unida a un adaptador de dados, de esta manera se asegura la sujeción fija.

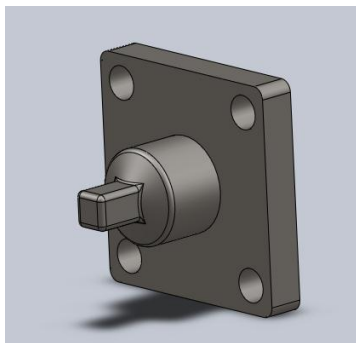


Figura 3.8. Vista del ensamble de un adaptador y la placa que lo sujeta al bastidor

El adaptador y la Placa_Montura son dos elementos distintos que requieren de un método de unión permanente, se opta por soldadura de arco. Para facilitar la unión soldada, se sugiere que los dos materiales sean similares, es por esto, la placa se fabricará en acero SAE 4140.

Se determinó si el cordón de soldadura era capaz de soportar las solicitaciones.

Cálculo del esfuerzo cortante secundario o a torsión de las soldaduras [11]:

$$T'' = \frac{Mr}{J} \quad (3.11)$$

Dónde:

T'' : cortante secundario torsión en un cordón de soldadura

r : distancia desde el centroide del grupo de soldaduras hasta la soldadura de interés

J : segundo momento polar de inercia del área del grupo de soldaduras respecto al centroide del grupo

M : momento (par)

Por la geometría del cordón de soldadura:

$$J = 2\pi r^3 \quad (3.12)$$

$$\text{Si } r = \frac{D}{2} \rightarrow r = 8.45 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ecuación (3.12):

$$J = 2\pi(0.00845 \text{ [m]})^3; J = 3.8 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

Se emplea un factor de seguridad de 1.2, para la resistencia del cordón de soldadura.

El par máximo es de 5 [Nm], se sigue:

$$1.2 M_{\text{máximo}} = M_{\text{soldadura}} \quad (3.13)$$

$$1.2 (5 \text{ [Nm]}) = M_{\text{soldadura}}$$

Por lo tanto:

$$M_{\text{soldadura}} = 6 \text{ [Nm]}$$

A partir de este valor se retoma la Ecuación (3.11), y se sustituye:

$$T'' = \frac{(6 \text{ [Nm]})(0.00845 \text{ [m]})^3}{3.8 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}}; T'' = 13.342 \text{ [KPa]}$$

El anterior es el esfuerzo cortante máximo al cual estará sometida la soldadura.

Los materiales a unir son aceros grado herramienta, para ello se consultó el Código A5.5/A5.5M, de la *American Welding Society* [12], y se determinó que se requiere de proceso de soldadura por

arco eléctrico con un electrodo E 9018 B3, en tanto que éste permite unir aceros de alta aleación. Comercialmente el electrodo se puede adquirir en *Infra*[®], bajo el nombre AW90.

La hoja técnica del electrodo en cuestión indica que su máxima resistencia a la tensión es de 620 [MPa]. De acuerdo al comportamiento de los materiales [10], en los metales la resistencia a esfuerzos cortantes es aproximadamente un tercio de la resistencia a tensión. Las uniones soldadas no presentan una estructura homogénea y por ende sus propiedades varían a lo largo del cordón de soldadura -aunque este sea metálico-, por lo anterior, se consideró que la resistencia a cortante es el 25% de la resistencia a tensión. Entonces, la máxima resistencia a corte de la unión soldada del adaptador con la placa_montura es de 15.5 [MPa]. De acuerdo a los cálculos realizados, y considerando un factor de seguridad de 10, el máximo esfuerzo cortante al cual se someterá la unión es de 130.34 [KPa]. La resistencia de la soldadura rebasa con creces las sollicitaciones máximas a las cuales será sometida, por lo tanto, se considera aceptable.

A continuación, se verifica que tanto los tornillos que sujetarán la placa como el perfil de aluminio soporten la carga.

Para el caso de los tornillos:

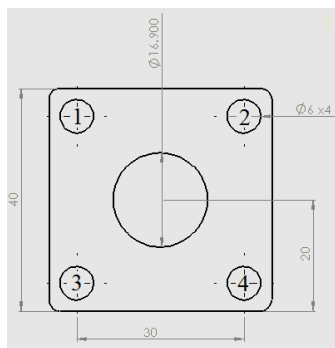


Figura 3.9. Detalle del plano de la placa montura del adaptador

Como se puede apreciar en la Figura 3.9, la placa es simétrica y su sujeción al perfil es por medio de cuatro tornillos M6x1x50.

La carga en cada tornillo se obtiene de la siguiente manera [11]:

$$M = F_1 r_1 + F_2 r_2 + \dots + F_n r_n \quad (3.14)$$

Dónde:

M: torque [Nm]

F: fuerza en un tornillo en particular [N]

r: distancia desde el centroide de arreglo de tornillos al tornillo en cuestión [m]

Por la geometría de la placa:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 21.21 \text{ [mm]}$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4$$

Entonces:

$$M = 4F_1r_1$$

Despejando F:

$$F_1 = \frac{M}{4 r_1} \quad (3.15)$$

Sustituyendo valores en la Ecuación (3.15):

$$F_1 = \frac{(6 \text{ [Nm]})}{4 (0.02121 \text{ [m]})}; F_1 = 70.72 \text{ [N]}$$

El área de la sección transversal de un tornillo se calcula de la siguiente manera:

$$A_T = \frac{\pi D_p^2}{4} \quad (3.16)$$

Dónde D_p , es el diámetro de paso para un tornillo milimétrico estándar y se obtiene como sigue:

$$D_p = D - \frac{3}{4} h \quad (3.17)$$

Dónde:

D: diámetro mayor del tornillo (nominal) [mm]

h: altura perpendicular al eje del triángulo fundamental de la rosca [mm]

Para un tornillo M6x1:

$$h = 0.86603p \quad (3.18)$$

Dónde:

p: es el paso de la rosca [mm]

Sustituyendo para encontrar h:

$$h = (0.86603)(1 \text{ [mm]}); h = 0.86603 \text{ [mm]}$$

A partir de la Ecuación 3.19, se obtiene:

$$D_p = (6 \text{ [mm]}) - \frac{3}{4} (0.86603 \text{ [mm]}); D_p = 5.35 \text{ [mm]}$$

El área de la sección transversal de un tornillo es:

$$A_T = \frac{\pi D_p^2}{4}; A = \frac{\pi (5.35[mm])^2}{4}; A_T = 22.48 [mm^2]; A_T = 22.48 \times 10^{-6} [m^2]$$

El esfuerzo cortante en cada tornillo es el siguiente:

$$T = \frac{F}{A_T} \quad (3.19)$$

Sustituyendo en la Ecuación (3.16):

$$T = \frac{70.72 [N]}{22.48 \times 10^{-6} [m^2]}; T = 3.1 [MPa]$$

Que es el valor del esfuerzo cortante en cada tornillo considerando un par de 6 [Nm].

Los tornillos elegidos son de acero de medio carbono con $T_{max} = 80 [MPa]$, por lo tanto, soportan las sollicitaciones.

El esfuerzo cortante de los tornillos se transmite al perfil estructural como esfuerzo a tensión.



Figura 3.10. Visualización de la fuerza que transmite cada tornillo al perfil de aluminio

El área de la superficie de contacto de cada tornillo se calcula de la siguiente manera:

$$A_p = \frac{\pi D}{2} L \quad (3.20)$$

Dónde:

A_p : área de contacto de un tornillo con el perfil

D: diámetro del tornillo (nominal) [m]

L: profundidad del perfil [m]

El valor de L, se midió directamente del perfil.

Sustituyendo los valores en la Ecuación (3.20):

$$A_p = \frac{\pi (0.006 [m])}{2} (0.00498 [m]); A_p = 46.93 \times 10^{-6} [m^2]$$

El esfuerzo normal correspondiente a cada barreno del perfil es:

$$\sigma = \frac{F}{A_p} \quad (3.21)$$

Sustituyendo:

$$\sigma = \frac{70.72 [N]}{46.93 \times 10^{-6} [m^2]}; \sigma = 1.507 [MPa]$$

De acuerdo a la ficha técnica de los perfiles estructurales de aluminio Parker® serie 40, $\sigma_{m\acute{a}x} = 260$ [MPa], por lo tanto, es capaz de soportar las solicitaciones.

El peso del adaptador, la placa y los tornillos, tuercas y rondanas que la unen al perfil es de 0.171 [Kg].

Para el ensayo de flexi3n, son necesarios dos apoyos y se acoplar3n al marco por medio de deslizadores, a su vez, cada deslizador soportar3 una placa (Placa_Slider_Flexi3n), que se unir3 a 3ste por medio de cuatro tornillos M8x1.25x50. La placa, en una de sus caras, se le soldar3 uno de los mandriles de r=25 [mm].

De acuerdo a la ficha t3cnica del "slider", este tiene un peso de 0.310 [Kg], la placa 0.566 [Kg], el mandril 0.538 [Kg], y los tornillos rondanas y tuercas de 0.113 [Kg]. En conjunto, ambas sujeciones pesan alrededor de 3.054 [Kg].

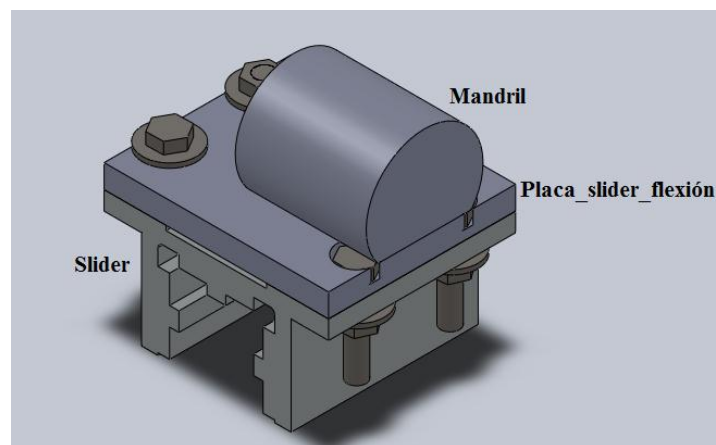


Figura 3.11. Visualizaci3n de las piezas que componen la sujeci3n para el ensayo de flexi3n

Criterios de selecci3n y dise1o del marco

El marco debe de dar soporte al resto de los elementos del banco. Cuando se inici3 el presente trabajo, el elemento estructural ya hab3a sido seleccionado, se trata de perfil extruido de aluminio estructural marca Parker®, serie 40 (40[mm] por lado), modelo "10-040 est3ndar".



Figura 3.12 Perfiles de Aluminio estructural serie 40

Marco

Se requieren dos tramos de 420 [mm], para los postes izquierdo y derecho nombrados: “poste_lzq” y “poste_Der”, respectivamente; además, dos piezas de 800 [mm], para el marco superior e inferior (marco_sup_inf).

De acuerdo a la ficha técnica del perfil, su densidad lineal es de 1.72 [Kg/m], por lo tanto, el peso de los elementos de aluminio estructural [es] de 4.19 [Kg]. Los tramos de perfil se unen entre sí por medio de tornillos M8X1.25X50, siendo un total de 16 tornillos con un peso de 0.323 [Kg].

Además del marco, el bastidor cuenta con cuatro estabilizadores modelo 20-4040, unidos a los perfiles por pares, cada par requiere de cuatro tornillos M6x1x80, con tuerca y doble rondana plana. El peso total de los ocho tornillos con doble rondana y tuerca es de 0.236 [Kg].



Figura 3.13. Modelo sólido del bastidor

El peso total de este elemento considerando los perfiles, estabilizadores y elementos de conexión es de 4.97 [Kg].

3.2 Sistema de aplicación de la carga

Criterios de selección de la transmisión

Debido a que el peso es un factor determinante, se ha elegido un sistema de transmisión por poleas y un cable de acero. Las poleas se deben mover a lo largo del perfil para acondicionarlas al ensayo a realizar.

Tanto poleas como cable deben estar disponibles en el mercado.

Acoplamiento a la transmisión

La sujeción fija se planteó en el inciso anterior, en este se abordará la sujeción móvil. Se requiere de un adaptador universal de dados acoplado a un eje que transmita la fuerza (Eje_torsión). El diámetro exterior del adaptador es de 16.9 [mm], el diámetro del eje se definió de 20 [mm], en la cara de contacto con el dado, a dicha cara, se le maquinará un cajeado circular con el mismo diámetro que el diámetro exterior del adaptador para que éste asiente dentro del eje y se puedan soldar ambas piezas entre sí asegurando coaxialidad. El eje, a su vez, estará unido a una polea comercial tipo A de 100 [mm] de diámetro exterior y 12.7 [mm] de interior, la unión de éstos dos elementos será por medio de un tornillo prisionero. La fuerza máxima aplicable a la polea se calcula a continuación:

$$T = FD \quad (3.22)$$

Dónde:

T: par [Nm]

F: fuerza [N]

D: longitud del brazo de palanca [m]

Sustituyendo lo valores:

$$D=r; r=50 \text{ [mm]}=0.05 \text{ [m]}$$

$$F = \frac{T}{D}; F = \frac{5 \text{ [Nm]}}{0.05 \text{ [m]}}; F = 100 \text{ [N]}$$

Para el cálculo se consideró el par máximo de operación.



Figura 3.14. Polea tipo A

El eje debe descansar en dos puntos para evitar un momento flector que pudiese propiciar desalineación en las sujeciones. Para evitar al máximo la fricción, se emplearon rodamientos de 12.7 [mm] de diámetro interior en los puntos de apoyo del eje.



Figura 3.15 Baleros de bolas de 12.7 [mm] de diámetro interior

La unión del adaptador al eje es soldada, por lo tanto, se emplean los mismos criterios que en el inciso anterior. El eje descansa en rodamientos que son contenidos en cajas que operan como chumaceras. Las chumaceras se unen a postes del mismo perfil estructural. Estos últimos perfiles se anclan a otra placa (placa_slider_torsión) que, por medio de tornillos se une a un “slider”, lo que garantiza el desplazamiento de la parte móvil del herramental para el ensayo de torsión. El peso total de estos elementos es de 2.86 [Kg].

Para el caso de la flexión, únicamente se requieren dos poleas de transmisión, en tanto que el cable se acopla directamente al mandril que actúa sobre la probeta. Se diseñaron dos mandriles

con guías, un mandril por cada medida de ancho de probeta y respetando un radio de 50 [mm] en la superficie de contacto.

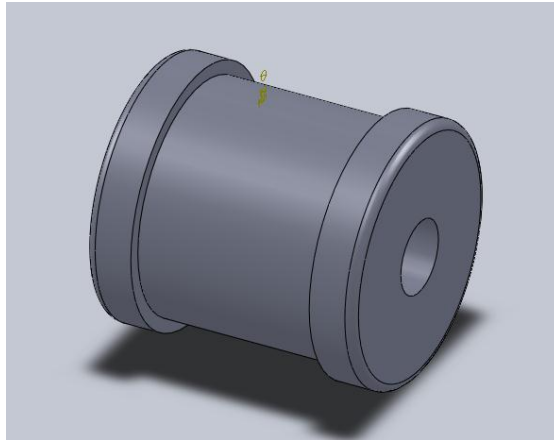


Figura 3.16 Ejemplo de mandril para aplicación de la carga

Como se aprecia en el boceto del capítulo anterior, se emplearán cuatro poleas adicionales acopladas al bastidor de 30 [mm] de diámetro exterior y 8 [mm] de interior, cada una de ellas cuenta con un rodamiento de bolas para minimizar los efectos de la fricción.

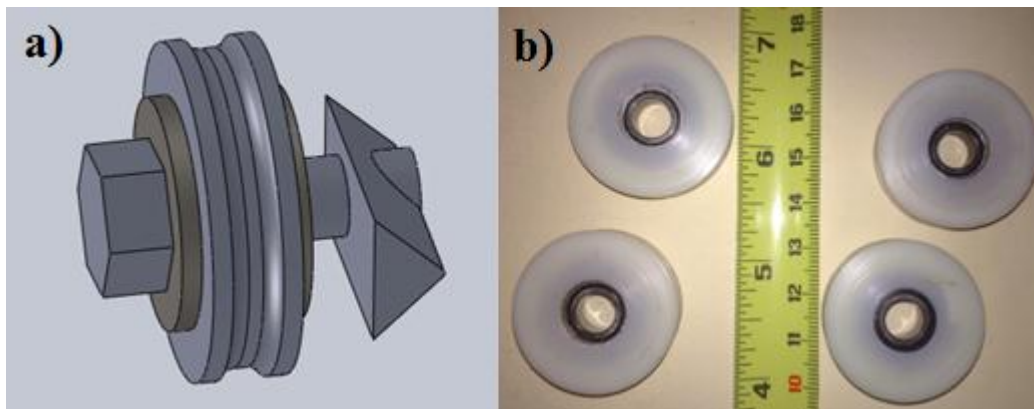


Figura 3.17. a) vista del ensamble de una polea, tornillo y tuerca. b) Poleas con rodamiento para transmitir la carga

Cada uno de los ensayos demanda dos poleas de transmisión, en total se requieren cuatro, dos en cada uno de los “marco_sup_inf”. El arreglo de una polea consta de una tuerca (T-nut), una tuerca M8x1.25, una rondana plana de 8 [mm] de diámetro interior, una polea de transmisión (Polea_transmisión) y un tornillo M8x1.25x25. El peso en conjunto del arreglo es de 48.82 [g], por lo tanto, las cuatro poleas pesan 0.195 [Kg].

La flecha de salida del motor se acopla por medio de una cuña a una polea tipo A, de 88 [mm] de diámetro exterior, sumando un peso de 0.394 [Kg].

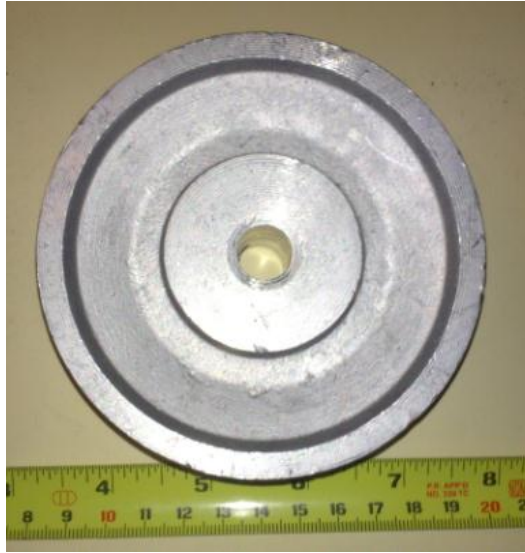


Figura 3.18. Polea seleccionada para acoplarse a la flecha del motor

En ambos ensayos, la carga se transmite por medio de un cable de acero de 1.5 [mm] de diámetro, como se puede apreciar en la siguiente tabla, es evidente que el cable soportará la carga máxima de operación que es de 100 [N].

Diámetro		Peso Aprox.		AISI304 Carga Rotura		AISI316 Carga Rotura	
pulg	mm	Lbs/1000ft	Kgs/1000m	Lbs	Kgs	Lbs	Kgs
3/64	1.19	4.20	6.30	270	123	183	83
	1.50	6.60	9.80	353	160	262	119

Figura 3.19. Detalle de una tabla de propiedades de distintos diámetros de cables de acero

Criterio y selección del motor (análisis dinámico del sistema)

Comportamiento transitorio del sistema durante deformación elástica

El sistema será expuesto a una carga constante y deberá alcanzar una deformación máxima, tal que en la probeta no se supere el esfuerzo de fluencia, en el apartado anterior se analizaron las deformaciones máximas previstas para los diferentes tipos de probeta y se garantizó, para una deformación provocada por una carga invariante en el tiempo, la permanencia del esfuerzo por debajo del umbral de fluencia. En esta sección se ha analizado el estado transitorio de la deformación, porque durante la aplicación de la carga, el comportamiento dinámico del sistema podría provocar sobrepasos en el esfuerzo y estos a su vez producir deformaciones permanentes en las probetas, este análisis se ha realizado de tal forma que se garantice la permanencia del esfuerzo dentro del intervalo elástico de la deformación durante la etapa de aplicación de la carga.

El sistema a torsión se puede idealizar como un sistema masa resorte amortiguador rotacional, en el cual la inercia rotacional (J), será la que produzcan las masas y geometrías asociadas a la

rotación que deformará la probeta, los efectos de disipación de energía en forma de calor en el material y la disipación producida por la fricción viscosa dentro de los rodamientos en los soportes del sistema serán considerados como pérdidas viscosas (b_t) y, por último, el módulo de elasticidad a torsión de la probeta ligado a la resistencia geométrica de ésta, se considerarán como una constante elástica (k_t), como se aprecia en la Figura 3.20, y se condensa en el modelo matemático mostrado en la Ecuación 3.23b. Algo similar a la torsión se hizo con la flexión, esta se puede ver como un sistema masa resorte amortiguador, la disipación dentro del material actúa como amortiguador (b), el módulo de elasticidad actúa como constante elástica (k), y la masa del mandril se contempla como la masa (m), en la Ecuación 3.23a.

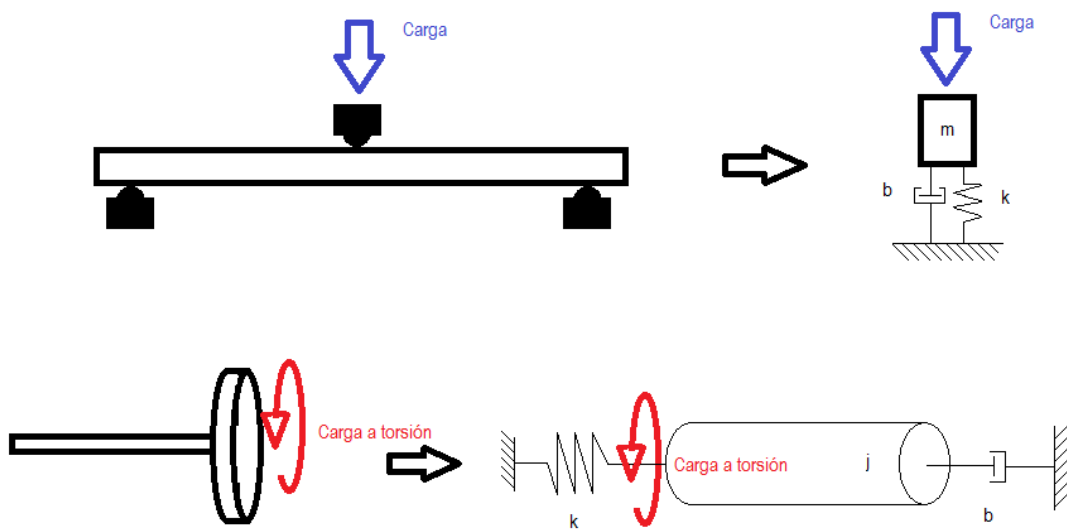


Figura 3.20. Idealización de los sistemas a torsión y flexión para su análisis como sistemas físicos

$$F = m\ddot{x} + b\dot{x} + kx \quad (3.23a)$$

$$\tau = j\ddot{\theta} + b_t\dot{\theta} + k_t\theta \quad (3.23b)$$

Las ecuaciones anteriores son los modelos físicos de segundo orden para un sistema masa resorte amortiguador, en el caso de la Ecuación 3.23a, la fuerza aplicada (F), queda en términos de la posición lineal (x), y en el caso de la Ecuación 3.23b, el par de torsión (τ), queda en términos del desplazamiento angular (θ). La importancia de conocer el comportamiento del sistema ante la aplicación repentina de una carga, recae en dos puntos del diseño, el primero atiende a la selección de los rodamientos y, el segundo, con la velocidad de aplicación de la carga y el tiempo de muestreo que requiere el sistema de adquisición de datos para arrojar resultados fidedignos de la deformación del sistema. Para la flexión, la ecuación quedará en términos de una masa que se puede medir, de un término de pérdidas medible y una constante de resorte obtenida de la Ecuación 3.10, se reescribe de la siguiente forma:

$$\frac{p(48 \cdot E \cdot I)}{c^2} = F \quad 3.24$$

Si p es la deformación en metros, entonces se puede considerar este valor como un desplazamiento x , y, por lo tanto, el resto de los términos agrupados como la constante elástica de resorte k , de esta forma la Ecuación 3.23a, se reescribe de la siguiente forma:

$$F = m\ddot{x} + b\dot{x} + x \frac{(48EI)}{c^2} \quad (3.25)$$

De forma análoga, se puede reescribir la Ecuación 3.23b, con ayuda de la Ecuación 3.1

$$\tau = j\ddot{\theta} + b_t\dot{\theta} + \theta \frac{JG}{L} \quad (3.26)$$

Se aprecia en la ecuación anterior, en la cual j es el momento de inercia debido a la masa de la polea, y J es el momento de inercia debido a la masa producido por la probeta. Con ayuda de las ecuaciones 3.25 y 3.26, se analizaron los sistemas de los cuales la única variable experimental será el término de disipación b y b_t en las ecuaciones antes mencionadas, respectivamente. Como resultado, se obtuvieron una serie de casos que van desde un sistema altamente amortiguado hasta uno sin disipación alguna de energía como se muestra en la Figura 3.21.

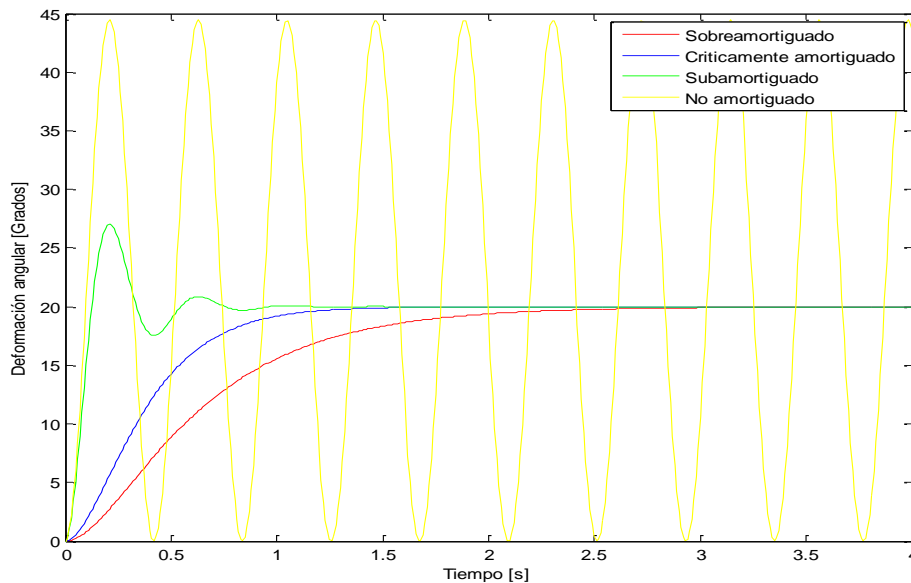


Figura 3.21. Gráficas de los posibles escenarios para el ensayo de torsión

En la figura anterior, se aprecia que el sobrepaso podría ser mayor al 20% y generar una deformación permanente en la probeta, por esta razón, se propuso encontrar valores de disipación lo suficientemente elevados para conseguir una respuesta críticamente amortiguada o

una sobreamortiguada, el tiempo de asentamiento máximo ronda los 2.5 segundos, por lo que cualquier sistema de adquisición digital de datos es útil.

Selección del motor y diseño de la base

De acuerdo a la carga necesaria para realizar los ensayos y al tipo de ensayo que se realizará, se eligió un motoreductor con las siguientes características:

- Marca *Baldor*® modelo GPP12556
- Corriente directa
- 0.125 [HP]
- 90 [V]
- 1.28 [A]
- 1.56 FF
- 30 R.P.M
- 174 [in lb]
- Reducción 80:1
- Masa de 4.35 [Kg]

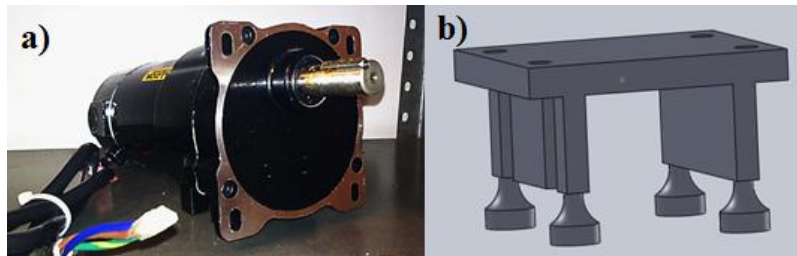


Figura 3.22. a) Motoreductor seleccionado para generar la carga. b) base del motor que lo sujeta al bastidor

La base del motor debe de transmitir la carga fuera del bastidor y permitir que esta se mida. Para esto, la base se diseñó de tal forma que se envuelva al perfil estructural inferior de la pieza “marco_sup_inf”. La base cuenta con cuatro niveladores tipo tornillo que se unen por una rosca (M5X0.8X10), y tienen contacto con la superficie en la cual descansan. El diámetro de contacto con la superficie que soporta al banco con los niveladores es de media pulgada.

Para controlar el motor se requiere de un control capaz de entrega de 0 a 90 [V] a la salida del mismo, con la capacidad de recibir señales digitales de control, para este cometido se puede utilizar un controlador KBMG-212D, con una tarjeta auxiliar para comunicación *multispeed board KB-8833*, de la marca *KB Electronics INC*.

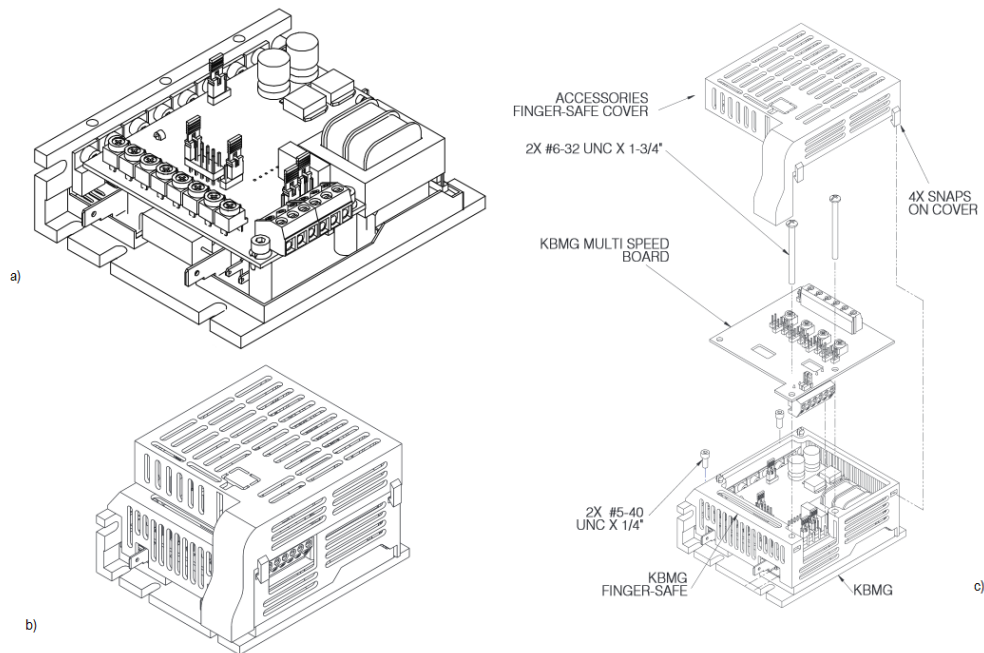


Figura 3.23. a) Etapa de potencia del controlador b) caja cerrada del controlador c) instalación de la tarjeta controladora para comunicación

3.3 Sistema de adquisición e interpretación de datos

Instrumento de medición del giro de la probeta

Para llevar a cabo esta selección, se empleó una matriz de decisión.

La siguiente tabla muestra la definición de los atributos que se evaluaron en la matriz de decisión.

El mínimo ángulo de giro que se espera es de 1.07 [°], a partir de este valor se definió la resolución del instrumento.

Atributo	Requerimiento	Especificación	Métrica	Rango
Resolución	Alta	Resolución	Divisiones por grado	Mayor a 10
Adquisición de datos	Respuesta rápida	Tiempo	Tiempo	Inferior a 2 [s]
Peso	Ligero	Peso	Kg	Inferior a 1 [Kg]
Ajuste a la probeta	Adecuado	Geometría y tamaño que permita ser empleado en toda las probetas	Subjetiva	Subjetivo
Instalación	Sencilla	Subjetiva	Subjetiva	Subjetivo

Tabla 3.2. Criterios de evaluación para las matrices de decisión del instrumental de torsión

La escala con la cual se evaluaron los atributos fue la siguiente:

- 1 → Fuera del rango
- 2 → Cumple medianamente
- 3 → En el rango
- 4 → Buen desempeño
- 5 → Supera los requerimientos

Instrumento	Atributos					
	Resolución	Adquisición de datos	Peso	Ajuste a la probeta	Facilidad para instalar	Sumatoria
Goniómetro	1	2	5	2	2	12
Topometer	1	2	3	2	2	10
Encoder incremental	5	5	5	4	3	22
Galgas extensiométricas	5	5	5	1	2	18

Tabla 3.3. Matriz de decisión de instrumental para medición de desplazamiento angular

La matriz de decisión ha permitido definir al *Encoder* incremental, como el instrumento de medición del giro de la probeta. Las características generales del instrumento se muestran a continuación:

- *Encoder* rotacional marca Autonics®
- Modelo E60H
- Flecha hueca
- 8192 pulsos por revolución
- Salida *Totem pole*
- 5 [v] de alimentación



Figura3.24. *Encoder* rotacional marca Autonics® Modelo E60H

La resolución del *Encoder* se calculó de la siguiente forma:

$$RES = \frac{360 [^\circ]}{PPR} \quad (3.23)$$

Dónde:

RES: Resolución

PPR: pulsos por revolución

De la ficha técnica del instrumento sabemos que:

$$PPR = 8192$$

Despejando *RES* de la Ecuación 3.23, y sustituyendo:

$$RES = \frac{360 [^\circ]}{8192} = 0.044 [^\circ]$$

Por lo tanto, se tiene una resolución de 0.044 [°] ó 0°2'38'', por pulso recibido desde el encoder.

Este dato se considerará el Capítulo 5.

Instrumentos de medición de la deformación en las probetas de flexión

Se empleó la misma metodología de matrices de decisión planteada con anterioridad.

Atributo	Requerimiento	Especificación	Métrica	Rango
Resolución	Alta	Resolución	Divisiones por grado	Mayor a 10
Adquisición de datos	Respuesta rápida	Tiempo	Tiempo	Inferior a 2 [s]
Peso	Ligero	Peso	Kg	Inferior a 0.3 [Kg]
Ajuste a la probeta	Adecuado	Geometría y tamaño que permita ser empleado en toda las probetas	Subjetiva	Subjetivo
Instalación	Sencilla	Subjetiva	Subjetiva	Subjetivo

Tabla 3.4. Criterios de evaluación para las matrices de decisión del instrumental de flexión

La escala con la cual se evaluaron los atributos, es la siguiente:

- 1 → Fuera del rango
- 2 → Cumple medianamente
- 3 → En el rango
- 4 → Buen desempeño
- 5 → Supera los requerimientos

Instrumento	Atributos					
	Resolución	Adquisición de datos	Peso	Ajuste a la probeta	Facilidad para instalar	Sumatoria
Medidor de espejo y tirante	3	2	3	1	2	11
Comparador de carátula	5	2	4	2	4	17
Galgas extensiométricas	5	5	5	4	3	22
Sensor de flexión	5	5	5	4	5	24

Tabla 3.5. Matriz de decisión de instrumental para medición de desplazamiento lineal

El sensor de flexión es el instrumento que se eligió, sus características generales se muestran a continuación:

- Sensor resistivo de flexión marca Sparkfun®
- Modelo SEN-10264
- 2.2 [in] de longitud
- Rango de operación: desde 9[KΩ] a 0° hasta 22 [KΩ] a 180°

Instrumento de medición de probetas

Debido a que en las probetas de ambos ensayos la longitud es considerablemente mayor que la sección transversal, se ha optado por el uso tanto de vernier como de flexómetro para determinar las dimensiones de los especímenes. Esto es únicamente para que los usuarios del banco comprueben las características de los especímenes.

Instrumento de medición de la fuerza en la base del motor

En tanto que los instrumentos de medición del ángulo de giro y de flexión son digitales, se ha optado por emplear sensores resistivos de presión para homogenizar la naturaleza de las señales de salida de los sensores. Éstos se acoplan a la armadura del motor para determinar la carga producida. Las características generales del modelo seleccionado son las siguientes:

- Sensor de carga resistivo marca Sparkfun®
- 12.7 [mm] de diámetro
- Rango de operación de 0.1-10 [Kg]
- La resistencia disminuye conforme aumenta la carga
- Resistencia de hasta 1 [MΩ]



Figura 3.25. Sensores de carga de 1/2 [in] de diámetro

Adquisición de datos

Los datos se adquirirán por medio de una tarjeta especializada en dicho propósito:

- Tarjeta de adquisición de datos *National Instruments*® modelo NI USB-6501
- 24 líneas de E/S digitales; un contador de 32 bits
- Protección de sobre voltaje, 8.5 [mA] de capacidad de corriente
- Terminales de tornillo integradas
- Interfaz de bus USB 2.0 de alta velocidad (12 Mb/s)
- Alimentación por cable USB



Figura 3.26. DAQ *National Instruments*® modelo NI USB-6501

La tarjeta de adquisición está diseñada para trabajar en conjunto con el *software* “*LabVIEW*”, desarrollado también por *National Instruments*®. Los datos requieren de un tratamiento posterior a su adquisición.

Software para interpretación de datos

El software se puede programar de acuerdo a las aptitudes del programador y la tarjeta de adquisición utilizada, en el lenguaje que se desee, en el presente trabajo y por la tarjeta seleccionada se utilizará el software “*LabVIEW*”, en el cual se programará una interfaz de usuario y se pondrá en marcha el código necesario para que el software cumpla con el siguiente diagrama de flujo.

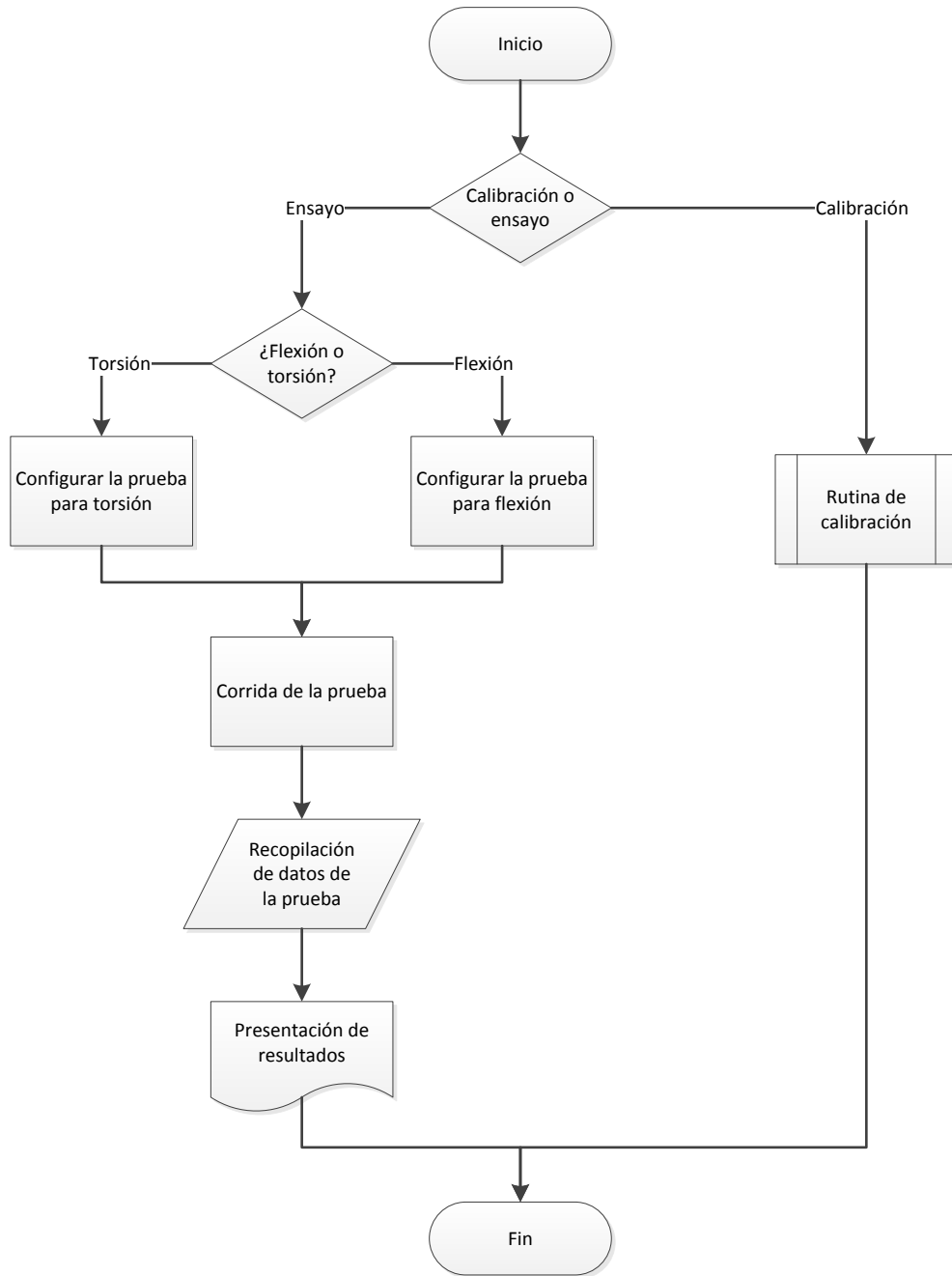


Figura 3.27. Diagrama de flujo general para la programación del software

3.4 Configuraciones finales del banco

Una vez seleccionados los componentes y con base a los bocetos realizados, se generó el CAD del banco de ensayos, a continuación se muestran algunas vistas de las configuraciones de torsión y de flexión en un modelador de sólidos:

Configuración de torsión

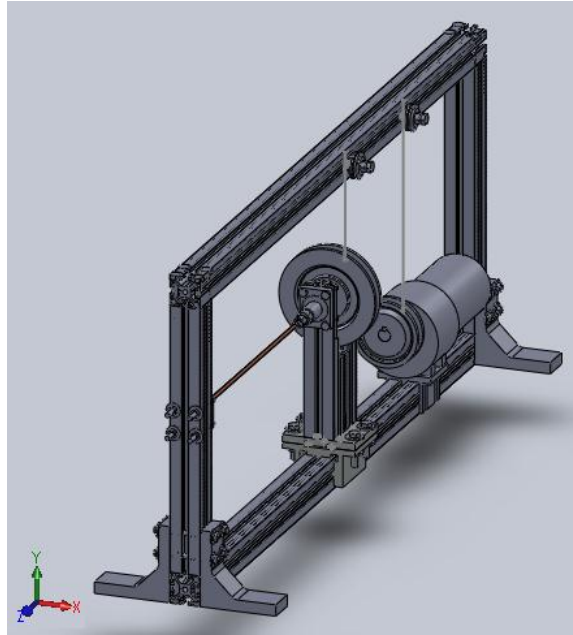


Figura 3.28. Configuración del banco a torsión

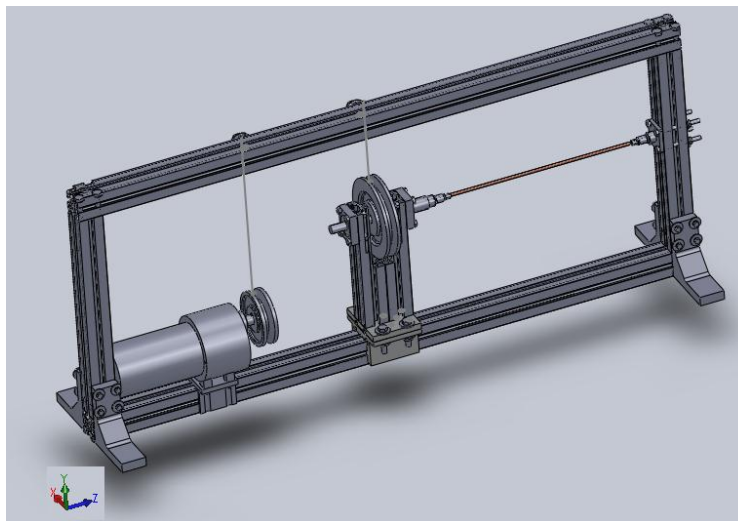


Figura 3.29. Configuración del banco a torsión

Configuración de flexión:

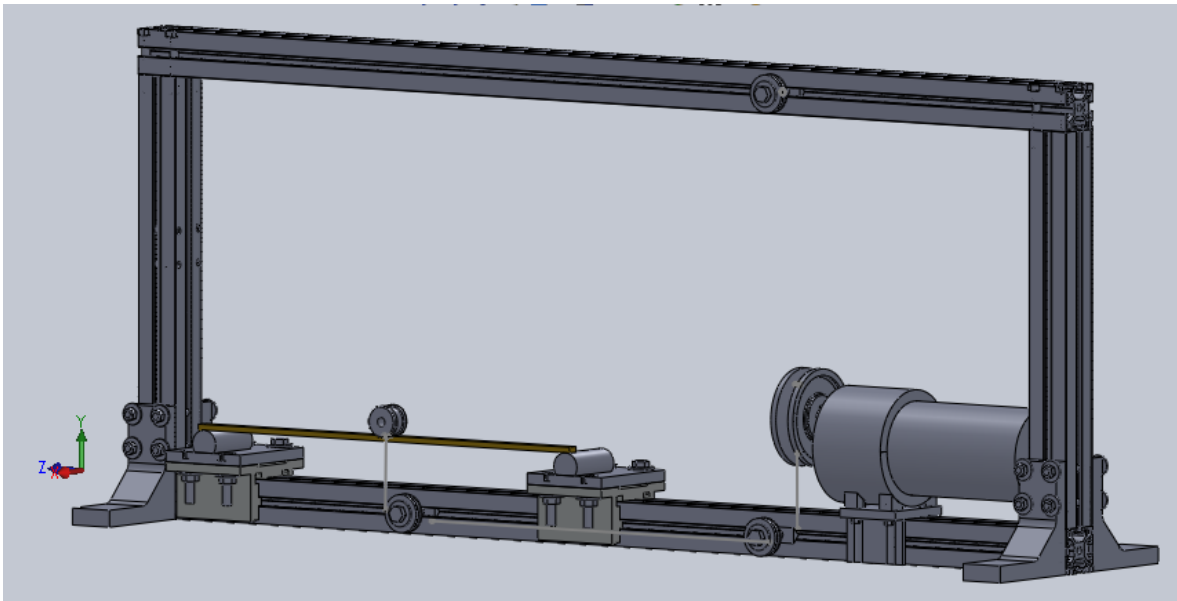


Figura 3.30. Configuración del banco a flexión

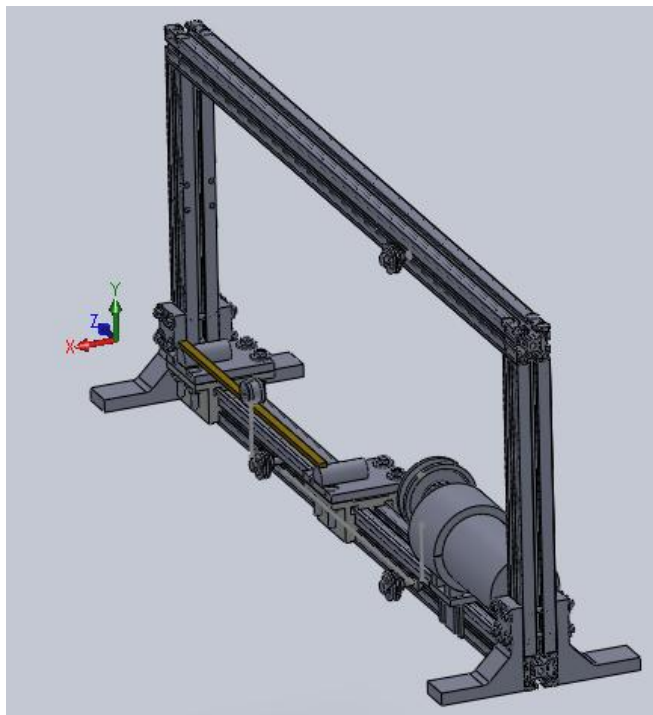


Figura 3.31. Configuración del banco a flexión

El peso total del banco ensamblado, sin considerar la PC, es de 16.86 [Kg], y el volumen de 0.8x0.5x0.28 [m], por lo cual, cumple tanto en peso como en dimensiones con lo establecido en el capítulo anterior, los planos de las piezas no comerciales se encuentran en el *Anexo 2*. A partir de los planos se determinaron las rutas de manufactura para cada uno de los elementos que así lo requirieron.

Capítulo 4: *Fabricación*

En el capítulo anterior, se determinó que algunos de los elementos requieren ser fabricados. En el presente se abordarán las rutas de manufactura de los elementos demandados y el ensamble de todas las piezas para lograr el banco. En el último apartado, se muestra la interacción entre los instrumentos de medición, el controlador, el sistema de almacenamiento y el procesamiento de la información.

4.1 Consideraciones de la manufactura

Las piezas no comerciales son aquellas que deben ser manufacturadas. Los procesos aquí descritos, se pueden llevar a cabo en su totalidad con los equipos de la Facultad de Ingeniería, en los talleres de la DIMEI.

Materia prima

Para simplificar la manufactura se elaboró la siguiente tabla, en la cual se muestra el nombre de la pieza y la cantidad requerida entre paréntesis, el sistema al que pertenece, el material con el cuál se debe fabricar y la presentación con la cual los proveedores surten el material.

Nombre de la pieza	Nombre del sistema	Material	Presentación
placa_montura (x1)	Torsión	acero 4140	solera 50.8x7.93 [mm] y 3 [m] de longitud
eje_torsión (x1)	Torsión	acero 4140	barra circular de 25.4 [mm] de diámetro y 50 [cm] de longitud
chumacera_media (x2)	Torsión	aluminio 6063	solera 75x1000x12.7 [mm]
placa_slider (x1)	Torsión	aluminio 6063	solera 75x1000x12.7 [mm]
poste_móvil_torsión (x2)	Torsión	aluminio 6105-T5	perfil de 40x40 [mm] x 3 [m]
Mandril_flexión_base (2)	Flexión	acero 4140	barra circular de 63.5 [mm] de diámetro y 50 [cm] de longitud
Placa_slider_flexión (x2)	Flexión	acero 1045	solera 75x1000x12.7 [mm]
Mandril_10mm	Flexión	acero 4140	barra circular de 63.5 [mm] de diámetro y 50 [cm] de longitud
Mandril_20mm	Flexión	acero 4140	barra circular de 63.5 [mm] de diámetro y 50 [cm] de longitud
marco_sup_inf (x2)	Bastidor	aluminio 6105-T5	perfil de 40x40 [mm] x 3 [m]

poste_fijo_izq (x1)	Bastidor	aluminio 6105-T5	perfil de 40x40 [mm] x 3 [m]
poste_fijo_der (x1)	Bastidor	aluminio 6105-T5	perfil de 40x40 [mm] x 3 [m]
Base_motor	Bastidor	aluminio 6063	Barra cuadrada de aluminio de 100x100 [mm]

Tabla 4.1 Piezas para fabricación

Es importante señalar que el nombre de la pieza en la tabla, es el mismo que aparece en los planos (Anexo2).

A partir de la tabla se identifica la cantidad de material -como la presentación de éste- necesario para manufacturar el banco:

1. (1) Perfil de aluminio estructural Parker®. 40x40 [mm] x 3 [m] de longitud
2. (1) Solera de acero 4140. 50.8x7.93 [mm] y 3 [m] de longitud
3. (1) Barra circular de acero 4140. 63.5 [mm] de diámetro y 0.5 [m] de longitud
4. (1) Solera de aluminio 6063. 101.6x12.7 [mm] y 1 [m] de longitud
5. (1) Solera de acero 1045. 101.6x12.7 [mm] y 3 [m] de longitud
6. (1) Barra cuadrada de aluminio 6063. 100x100 [mm] x 0.50 [m] de longitud

Se buscó minimizar la cantidad y diversidad de material. Es por ello, que de la misma barra circular se pueden obtener el “eje_torsión”, el “mandril_flexión_base” y los dos mandriles de aplicación de la carga.

Considerando que se cuenta con la materia prima ya descrita, la primera operación es el corte de ésta a dimensiones cercanas a las que requieren las piezas a maquinar conocidas con el nombre de “trabajo”. Los efectos de la desviación de la sierra de cinta y de las operaciones de maquinado posteriores requieren que las piezas a cortar se sobredimensionen.

A continuación, se desglosan las operaciones de corte de la materia prima tomando en cuenta las presentaciones ya descritas.

Material	Piezas	Dimensiones del trabajo [mm]	Equipo de corte/ fluido de corte
Perfil de aluminio estructural Parker®	poste_móvil_torsión (x2)	40x40x220	Sierra de cinta/fluido
	marco_sup_inf (x2)	40x40x1020	
	poste_fijo_izq (x1)	40x40x370	
	poste_fijo_der (x1)	40x40x370	
Solera de acero 4140	placa_montura (x1)	50.8x46x7.93	
Barra circular de acero 4140	eje_torsión (x1)	180	
	Mandril_flexión_base* (x2)	ϕ=63.5, L=180	

	Mandril_10mm (x1)	ϕ=63.5, L=40	refrigerante
	Mandril_20mm (x1)	ϕ=63.5, L=50	
Solera de acero 1045	Placa_slider_flexión (x2)	101.6x90x12.7	
Solera de aluminio 6063	chumacera_media (x2)	47x57x12.7	
	placa_slider (x1)	101.6x90x12.7	
Barra cuadrada de aluminio 6063	Base_motor	80x70x40	

Tabla 4.2 Materia prima para piezas de manufactura

*Para esta pieza, ambos mandriles se obtienen del mismo segmento, este se maquina y finamente se corta a la mitad.

Una vez que se cuenta con el material de trabajo, se procedió a definir las rutas de manufactura para cada una de las piezas.

Se indicará el nombre de la pieza (plano asociado), las dimensiones del trabajo, el nombre del proceso de corte y su naturaleza (desbaste o acabado), la herramienta a emplear, los parámetros y el tiempo de cada operación.

La manufactura de algunas piezas podría prestarse a confusión, por esto, en ocasiones se emplearán imágenes para dejar clara la operación de la cual se hace referencia.

La planificación de la manufactura de las piezas considera tanto equipos manuales como CNC. Para estas últimas, se programaron los códigos de acuerdo al controlador de la máquina (*Emcotronic* o *Sinumerik*) y se simularon en el *software* "TopCAM".

Características y consideraciones de los procesos de corte

Los equipos manuales de corte de los materiales considerados (torno y fresadora), requieren de una serie de operaciones de acondicionamiento con la finalidad de prepararlos para llevar a cabo los maquinados.

A continuación, se mencionan dichas operaciones y se indica el tiempo promedio requerido para cada una de ellas.

1. Torno:

- a) Contar con la herramienta seleccionada para la operación y verificar que se encuentre afilada. En caso contrario, proceder a afilarla (para un buril de ¼" de HSS, 5 minutos).
- b) Colocar el punto de embalado en el contrapunto.
- c) Montar el *Chuck* (2 minutos).
- d) Colocar la herramienta de corte en el porta herramienta y garantizar su posición de trabajo con ayuda del punto de embalado y del *Chuck* (4 minutos).
- e) Desmontar el contrapunto y colocar en su lugar un broquero con una broca de centros (2 minutos).
- f) Montar el trabajo en un *Chuck* (3 minutos).

- g) Seleccionar la velocidad de giro indicada para el material.
- h) Realizar una operación de careado, seguida de barrenado con la broca de centros (el tiempo depende de los parámetros de corte).
- i) Seleccionar la sujeción adecuada para la pieza y montarla (3 minutos):
 - Chuck y contrapunto
 - “Perro de arrastre” con plato y contrapunto
 - Entre puntos

Para el último tipo de sujeción, las operaciones del inciso h) se tendrán que repetir de ambos extremos de la barra.

A partir del desglose de operaciones presentadas y de la experiencia de quien escribe estas líneas, la preparación de un torno para comenzar a maquinar es en promedio de 20 minutos.

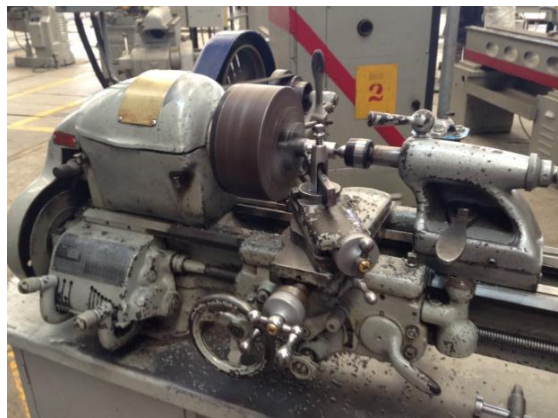


Figura 4.1. Torno de roscas izquierdo en operación

2. Fresadora vertical:

- a) Montar la prensa adecuada para la pieza de trabajo (5 minutos).
- b) Alinear la prensa con ayuda de un comparador de carátula para asegurar condiciones de paralelismo y perpendicularidad al momento de maquinar (5 minutos).
- c) Colocar el árbol (si lo requiere la fresadora), el cono, el cortador y la tuerca en la boquilla de la fresadora (3 minutos).
- d) Disponer las barras paralelas con la finalidad de sujetar adecuadamente la pieza y asegurar las condiciones del inciso b) (un minuto).
- e) Montar la pieza y apretar la prensa asegurando que la primera está bien asentada sobre las barras paralelas (2 minutos).



Figura 4.2. Fresadora vertical marca *Induma*

La preparación de una fresadora vertical demora en promedio 15 minutos.

En el caso de los equipos de control numérico (*VMC 100* y *VMC 300*), las operaciones previas al maquinado consisten en los siguientes pasos:

- a) Encender el equipo y abrir la línea de aire comprimido.
- b) Enviar la bancada a referencia.
- c) Montar las herramientas (10 minutos).
- d) Colocar la pieza de trabajo en la prensa o *Chuck* (según sea el caso) (2 minutos).
- e) Compensar las herramientas y la pieza (10 minutos).
- f) Transferir el código de la pieza a la máquina CNC, (4 minutos).
- g) Simular el código en la máquina.
- h) Correr el programa.

Si los equipos CNC se encuentran en óptimo estado, los tiempos antes mencionados se respetan y la operación de preparación toma en promedio 25 minutos.

Para realizar las rutas de manufactura se efectuaron las siguientes consideraciones:

- A la primera pieza trabajada en cualquiera de los equipos anteriormente mencionados, se le sumará al tiempo de maquinado las operaciones de preparación.
- A la siguiente pieza a maquinar en el mismo equipo, solamente se le considerará el tiempo de carga y descarga, así como el de cambio de herramienta si es que se requiere.
- Cada uno de los códigos CNC se simuló en el *software* “TopCAM”, para verificar su buen funcionamiento. A partir de las simulaciones se obtuvieron los tiempos de maquinado reportados en las hojas.

- Las hojas de trabajo presentan más datos que las industriales, toda vez que una de las finalidades de este trabajo es que cualquier estudiante de ingeniería mecánica o profesor del área pueda manufacturar el banco, por lo tanto, es necesario detallar las operaciones.
- En algunos casos, los parámetros de corte se obtuvieron de fichas técnicas del material y en otros de la literatura. Se consideran los cambios que deben de presentar los parámetros si la operación es de desbaste o de acabado. [13]
- Las operaciones a realizarse identifican por siglas: fresado vertical manual (FVM), fresado vertical CNC (FV CNC), torneado manual (TM), taladrado vertical manual en fresadora (TVM), taladrado vertical en CNC (TV CNC) y taladrado en torno manual (TTM). Algunas piezas requieren de roscas y estas operaciones se designaron como MANUAL y requieren del machuelo en cuestión y del maneral.
- Para el caso del FVM, las primeras operaciones para los trabajos prismáticos son de careo por las seis caras. En el caso de torno manual (TM), la operación subsecuente al careado es el TTM con broca de centros. En el caso del fresado vertical CNC (FV CNC), las piezas a maquinar se ingresan una vez que han sido rectificadas por un proceso de FVM.
- En las operaciones de fresado vertical, la superposición del diámetro de la fresa de una operación contigua a otra es de 30%, por lo tanto, el corte efectivo del diámetro es del 70% de su valor nominal.
- Para el TM y FVM, se considera que la manufactura se llevará a cabo en un torno de roscas izquierdo y en la fresadora vertical *Induma*. Los parámetros de corte se adecuaron a las condiciones de operación de éstos equipos.
- En el caso del TM y TTM, la sujeción será *Chuck* y contrapunto a no ser que se indique lo contrario.

A continuación se presentan las ecuaciones empleadas para estimar el tiempo de maquinado en cada una de las operaciones a realizarse:

Fresado vertical

$$T_m = \frac{L+A}{f_r} \quad (4.1)$$

Dónde:

T_m : Tiempo de maquinado sobre una misma línea [min]

L: longitud de la sección a maquinar [mm]

A: distancia de aproximación (diámetro de la herramienta), [mm]

f_r : velocidad de avance [mm/min]

La velocidad de avance está en función de la cantidad de filos o “gavilanes” con los que cuenta la fresa:

$$f_r = Nn_t f \quad (4.2)$$

Dónde:

N: velocidad de giro del husillo [r.p.m.]
 n_t : número de filos de la fresa
f: carga de viruta por filo [mm/filo]

Taladrado

Las operaciones de taladrado se dividen en taladrado ciego y taladrado pasado, la manufactura del banco únicamente requiere del segundo.

$$T_m = \frac{t+A}{f_r} \quad (4.3)$$

Dónde:

T_m : tiempo de maquinado [min]
t: espesor del trabajo [mm]
 f_r : velocidad de avance [mm/min]

El término "A", correspondiente a la tolerancia de aproximación se obtiene de la siguiente manera:

$$A = 0.5D \tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) \quad (4.4)$$

Dónde:

D: diámetro de la herramienta [mm]
 θ : ángulo de la punta de la broca
Debido a que las brocas que se emplearán son estándar, el ángulo theta es igual a 118°. [13]

Torneado

El tiempo de una operación de cilindrado se calcula de la siguiente manera:

$$T_m = \frac{\pi D_0 L}{fV} \quad (4.5)$$

Dónde:

T_m : tiempo de maquinado [min]
 D_0 : del diámetro de la pieza de trabajo [mm]
L: longitud del cilindrado [mm]
f: avance [mm/rev]
v: velocidad de corte [mm/min]

A partir de las ecuaciones expresadas se pueden estimar los tiempos de manufactura. Los parámetros de avance, profundidad y velocidad de corte están en función del material de trabajo y la herramienta de corte.

Por practicidad, a cada herramienta se le asignó un número con el cual se identificarán en las hojas de trabajo, para los códigos CNC cambia el número de herramienta por la posición que éstas ocuparán en el magazine. A cada código le antecede el número de herramienta de acuerdo al siguiente listado y su posición en la máquina.

- (1) Cortador vertical de HSS, recubierto de Nitruro de Titanio $\phi=1$ [in]
- (2) Cortador vertical de HSS, recubierto de Nitruro de Titanio $\phi=1/4$ [in]
- (3) Broca de centros de 2 [mm]
- (4) Broca de HSS de $\phi=1/4$ [in]
- (5) Herramienta izquierda de desbaste P40, recubierta con TiALN
- (6) Cortador vertical de HSS, recubierto de Nitruro de Titanio $\phi=1/2$ [in]
- (7) Cortador vertical de HSS, recubierto de Nitruro de Titanio $\phi=21/32$ [in]
- (8) Cuchilla tronzadora en "V" estándar
- (9) Broca de HSS de $\phi=21/64$ [in]
- (10) Broca de HSS de $\phi=19/64$ [in]
- (11) Broca de HSS de $\phi=4$ [mm]
- (12) Broca de HSS de $\phi=1.5$ [mm]
- (13) Broca de HSS de $\phi=13$ [mm]
- (14) Machuelo M8x1.25
- (15) Cortador vertical de HSS recubierto de Nitruro de Titanio $\phi=10$ [mm]
- (16) Broca de HSS de $\phi=5$ [mm]
- (17) Machuelo M6x1

4.2 Hojas de los procesos de corte

Las hojas de procesos son una herramienta en el área de manufactura las cuales indican las operaciones a realizarse sobre una pieza de trabajo, los parámetros que intervienen y las herramientas utilizables.

Datos mostrados en las hojas de proceso

Las hojas de proceso cuentan con varias columnas de acuerdo al tipo de operación a realizar. A continuación se detalla el significado de cada una de ellas:

Generales

- Nombre de la pieza/plano: señala el nombre del plano al cual corresponde la pieza a manufacturar
- No. de piezas: cantidad de piezas requeridas de este tipo
- Material de trabajo: indica el material en el cuál se debe de maquinar la pieza

- Referencia de parámetros de corte: es la fuente en la cual se consultaron los parámetros para cada operación, de acuerdo al material de trabajo y la herramienta
- Dimensiones del trabajo: tamaño aproximado que debe tener la pieza antes de iniciar la ruta de manufactura
- Dimensiones finales: en el caso de piezas careadas y cilindradas, refiere al tamaño final de la pieza aun cuando esta haya sido taladrada.
- Tiempo de maquinado manual: la suma del tiempo requerido en cada una de las operaciones manuales incluyendo la preparación [min]
- Tiempo de maquinado CNC: tiempo total de las operaciones CNC considerando la preparación, en caso de que no se empleen cortes en CNC, será igual a cero [min]
- Tiempo total de maquinado para la pieza: es la suma de los dos tiempos anteriores [min]
- No. de operación: indica el orden que deben de seguir las operaciones
- Proceso: indica la naturaleza del procedimiento (FVM, FV CNC, TM, MANUAL, etc.), así como el equipo en el cual se efectuará el maquinado (torno manual, fresadora vertical *Induma*, etc.)
- Descripción: precisa el tipo de corte a realizar (taladrado de centros, taladrado de desbaste, cilindrado, etc.)
- No. herr.: indica la herramienta a emplear para la operación de acuerdo al listado mostrado en el apartado anterior.
- Dimensiones posteriores a la operación (DPO): para las operaciones de FVM y TM, indican las dimensiones del trabajo una vez que se ha realizado la operación correspondiente [mm]
- Tiempo de preparación (TP): tiempo demorado por el usuario en preparar la máquina herramienta y la pieza de trabajo antes de iniciar el corte. Éstos tiempos ya se describieron [min]
- Tiempo total de operación (TTO): es la suma del tiempo de maquinado de la operación más el TP

FVM

- L: longitud de la sección a maquinar [mm]
- d: profundidad de corte [mm]
- fr: velocidad de avance [mm/min]
- f: carga de corte por filo [mm/filo]
- nt: número de filos o gavilanes de la herramienta
- N: velocidad de giro del husillo principal (rpm)
- Corte efectivo de la herramienta (CEH): $0.7 \times \text{Diámetro nominal de la herramienta}$ [mm]
- w: ancho de la superficie a maquinar [mm]
- A: distancia de aproximación de la herramienta [mm]
- Tiempo de maquinado de una pasada (TMP): tiempo que demora la operación en realizar una trayectoria recta sobre una superficie.

- Número de pasadas de superficie (NPS): w/CEH . En caso de que el resultado no sea un número cerrado, se redondea al entero inmediato superior.
- Tiempo de maquinado de superficie (TMS): $NPS \times TMP$ [min]

En la Figura 4.3., se aprecian con mayor facilidad algunos de los conceptos enlistados anteriormente. Considerando que se desea carear una superficie de ancho “W” y largo “L”. La longitud de la sección a maquinarse corresponde a “L”, puesto que es un careo, la profundidad de la operación corresponde a “d”, el TMP se refiere al tiempo que demora efectuar el desbaste de la superficie únicamente sobre la línea de acción en la cual se encuentra la fresa, desde A hasta B, el NPS indica cuantas veces tendrá que recorrer la herramienta la superficie por trayectorias paralelas a AB, para carearla por completo.

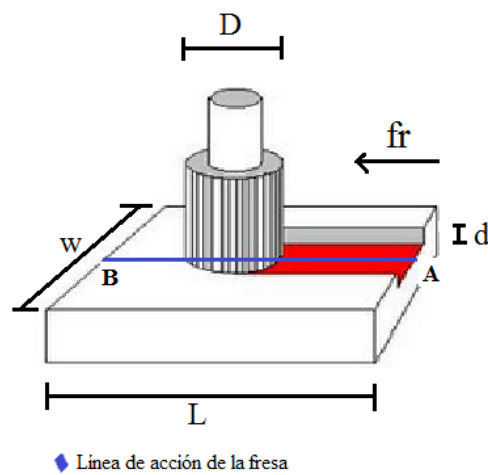


Figura 4.3. Visualización de algunas de las variables geométricas y parámetros que intervienen en el proceso de fresado vertical

TVM y TTM

- fr: avance [mm/min]
- N: revoluciones del husillo principal [rpm]
- d: profundidad total del taladrado [mm]
- A: distancia de aproximación para taladrado
- Tiempo de maquinado de un barreno (TMB): tiempo que demora realizar un solo barreno [min]
- No. de barrenos: cantidad de operaciones de barrenado a realizarse con la misma herramienta
- Tiempo de maquinado de un arreglo de barrenos (TMAB): $TMB \times \text{No. de barrenos}$ [min]

TM

- f: avance [mm/rev]
- N: revoluciones del husillo principal [rpm]
- d: profundidad del corte [mm]
- v: velocidad de corte [mm/min]
- Do: diámetro previo del material de trabajo [mm]
- L: longitud a desbastar [mm]
- Tiempo de maquinado de cilindrado (TMC): tiempo que demora realizar una operación de cilindrado [min]

A continuación se presenta la hoja de procesos de corte. Se detallan los rubros descritos, el código CNC y simulación del código para la pieza “placa_slider_flexión”.

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
placa_slider_flexión	2	acero 1045	SAE_1045	101.6x90.0x12.7	96x80x10	37.92	16.8	54.72

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	f [mm/filo]	nt	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	1	99.1x90x12.7	90	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	0.98	1	0.98	11	11.98	
2	FVM	careado de acabado	1	98.8x90x12.7	90	0.3	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.77	1	0.77	2	2.77	girar pieza
3	FVM	careado de desbaste	1	96.3x90x12.7	90	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	0.98	1	0.98	0	0.98	
4	FVM	careado de acabado	1	96.0x90x12.7	90	0.3	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.77	1	0.77	2	2.77	
5	FVM	careado de desbaste	1	96.0x87.5x12.7	96	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1.04	1	1.04	0	1.04	
6	FVM	careado de desbaste	1	96.0x85.5x12.7	96	2	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1.04	1	1.04	0	1.04	
7	FVM	careado de acabado	1	96.0x85x12.7	96	0.5	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.81	1	0.81	2	2.81	girar pieza
8	FVM	careado de desbaste	1	96.0x82.5x12.7	96	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1.04	1	1.04	0	1.04	
9	FVM	careado de desbaste	1	96.0x80.5x12.7	96	2	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1.04	1	1.04	0	1.04	
10	FVM	careado de acabado	1	96.0x80.0x12.7	96	0.5	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.81	1	0.81	2	2.81	girar pieza
11	FVM	careado de acabado	1	96.0x80.0x11.35	90	1.35	134.04	0.03	4	1117	17.78	80	12.7	0.77	5	3.83	0	3.83	
12	FVM	careado de acabado	1	96.0x80.0x10.0	90	1.35	134.04	0.03	4	1117	17.78	80	12.7	0.77	5	3.83	2	5.83	desmontar
13	FV CNC	taladrado de centros	2				60			800						1.60	8	9.60	
14	FV CNC	taladrado de desbaste	9				60			800						2.10	0	2.10	
15	FV CNC	avocardado	6				60			800						3.10	2	5.10	desmontar la pieza

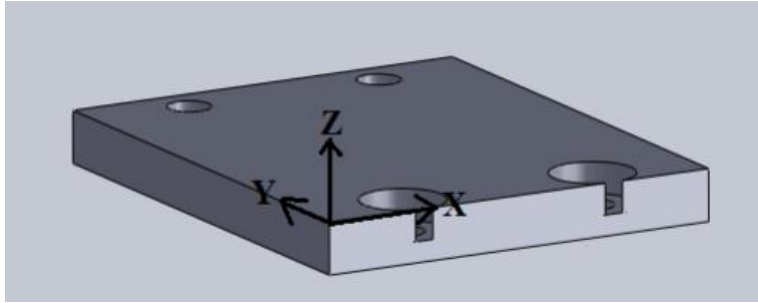


Figura 4.4. Visualización del origen de los ejes coordenados en la pieza "placa_slider_flexión" para los procesos CNC

A continuación se presentan las posiciones ocupadas por las herramientas de acuerdo al código en el magazine de la máquina y el código CNC para un control *Emcotronic*.

```
#HERR/DESCRIPCIÓN
1/BROCA DE CENTROS
2/BROCA 1/4 IN
3/ BROCA 21/64=8.334 MM
4/ CORTADOR 1/2 [IN]

%4
N0005 G54 G71 G94 T0101 S800 M03
N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0
N0015 G99
N0020 G74 X8.0 Y20.0
      P0=80 P1=40.0 D0=2.2 D1=2.0
N0025 G75 G82 P3=2.0 Z-16.0 D4=5 F60
N0030 T0202 S800 M03
N0035 G99
N0040 G74 X8.0 Y20.0
      P0=80 P1=40.0 D0=2.2 D1=2.0
N0045 G75 G82 P3=2.0 Z-28.5 D4=5 F60
N0050 T0303 S800 M03
N0055 G99
N0060 G74 X8.0 Y20.0
      P0=80 P1=40.0 D0=2.2 D1=2.0
N0070 G75 G82 P3=2.0 Z-11.6 D4=5 F60
N0075 T0404 S800 M03
N0080 X8.0 Y20.0 F60
N0085 G01 Z-6.0 F20
N0090 G01 Z2.0
N0100 G00 X8.0 Y60.0
N0105 G01 Z-6.0 F20
N0110 G01 Z2.0
N0115 G00 Z30.0 F200
N0120 M30
```

Las siguientes son imágenes correspondientes a la simulación del código para verificar su correcta programación.

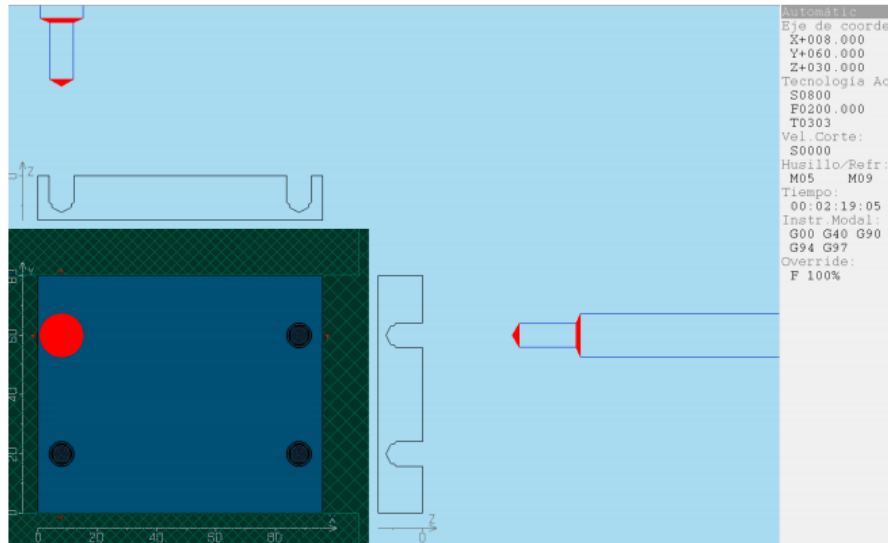


Figura 4.5. Vista en proyecciones de la simulación para la manufactura de la pieza "placa_slider_flexión"

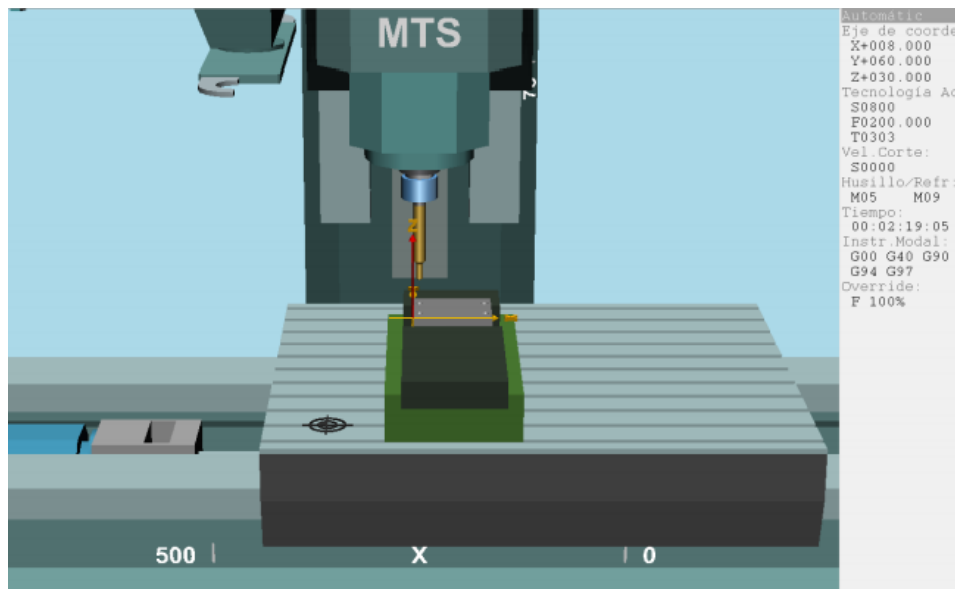


Figura 4.6. Simulación de la fabricación de la pieza "placa_slider_flexión"

La simulación se corrió para cada uno de los códigos, por su extensión, las hojas de procesos para cada pieza a manufacturar se encuentran en el Anexo 3.

4.3 Procesos de soldadura

Se realizarán las siguientes uniones soldadas:

1. Placa_montura y adaptador de dados
2. Eje_torsión y adaptador de dados
3. Slider_flexión y mandril_flexión_base

Se llevarán a cabo con una planta de soldadura de hasta 320 [A] CA/CD, como la que se encuentra en los talleres de manufactura de la División de Ingeniería Mecánica e Industrial (DIMEI).

MEDIDAS DISPONIBLES		
milímetros	pulgadas	Amperes
2,4 x 356	3/32 x 14	70 – 105
3,2 x 356	1/8 x 14	95 – 135
4,0 x 356	5/32 x 14	125 – 170
4,8 x 356	3/16 x 14	165 – 200

Figura 4.7. Parámetros de operación del electrodo Infra AW9018-B3

Se empleará un electrodo de 2.4x356 [mm], con los parámetros descritos en la Figura 4.7.

4.4 Ensamble

La siguiente tabla muestra el nombre de las piezas, el número asociado a los planos explosivos, la cantidad requerida y su disponibilidad comercial.

Pieza	Número de referencia	Cantidad	Comercial
Marco_sup_inf	1	2	No
Poste_izq	2	1	No
Poste_der	3	1	No
Estabilizador	4	4	Sí
Tornillo M8x1.25x50	6	16	Sí
Tornillo M6x1x80	7	8	Sí
Tuerca "T-nut" M8x1.25	8	4	Sí
Polea_transmisión	11	4	Sí
Motor	13	1	Sí
Polea_motor	14	1	Sí
Cuña	15	1	Sí
Base_motor	16	1	No
Niveladores M6x1x1.25	18	4	Sí
Adaptador de dados	20	2	Sí
Placa_montura	21	1	No
Balero ½ [in] interior	23	2	Sí

Chumaera_media	24	2	No
Poste_móvil_torsión	25	2	No
Eje_torsión	26	1	No
Polea_torsión	27	1	Sí
Placa_slider	29	1	No
Slider	31	3	Sí
Placa_slider_flexión	32	2	No
Mandril_flexión_base	34	2	No
Mandril_10 [mm]	35	1	No
Mandril_20 [mm]	35	1	No
Tornillo M6x1x60	19	4	Sí
Tornillo M6x1x30	22	4	Sí
Tuerca hexagonal M6x1	7, 22	20	Sí
Rondana plana para M6	7	20	Sí
Tornillo M8x1.25x40	28	12	Sí
Tornillo M8x1.25x30	30	4	Sí
Tuerca hexagonal M8x1.25	9	20	Sí
Rondana plana para M8	10	18	Sí
Tornillo M5x0.8x20	17	4	Sí
Rondana plana para M5	17	4	Sí
Cable de acero de 1.5 [mm] de diámetro	--	3 [m]	Sí
Controlador KBMG-212D	--	1	Sí
Tarjeta auxiliar para comunicación <i>multispeed board KB-8833</i>	--	1	Sí
Encoder rotacional	Se acopla a 26	1	Sí
Sensor resistivo de flexión	--	1	Sí
Vernier	--	1	Sí
Flexómetro	--	1	Sí
Sensor de carga resistivo	Se acopla a 18	4	Sí
Tarjeta de adquisición de datos	--	1	Sí

Tabla 4.3 Relación de piezas para el ensamble

Debido a la cantidad de piezas requeridas para la construcción del banco, se elaboraron varios diagramas explosivos los cuales se muestran a continuación, en ellos se identifica a cada componente con un número y a éste le corresponde un nombre en el listado. Para los tornillos, tuercas y rondanas, se colocó un número por cada conjunto debido a la cercanía entre los elementos. Algunos diagramas contienen elementos de otros sistemas como una referencia de la relación guardada entre ellos.

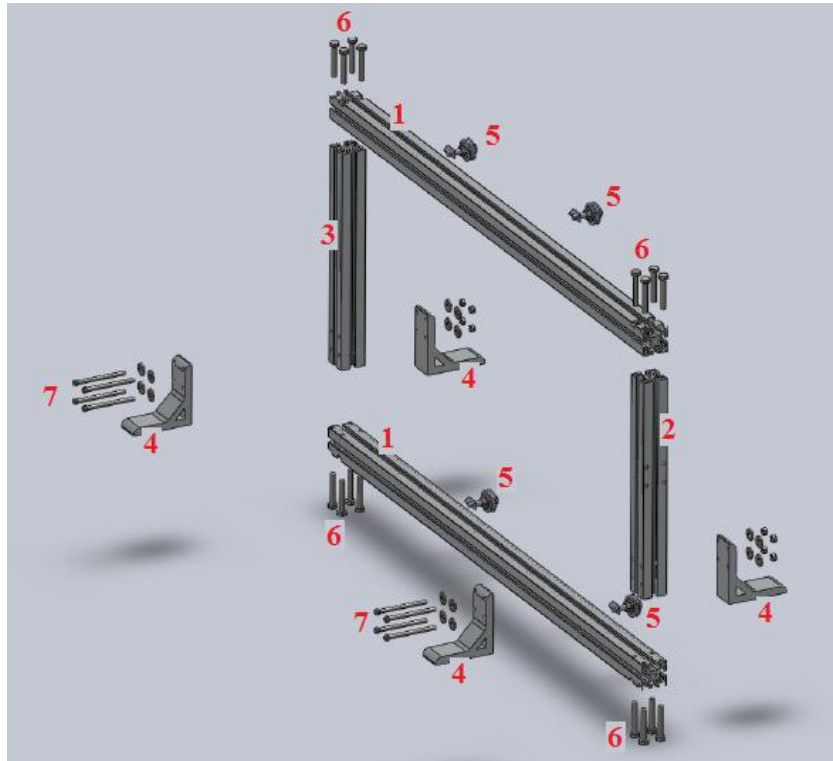


Figura 4.8. Diagrama explosivo de la bancada

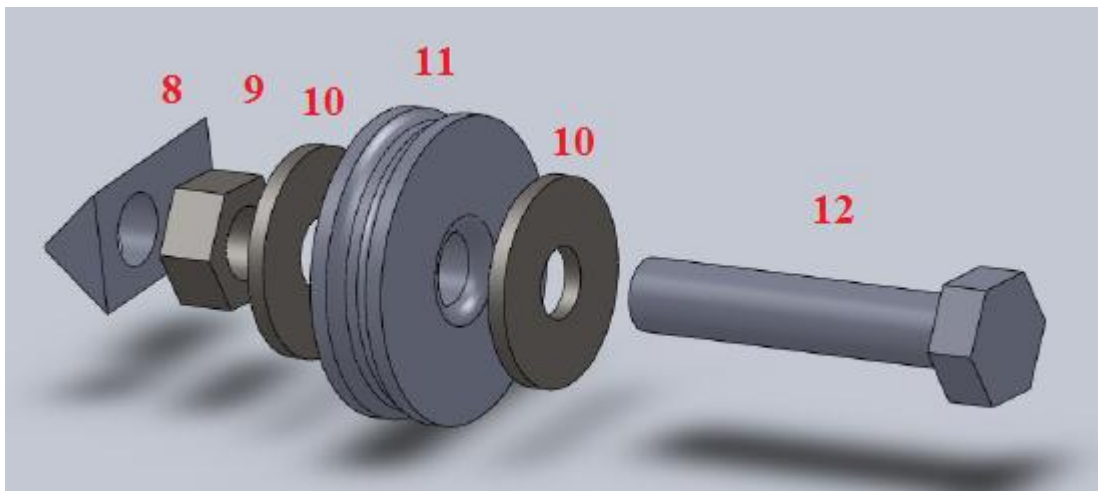


Figura 4.9. Diagrama explosivo de una polea de transmisión

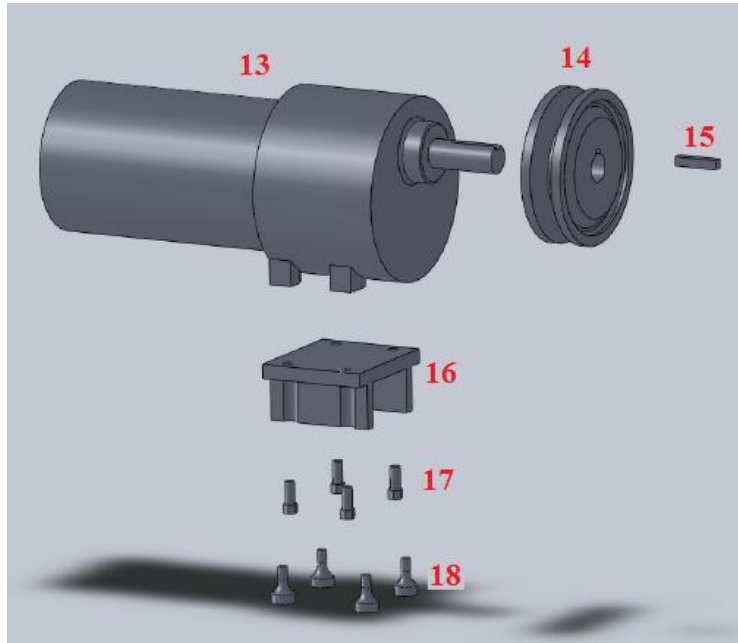


Figura 4.10. Diagrama explosivo del motor y su base

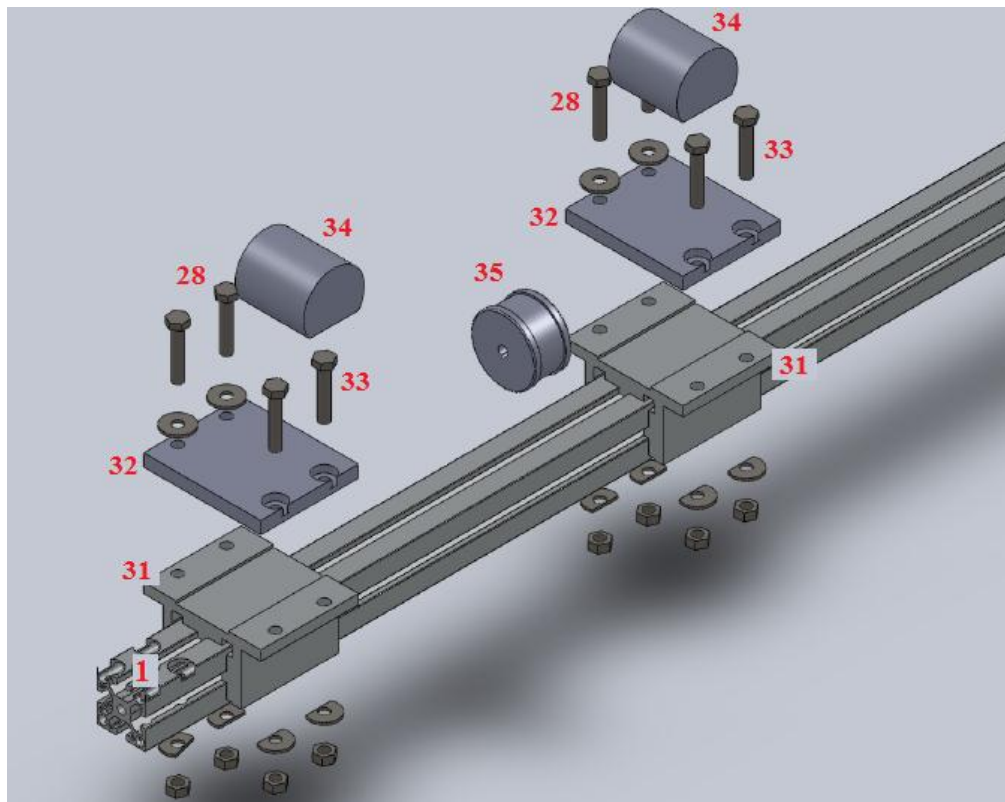


Figura 4.11. Diagrama explosivo de la configuración de flexión

4.5 Conexión del actuador y el instrumental

Antes de comenzar con la descripción de la conexión, es importante detallar los elementos que forman parte del sistema y su relación con las variables de entrada y salida, como se indica en la siguiente tabla:

Elemento	Tipo de señal	Descripción	Dirección de la señal
PC (COM)	Digital	Comunicación	E/S
DAQ	Analógica/Digital	Señales de sensores y comunicación	E/S
Controlador de motor	Analógica/Digital	Señal de control / Señal de potencia	E/S
Motor	Analógica	Señal de potencia	E
Encoder	Digital	Deflexión Angular	S
Galgas sobre la probeta	Analógica	Deflexión lineal	S
Galgas del motor	Analógica	Fuerza aplicada	S

Tabla 4.4. Relación de entradas y salidas para conexión eléctrica.

Para realizar la conexión del sistema de adquisición y almacenamiento de datos, es importante tener en mente que la computadora personal (PC), es el elemento que interpreta la información, por esta razón, la primera conexión a realizarse deberá de ser la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) a la PC. Todas las conexiones se deben verificar antes de proseguir, la siguiente conexión será la de la DAQ al controlador de motor, esta es también una conexión bidireccional, a la que se le envía una señal de control digital y regresa una señal analógica de corriente. Posteriormente, el controlador de motor se conecta al motor y se prueba la conexión desde la computadora hasta el motor, a continuación se conectan el resto de los sensores a la DAQ y se prueban estas conexiones, cuando se haya probado la conexión se deberá hacer una primera prueba con las rutinas de calibración descritas en el siguiente capítulo.

El diagrama de conexión general se presenta a continuación:

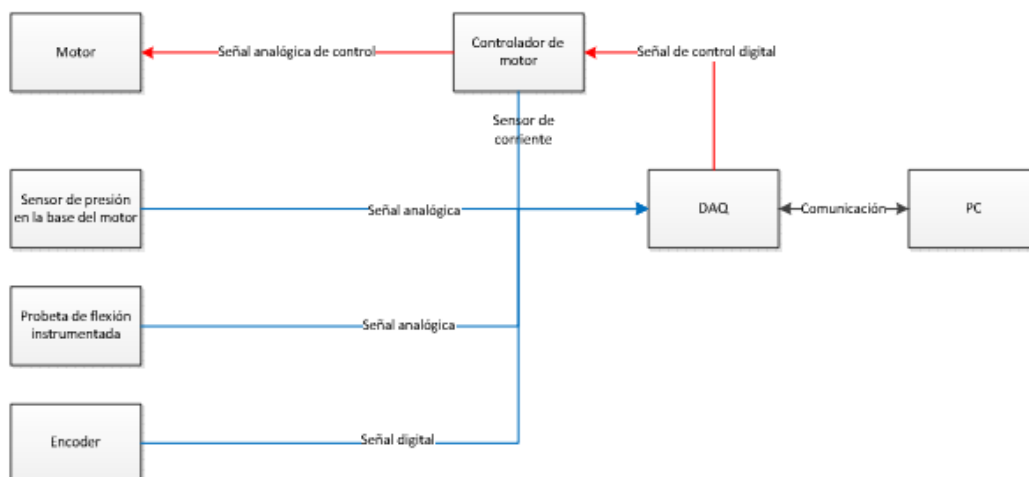


Figura 4.12. Diagrama general de conexión para el sistema de adquisición y almacenamiento de datos

Capítulo 5: *Diseño de las pruebas de validación*

En este capítulo se analizan las alternativas existentes para la caracterización del equipo y su posterior calibración, previo a su uso en el laboratorio y/o aulas. Con esta información se seleccionó una de las alternativas de caracterización y se diseñó un experimento para caracterizar el banco en su configuración de torsión y en la de flexión, así como una metodología de calibración, capaz de llevarse a cabo dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería.

5.1 Caracterización y calibración de instrumentos

En ingeniería es de suma importancia conocer las magnitudes físicas asociadas a la operación de un equipo, diseñado, de diseño propio o ajeno. Estas magnitudes nos indican de forma objetiva y cuantificable el estado de dicho equipo, con esto es posible saber cuándo existe una anomalía y tomar acciones en consecuencia, por esta razón, es fundamental realizar pruebas periódicas a los equipos con la finalidad de conocer la magnitud de las variables físicas más relevantes en la operación éste.

Las pruebas de caracterización se rigen por la premisa del párrafo anterior. El primer paso es conocer cuáles son las magnitudes físicas que intervienen en el funcionamiento del equipo, posteriormente se analiza el tipo de instrumento o principio físico con el cual se realizará la medición. Una vez seleccionado el instrumental, se pasará al diseño del experimento donde se acotarán los intervalos de operación de acuerdo a la teoría, en caso de que el equipo a caracterizar no se haya probado antes, se revisarán los datos de operación; en caso de ser un equipo comercial con parámetros conocidos, se determinarán el número de réplicas y los intervalos de confianza para determinar la validez del experimento. Finalmente se determina el tipo de análisis estadístico a utilizar, de acuerdo a la hipótesis planteada sobre el resultado de las magnitudes y su situación en el intervalo de operación delimitado.

Para poder caracterizar un equipo no sólo se requiere desarrollar un buen diseño experimental, se requiere tomar mediciones acertadas a cerca de las variables de interés, de no ser así, es imposible brindar resultados objetivos acerca del equipo, y sólo así se entiende la importancia de la calibración. Con el término calibración se refiere a los tiempos en los que se utilizaban para poner a punto los instrumentos de medición, barras de metal de un espesor arbitrario pero conocido. A estas barras se les llamaba “calibre”, actualmente la esencia del término se mantiene porque los procesos de calibración buscan reducir las desviaciones en la medición de un instrumento de medición. Para el presente trabajo, el apartado anterior es de vital importancia, toda vez, que no sólo se requiere tener calibrado el instrumental a utilizarse para caracterizar el equipo, este es, a su vez, un equipo de medición por lo que es indispensable mantenerlo calibrado. En la última sección de este capítulo se presenta el diseño de una rutina para la calibración del equipo en sus múltiples configuraciones.

5.2 Caracterización de la configuración de torsión

El funcionamiento del sistema es relativamente sencillo, por lo que la caracterización del sistema no debería ser un gran reto. En el caso de la configuración de torsión las variables de interés son la fuerza aplicada y el ángulo de giro, para caracterizar esta configuración se debe de aislar el elemento que aplica la carga, en este caso es el motor de corriente directa.

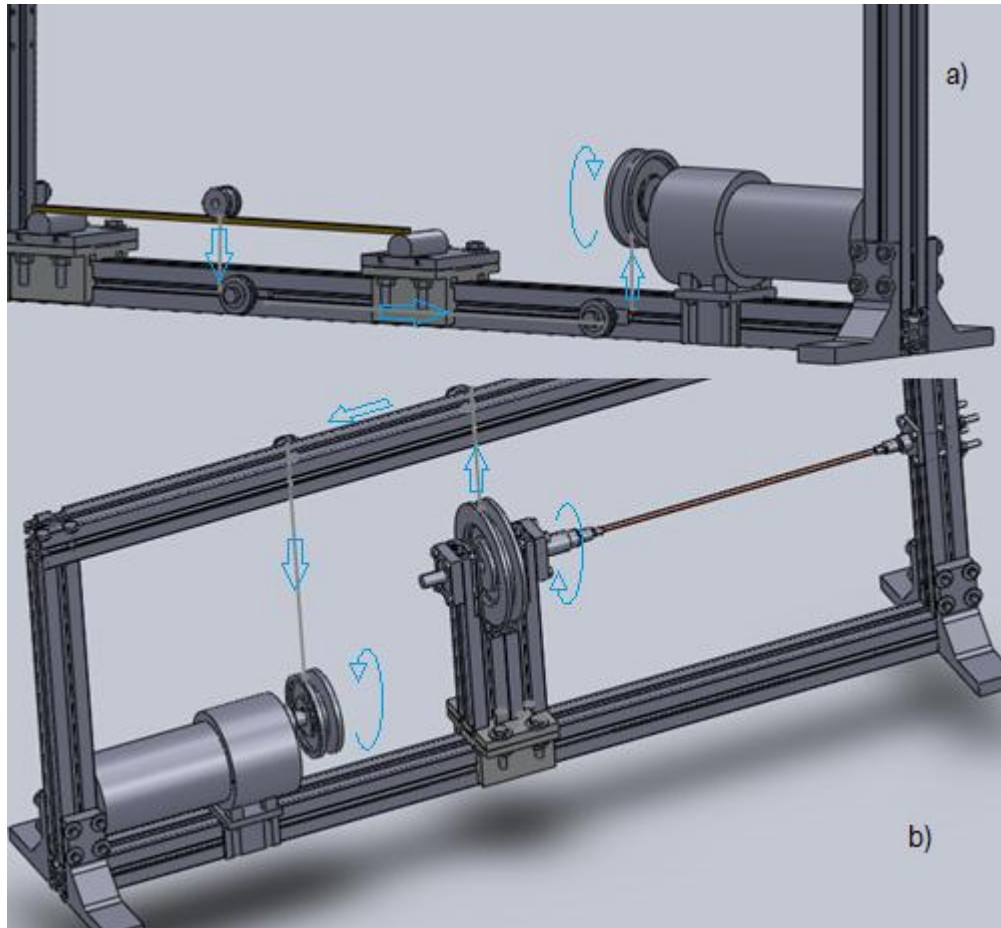


Figura 5.1 Motor de corriente directa aplicando carga durante el ensayo de flexión (a) y de torsión (b)

Para caracterizar el motor de corriente directa se diseñó un protocolo. El objetivo es relacionar las variables de potencia eléctrica entregada al motor (voltaje y corriente), con una medición de fuerza. Para este fin, se propone montar el motor en su base y acoplarlo a un sistema de frenado hidráulico (Figura 5.2a), o a una base instrumentada con galgas (Figura 5.2 b), esta se propuso en el diseño del sistema y servirá para la posterior calibración, también se puede acoplar el motor a un torquímetro de resorte (Figura 5.2a).

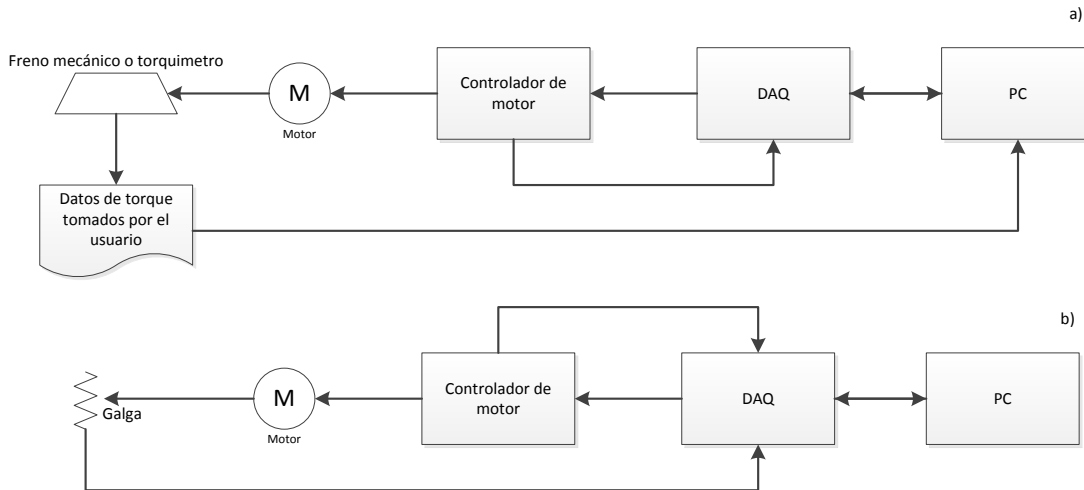


Figura 5.2. Esquemas de conexión del motor al instrumental.

Se propone entregar energía al motor a través del controlador regulando la corriente y voltaje por separado, para protección del sistema se deberá limitar la corriente a un valor debajo del límite establecido por el fabricante para la armadura, en este caso 1.28 [A].

Paulatinamente se incrementará el voltaje lentamente y atendiendo a los medidores de par de torsión o fuerza, en cuanto la fuerza multiplicada por el radio de giro, o el par alcancen los 5 [Nm], se tomará una medición del voltaje y la corriente, posteriormente se regresará a cero el voltaje.

Para evitar los efectos de histéresis las mediciones se deben llevar a cabo en forma sólo ascendente o descendente, nunca ajustar el valor ascendente disminuyendo el voltaje o viceversa. Para realizar la caracterización se deben realizar de nuevo las conexiones de los medidores de fuerza o par de torsión, porque es posible que alguna fuerza remanente quedara de la primera prueba.

En la segunda prueba, se dividirá entre diez el resultado de la corriente máxima para determinar los incrementos en el voltaje. Posteriormente se iniciará la prueba de caracterización

Durante la prueba se medirá la corriente y el voltaje en comparación con la medición de los instrumentos, se tomarán datos durante el incremento y durante el decremento del voltaje dando como resultado dos conjuntos de 10 datos por separado, esto nos dará una idea de la histéresis del sistema y nos permitirá dibujar dos curvas, cada curva generada por la relación entre la corriente y el torque a través de una regresión cuadrática de los datos durante el incremento y durante el decremento del voltaje, esta prueba debe reproducirse por lo menos cinco veces para poder comparar las cinco curvas de subida y las cinco de bajada.

La segunda parte de la caracterización tiene que ver con las pérdidas de potencia, las cuales se dan en todo el eje de torsión, esta se realizará posterior a la caracterización del motor porque sólo se

trata de una constante sustraída de la fuerza entregada por el motor, para lograr esto, se propone montar una probeta y aplicarle una carga con el motor como la prueba real, se medirá la deflexión angular de la probeta y se calculará la fuerza necesaria para realizar esta deflexión.

La fuerza calculada debe de ser menor a la que está entregando el motor, de lo contrario, se deberá revisar el instrumental para volver a llevar a cabo las pruebas, porque la fuerza de las perdidas y la que se utilizó en la deformación neta de las probetas deben ser iguales a la fuerza entregada por el motor (Ecuación 5.1)

$$F_m = F_d + F_p \quad (5.1)$$

Dónde:

F_m : es la fuerza entregada por el motor

F_d : es la fuerza que produce la deformación

F_p : es la fuerza que se pierde en la deformación de elementos de la transmisión

Con esta información se generará un modelo matemático capaz de predecir la condición de torque a partir de la corriente entregada al motor, este modelo servirá al programador del *software* para generar el código que interpreta la señal de corriente proveniente de la DAQ y las rutinas de calibración de éste (Figura 5.3).

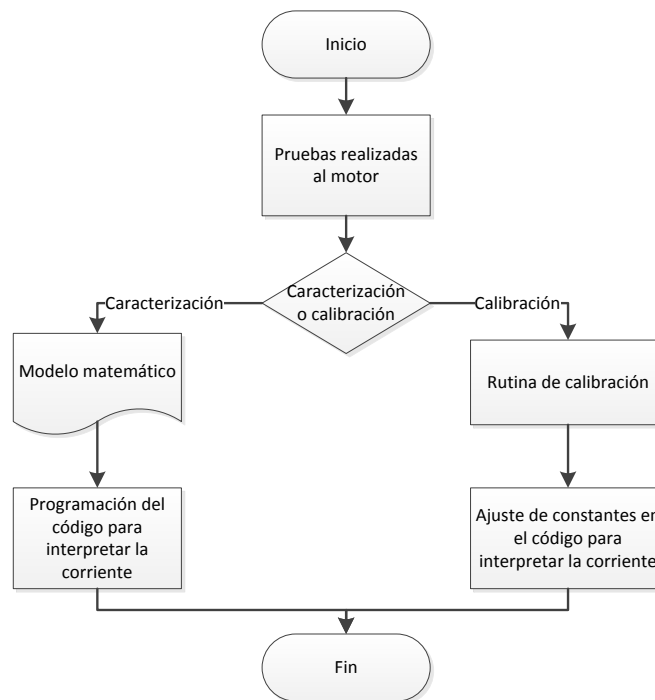


Figura 5.3. Pruebas para generar el código de interpretación de corriente y su rutina de calibración

Antes de proseguir, se debe señalar que cuando se realiza la caracterización también se tienen que introducir los valores de pérdida por deformación en el material, porque aunque se trabaje en el rango elástico, cada material tiene un coeficiente de disipación que variará, esto se debe cuantificar haciendo la prueba de pérdida de carga por lo menos cinco veces a carga máxima con cada probeta, la probeta con menor pérdida será considerada el patrón, de tal forma que las demás tendrán valores mayores que serán introducidos directamente en el código, en el apartado dedicado a ello y la utilizada para la calibración será la probeta patrón.

5.3 Caracterización de la configuración de flexión

Para la configuración de flexión se necesita caracterizar el motor, esta caracterización se realizará - como se mostró en el apartado anterior- antes de caracterizar las pérdidas en el tren de torsión, en este caso, se deberá caracterizar la pérdida de energía en la deformación de los elementos que generan la flexión.

Para este apartado se propone caracterizar el factor de pérdida, de forma similar a como se caracterizó el de torsión, para cada probeta por separado realizando la prueba de flexión y encontrando a través de las diferencias un patrón, con el cual se calibrará el equipo.

Análogamente, se propone comparar el desempeño del sistema contra las máquinas de pruebas universales que se encuentran en el Laboratorio de Pruebas Mecánicas de la Facultad.



Figura 5.4. Máquina universal de ensayos

5.4 Diseño de la rutina de calibración

Antes de terminar el código que interpreta la corriente, se plantea la rutina de calibración, esta es indispensable para mantener el equipo funcionando de forma correcta. Las causas de los posibles desajustes que se puedan presentar en el equipo son las siguientes:

- Envejecimiento de los sensores
- Envejecimiento de las bobinas del motor y de los transformadores en el controlador
- Desajustes mecánicos en el tren de aplicación de la carga
- Fatiga en las probetas

Para mantener el sistema actualizado se proponen dos rutinas de calibración, una rutina rápida o automática y una manual que requiere de más trabajo. El programador del *software* deberá incluir en la interfaz de usuario, durante el inicio una ventana el que permita elegir entre la rutina de calibración y el ensayo, a su vez, cuando se elija la calibración permitirle al usuario una calibración rápida o un servicio manual.

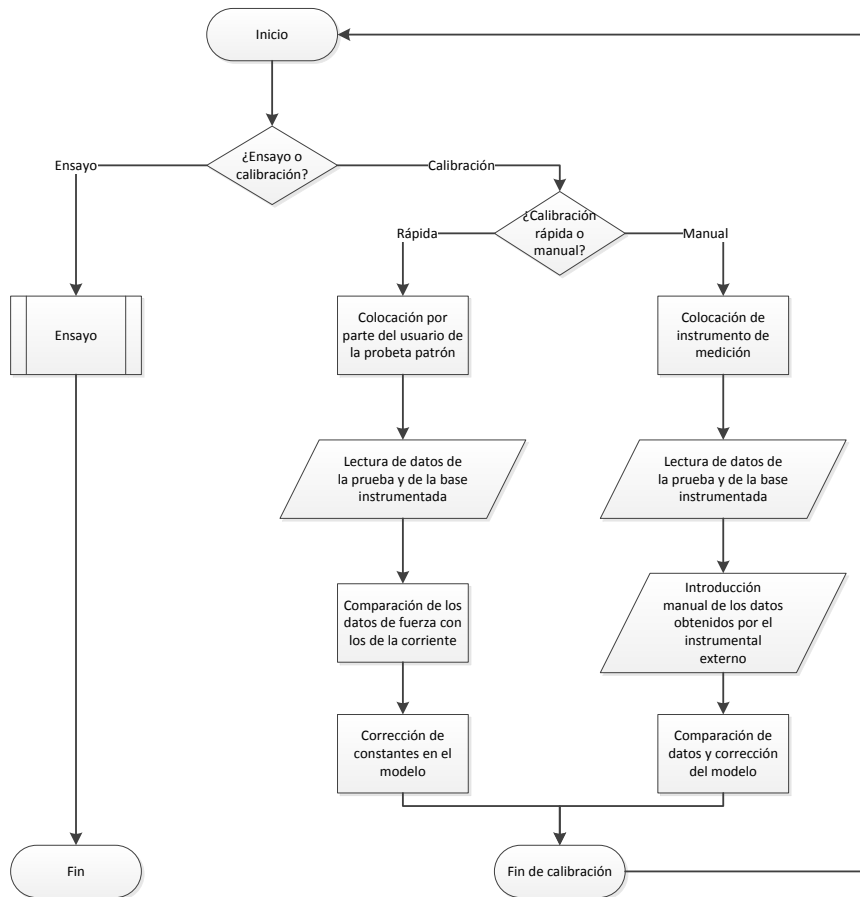


Figura 5.5 Diagrama de la rutina de calibración

La calibración rápida se realiza de forma automática. Utiliza los sensores en la base del motor para realizar una medición de la fuerza aplicada a la probeta patrón, con esta información y la medición

de la corriente se pueden ajustar los parámetros utilizados por el código para la interpretación de la corriente y arrojar una medición de la fuerza aplicada.

La calibración manual, es un proceso que requiere del uso de un instrumental externo, puede ser un torquímetro o un freno hidráulico. En este proceso se acoplan los instrumentos al motor de forma similar a como se realizó la caracterización del motor, se deben procesar los datos de forma externa e introducir en un apartado -que el programador deberá incluir- los cuales permitan garantizar la comparación de estos con los obtenidos por el sistema. Así ajustara los parámetros del código necesarios para la correcta interpretación de la corriente en fuerza del motor.

Conclusiones

Se llevó a cabo el diseño de un banco de ensayos mecánicos didácticos de manera satisfactoria, al cumplirse con los requisitos establecidos. En cuanto al peso del banco, ha sido aceptable debido a que se encuentra casi 20% por debajo del límite máximo establecido en la etapa de diseño. Las dimensiones son también aceptables, aunque el dispositivo se podría reducir si la longitud de las probetas se acortara, lo cual implicaría que la carga de se debería aumentar para obtener la misma deformación.

El banco cuenta con un motor el cual le permite un rango más amplio de cargas, mientras el controlador evita picos en la carga inicial los cuales podrían deformar plásticamente las probetas, a diferencia de otros bancos, cuya aplicación de la carga se hace por medio de pesas, sobre la cual no se tiene control sobre la velocidad de aplicación.

El hecho de contar con una DAQ, es otra amplia ventaja, puesto que se pueden generar las gráficas esfuerzo contra deformación a medida que se lleva a cabo el ensayo.

Es importante señalar que el banco cumple con la característica de reconfigurable, debido a que el usuario solamente debe deslizar los herramentales de sujeción de las probetas y cambiar de polea al cable de acero, para lograr realizar el otro ensayo y, para esto último, no es necesario elemento ni herramienta adicional.

La manufactura es viable, porque se limita al uso de los equipos con los que cuenta la Facultad y abarca gran variedad de procesos de corte.

Trabajo a futuro

Como continuación al trabajo objeto de esta tesis, se proponen las siguientes acciones:

- Seguir las rutas de manufactura propuestas en el Capítulo 4, para obtener el banco de ensayos y proceder a su instrumentación.
- Por medio de los procedimientos descritos en el Capítulo 5, realizar las rutinas de caracterización de los instrumentos.
- Realizar el programa que interprete los datos para que éstos sean de utilidad al usuario, se recomienda hacerlo en la plataforma de *LabVIEW*®.
- Elaborar un manual de prácticas para asegurar que los ensayos les permitirán a los alumnos visualizar y entender los conceptos básicos de la mecánica de materiales.

Fuentes consultadas

- [1] Tweeddale, *Propiedades mecánicas de los metales*, Tecnos, Madrid, 1970
- [2] Timoshenko, Stephen, *History of strenght of materials*, McGraw Hill, USA, 1953
- [3] Ortiz Prado, Ortiz Valera, *Mecánica del medio continuo*, UDIATEM FI UNAM, México, 2010
- [4] Davis, Troxell, *et al*, *The testing of engineering materials*, McGraw Hill, 4th edition, EUA, 1982
- [5] <http://www.zwick.es/es.html> (agosto 2012)
- [6] <http://www.tiniusolsen.com/our-company.html> (agosto 2012)
- [7] <http://www.zwick.com/en/about-us/zwick-roell-group.html> (agosto 2012)
- [8] http://www.gunt.de/static/s25_1.php (septiembre 2012)
- [9] Sepruma, *Manipulación manual de cargas*, Universidad de Málaga, Málaga, 2004
- [10] Pytel, Singer, *Resistencia de materiales*, Alfaomega, 4ta edición, México, 2006
- [11] Shigely, *Diseño en ingeniería mecánica*, McGraw Hill, México, 2008
- [12] Código A5.5/A5.5M, American Weldig Society, 2011
- [13] Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*, McGraw Hill, México, 2008
- [14] Feodósiev, V.I., *Resistencia de materiales*, Rusia, 1980
- [15] Beer, Jhonston, *Mecánica de materiales*, McGraw Hill, México, 2006
- [16] Koellhoffer, *Manual de la soldadura*, Limusa, México, 2010
- [17] Norton, *Diseño de máquinas*, Pearson, México, 2011
- [18] Spotts, Shoup, *Design of machine elements*, Prentice Hall, 8th edition, EUA, 2010
- [19] Ogata, *Ingeniería de control moderna*, Pearson, 4ta edición, México, 2010
- [20] Ogata, *Sistemas dinámicos*, Prentice Hall, USA, 1998
- [21] Montgomery, *Diseño y análisis de experimentos*, Limusa Wiley, México, 2004
- [22] Catalog 1816-3/05 industrial profile system Parker Hannifin Corporation®:
http://www.parker.com/literature/Literature%20Files/emn/Catalogs-Brochures/1816-3_ParkerIPS.pdf (diciembre 2013)
- [23] Ficha técnica SAE 4140: http://www.thyssenkrupp.cl/archivos/SAE_-_4140.pdf (febrero 2014)
- [24] Ficha técnica SAE 1045: http://www.thyssenkrupp.cl/archivos/SAE_10452036946.pdf (febrero 2014)
- [26] <http://www.instron.com.es/wa/corporate/history.aspx?ref=https://www.google.com.mx/> (agosto 2012)

Imágenes

- Figura 2.8: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/bridas-apriete-expansibles-26847-2829433.jpg (27/01/13)
- Figura 2.12: <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F1807L-JP0SG2-J1J/encoder.pdf> (28/01/13)
- Figura 2.9: <http://www.italpresion.com/?phiportfolio=acople-flexible> (28/01/14)
- Figuras 2.10 y 2.11:
<http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM23061A/Torsion/Torsion.html> (28/01/14)
- Figura 2.13: norma ASTM E290-09 apartado 3.1.1.1 (Anexo 1)
- Figura 2.14: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Three_point_flexural_test.jpg (30/01/14)
- Figura 2.15: http://www.nautilus21.com/catalog/index.php?cPath=26_221 (30/01/14)
- Figura 2.17: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/bending-test-fixtures-food-texture-testing-40658-2411871.jpg (30/01/14)
- Figura 2.18 <http://www.galdabini.it/products/material-testing-machines/applications/metal-testing-solutions/> (30/01/14)
- Figura 2.19: a) <http://anayco.net/anayco/?p=786> (31/01/14), b)
http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=753 (31/01/14)
- Figura 2.20: <http://www.mecanotek.com/mecanotek.htm> (01/02/14)
- Figura 2.21: a)
http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/templates/scripts/picDetail.php?actEntry=3243&lang=1&dir=02010000&src=Foto_Totale.jpg&color=CC3366&software=0 (01/02/14)
b) http://www.bdrmotores.com.ar/images/DC_Motors/LG/CDPSWD3406.jpg (01/02/14)
- Figura 2.22: <http://emiliopicon.blogspot.mx/p/impulsores-de-cadenas.html> (01/02/14)
- Figura 2.23: a) <http://image.made-in-china.com/66f59j00SEaTNLQWjtiU/made-in-china.jpg> (01/02/14) b) <http://www.solostocks.com/img/flexometro-3m-6280582z0.jpg> (01/02/14)
- Figura 2.24: http://www.dfi.uchile.cl/~metodos/images/M_images/tarjeta.jpg (01/02/14)
- Figura 3.15:
<http://www.costanerauno.com.ar/images/archivos/cable%20de%20acero%20tabla.jpg> (05/02/14)
- Figura 3.16: [http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=201630&mTitle=NI%20USB-6501%20\(24%20canales,%208.5%20mA\)&mGallery=set_usb-6501](http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=201630&mTitle=NI%20USB-6501%20(24%20canales,%208.5%20mA)&mGallery=set_usb-6501) (05/02/14)
- Figura 4.3:
https://www.google.com.mx/search?q=fresado+vertical&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=MhoFU_7SK-LcyQH784H4CA&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=643#facrc=&imgdii=&imgrc=kBDxhCWtT_UKzM%253A%3BqN-pXRL17bn_zM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.aprendizaje.com.mx%252FCurso%252FProceso2%252FImagenes%252Ffresa1.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.aprendizaje.com.mx%252FCurso%252FProceso2%252FTemario2_VII.html%3B308%3B264 (19/02/14)
- 5.1 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Three_point_flexural_test.jpg (29/03/14)

Anexo 1

Dimensiones y comportamiento de las probetas seleccionadas para los ensayos de torsión

Aluminio	T _{máx} [Nm]	Módulo de rigidez o módulo de corte G [GPa]	Límite de proporcionalidad [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]				
	T [Nm]	Diámetro [mm]	Diámetro [m]	Área [m ²]	Momento polar de inercia J [m ⁴]	Ángulo de deformación [°] para L=0.3m	Esfuerzo máximo [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]
	2.9	30x10 ⁹		150				120
	1	4	0.004	1.2566E-05	2.5132E-11	22.80	79.58	120
	1	4.8	0.0048	1.8095E-05	5.21137E-11	11.00	46.05	120
	1	5.5	0.0055	2.3758E-05	8.98334E-11	6.38	30.61	120
	1	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.64705E-10	3.48	19.43	120
	1	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	1.50	10.33	120
	2	4.8	0.0048	1.8095E-05	5.21137E-11	21.99	92.11	120
	2	5.5	0.0055	2.3758E-05	8.98334E-11	12.76	61.22	120
	2	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.64705E-10	6.96	38.86	120
	2	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	3.00	20.66	120
	2	9.5	0.0095	7.088E-05	7.99616E-10	1.43	11.88	120
	3	5.5	0.0055	2.3758E-05	8.98334E-11	19.14	91.84	120
	3	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.64705E-10	10.44	58.29	120
	3	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	4.50	30.99	120
	3	9.5	0.0095	7.088E-05	7.99616E-10	2.15	17.82	120
	3	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.49032E-09	1.15	11.17	120
	4	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.64705E-10	13.92	77.71	120
	4	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	5.99	41.32	120
	4	9.5	0.0095	7.088E-05	7.99616E-10	2.87	23.76	120
	4	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.49032E-09	1.54	14.90	120
	5	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.64705E-10	17.39	97.14	120
	5	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	7.49	51.65	120
	5	9.5	0.0095	7.088E-05	7.99616E-10	3.58	29.70	120
	5	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.49032E-09	1.92	18.62	120

	1 [Nm]
	2 [Nm]
	3 [Nm]
	4 [Nm]
	5 [Nm]

**Probetas seleccionadas
par los ensayos de
torsión**

	Tmáx [Nm]	Módulo de rigidez o módulo de corte G [GPa]	Límite de proporcionalidad [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]				
Latón	2.9	40x10 ⁹	110	88				
T [Nm]	Diámetro [mm]	Diámetro [m]	Área [m ²]	Momento polar de inercia J [m ⁴]	Ángulo de deformación [°] para L=0.3m	Esfuerzo máximo [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]	
1	4	0.004	1.2566E-05	2.5132E-11	17.10	79.58	88	
1	4.8	0.0048	1.8095E-05	5.2114E-11	8.25	46.05	88	
1	5.5	0.0055	2.3758E-05	8.9833E-11	4.78	30.61	88	
1	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	2.61	19.43	88	
1	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	1.12	10.33	88	
2	5.5	0.0055	2.3758E-05	8.9833E-11	9.57	61.22	88	
2	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	5.22	38.86	88	
2	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	2.25	20.66	88	
2	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	1.07	11.88	88	
3	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	7.83	58.29	88	
3	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	3.37	30.99	88	
3	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	1.61	17.82	88	
4	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	10.44	77.71	88	
4	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	4.50	41.32	88	
4	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	2.15	23.76	88	
4	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.4903E-09	1.15	14.90	88	
5	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	5.62	51.65	88	
5	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	2.69	29.70	88	
5	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.4903E-09	1.44	18.62	88	
5	12.7	0.0127	0.00012667	2.5539E-09	0.84	12.43	88	

	Tmáx [Nm]	Módulo de rigidez o módulo de corte G [GPa]	Límite de proporcionalidad [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]
Cobre		2.9 40x10 ⁹	160	128

T [Nm]	Diámetro [mn]	Diámetro [m]	Área [m ²]	Momento polar de inercia J [m ⁴]	Ángulo de deformación [°] para L=0.3m	Esfuerzo máximo [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]
1	4.8	0.0048	1.8095E-05	5.2114E-11	8.25	46.05	128
1	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	2.61	19.43	128
1	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	1.12	10.33	128
2	4.8	0.0048	1.8095E-05	5.2114E-11	16.49	92.11	128
2	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	5.22	38.86	128
2	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	2.25	20.66	128
2	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	1.07	11.88	128
3	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	7.83	58.29	128
3	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	3.37	30.99	128
3	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	1.61	17.82	128
4	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	10.44	77.71	128
4	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	4.50	41.32	128
4	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	2.15	23.76	128
4	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.4903E-09	1.15	14.90	128
5	6.4	0.0064	3.2169E-05	1.6471E-10	13.05	97.14	128
5	7.9	0.0079	4.9015E-05	3.8238E-10	5.62	51.65	128
5	9.5	0.0095	7.088E-05	7.9962E-10	2.69	29.70	128
5	11.1	0.0111	9.6766E-05	1.4903E-09	1.44	18.62	128
5	12.7	0.0127	0.00012667	2.5539E-09	0.84	12.43	128

	T _{máx} [Nm]	Módulo de rigidez o módulo de corte G [GPa]	Límite de proporci onalidad [MPa]	Límite de proporcionali dad de diseño [MPa]
Acero laminado en caliente	2.9	80x10 ⁹	150	120

T [Nm]	Diámetro [mm]	Diámetro [m]	Área [m ²]	Momento polar de inercia J [m ⁴]	Ángulo de deformación [°] para L=0.3m	Esfuerzo máximo [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]
1	6.4	0.0064	3.2E-05	1.6471E-10	1.30	19.43	120
2	6.4	0.0064	3.2E-05	1.6471E-10	2.61	38.86	120
2	7.9	0.0079	4.9E-05	3.8238E-10	1.12	20.66	120
3	6.4	0.0064	3.2E-05	1.6471E-10	3.91	58.29	120
3	7.9	0.0079	4.9E-05	3.8238E-10	1.69	30.99	120
3	9.5	0.0095	7.1E-05	7.9962E-10	0.81	17.82	120
4	6.4	0.0064	3.2E-05	1.6471E-10	5.22	77.71	120
4	7.9	0.0079	4.9E-05	3.8238E-10	2.25	41.32	120
4	9.5	0.0095	7.1E-05	7.9962E-10	1.07	23.76	120
5	6.4	0.0064	3.2E-05	1.6471E-10	6.52	97.14	120
5	7.9	0.0079	4.9E-05	3.8238E-10	2.81	51.65	120
5	9.5	0.0095	7.1E-05	7.9962E-10	1.34	29.70	120
5	12.7	0.0127	0.00013	2.5539E-09	0.42	12.43	120

Dimensiones y comportamiento de las probetas seleccionadas para los ensayos de flexión

	Módulo de elasticidad E [Pa]	Límite de proporcionalidad [MPa]	Límite de proporcionalidad de diseño [MPa]
Aluminio	70500000	150	120
Latón	100000000	110	88
Cobre	120000000	160	128
Acero laminado en caliente	200000000	150	120

Aluminio, r=25mm

Longitud L [m]	Ancho w [m]	Espesor t [m]	distancia al eje neutro k=t/2 [m]	Momento de inercia I [m ⁴]	Fuerza [N]	Momento flexionante [Nm]	Esfuerzo máximo [N/m ²]	Esf. Máx. flexión [N/m ²]	Módulo de elasticidad E [Pa]	Deflexión máxima P [m]	distancia entre mandriles c [m]
0.4	0.01	0.005	0.0025	1.042E-10	10	0.8	19200000	19200000	70500000	0.93	0.32
0.4	0.015	0.005	0.0025	1.563E-10	10	0.8	12800000	12800000	70500000	0.62	0.32
0.4	0.02	0.005	0.0025	2.083E-10	10	0.8	9600000	9600000	70500000	0.46	0.32
0.4	0.025	0.005	0.0025	2.604E-10	10	0.8	7680000	7680000	70500000	0.37	0.32
0.4	0.03	0.005	0.0025	3.125E-10	10	0.8	6400000	6400000	70500000	0.31	0.32
0.4	0.02	0.003	0.0015	4.5E-11	10	0.8	26666667	26666667	70500000	2.15	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.8	15000000	15000000	70500000	0.91	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.145	2718750	2718750	70500000	0.01	0.058
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.145	2718750	2718750	70500000	0.01	0.058

Latón, r=25mm

Longitud L [m]	Ancho w [m]	Espesor t [m]	distancia al eje neutro k=t/2 [m]	Momento de inercia I [m ⁴]	Fuerza [N]	Momento flexionante [Nm]	Esfuerzo máximo [N/m ²]	Esf. Máx. flexión [N/m ²]	Módulo de elasticidad E [Pa]	Deflexión máxima P [m]	distancia entre mandriles c [m]
0.4	0.01	0.005	0.0025	1.042E-10	10	0.8	19200000	19200000	100000000	0.66	0.32
0.4	0.015	0.005	0.0025	1.563E-10	10	0.8	12800000	12800000	100000000	0.44	0.32
0.4	0.02	0.005	0.0025	2.083E-10	10	0.8	9600000	9600000	100000000	0.33	0.32
0.4	0.025	0.005	0.0025	2.604E-10	10	0.8	7680000	7680000	100000000	0.26	0.32
0.4	0.03	0.005	0.0025	3.125E-10	10	0.8	6400000	6400000	100000000	0.22	0.32
0.4	0.02	0.003	0.0015	4.5E-11	10	0.8	26666667	26666667	100000000	1.52	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.8	15000000	15000000	100000000	0.64	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.8	15000000	15000000	100000000	0.64	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.8	15000000	15000000	100000000	0.64	0.32

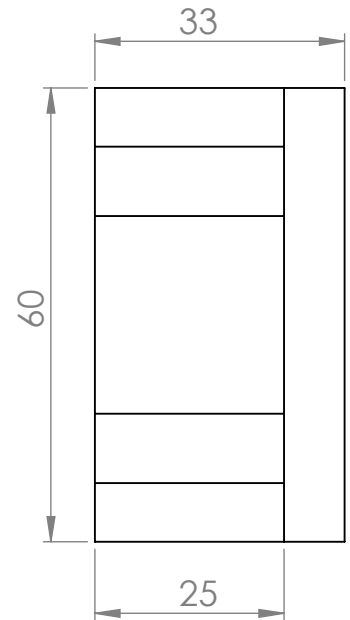
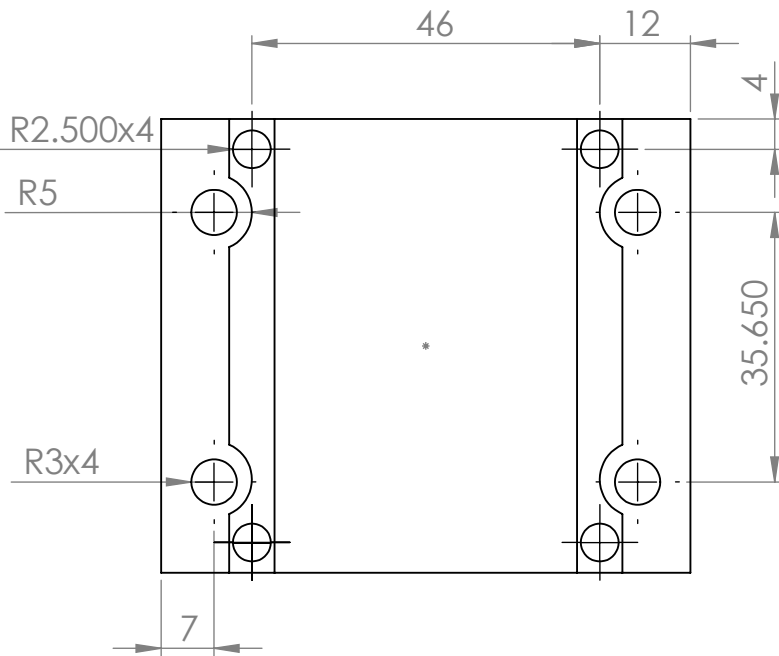
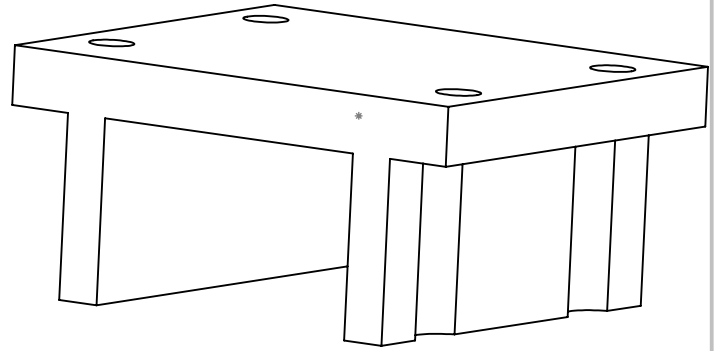
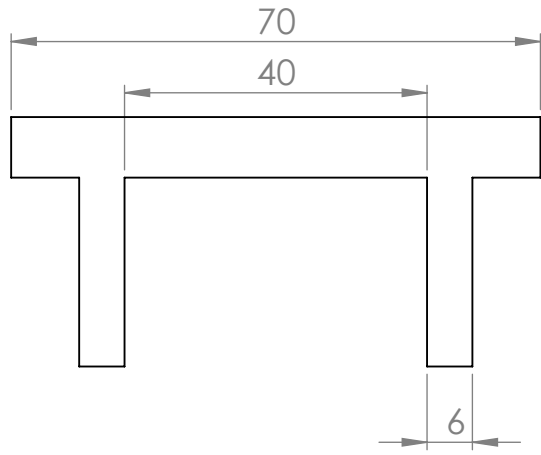
Cobre, r=25

Longitud L [m]	Ancho w [m]	Espesor t [m]	distancia al eje neutro k=t/2 [m]	Momento de inercia I [m ⁴]	Fuerza [N]	Momento flexionante [Nm]	Esfuerzo máximo [N/m ²]	Esf. Máx. flexión [N/m ²]	Módulo de elasticidad E [Pa]	Deflexión máxima P [m]	distancia entre mandriles c [m]
0.4	0.01	0.005	0.0025	1.042E-10	10	0.8	19200000	19200000	120000000	0.32	0.32
0.4	0.015	0.005	0.0025	1.563E-10	10	0.8	12800000	12800000	120000000	0.36	0.32
0.4	0.02	0.005	0.0025	2.083E-10	10	0.8	9600000	9600000	120000000	0.27	0.32
0.4	0.025	0.005	0.0025	2.604E-10	10	0.8	7680000	7680000	120000000	0.22	0.32
0.4	0.03	0.005	0.0025	3.125E-10	10	0.8	6400000	6400000	120000000	0.18	0.32
0.4	0.02	0.003	0.0015	4.5E-11	10	0.8	26666667	26666667	120000000	1.26	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.8	15000000	15000000	120000000	0.53	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.145	2718750	2718750	120000000	0.00	0.058
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.145	2718750	2718750	120000000	0.00	0.058

Acero laminado en caliente, r=25mm

Longitud L [m]	Ancho w [m]	Espesor t [m]	distancia al eje neutro k=t/2 [m]	Momento de inercia I [m ⁴]	Fuerza flexionante [N]	Momento flexionante e [Nm]	Esfuerzo máximo [N/m ²]	Esf. Máx. flexión [N/m ²]	Módulo de elasticidad E [Pa]	Deflexión máxima P[m]	distancia entre mandriles c [m]
0.4	0.01	0.005	0.0025	1.042E-10	10	0.8	19200000	19200000	200000000	0.33	0.32
0.4	0.015	0.005	0.0025	1.563E-10	10	0.8	12800000	12800000	200000000	0.22	0.32
0.4	0.02	0.005	0.0025	2.083E-10	10	0.8	9600000	9600000	200000000	0.16	0.32
0.4	0.025	0.005	0.0025	2.604E-10	10	0.8	7680000	7680000	200000000	0.13	0.32
0.4	0.03	0.005	0.0025	3.125E-10	10	0.8	6400000	6400000	200000000	0.11	0.32
0.4	0.02	0.003	0.0015	4.5E-11	10	0.8	26666667	26666667	200000000	0.76	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.8	15000000	15000000	200000000	0.32	0.32
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.145	2718750	2718750	200000000	0.00	0.058
0.4	0.02	0.004	0.002	1.067E-10	10	0.145	2718750	2718750	200000000	0.00	0.058

Anexo 2



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

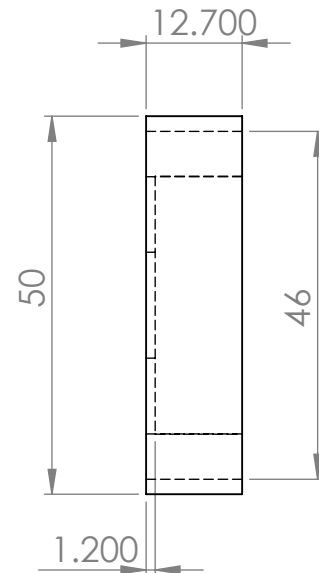
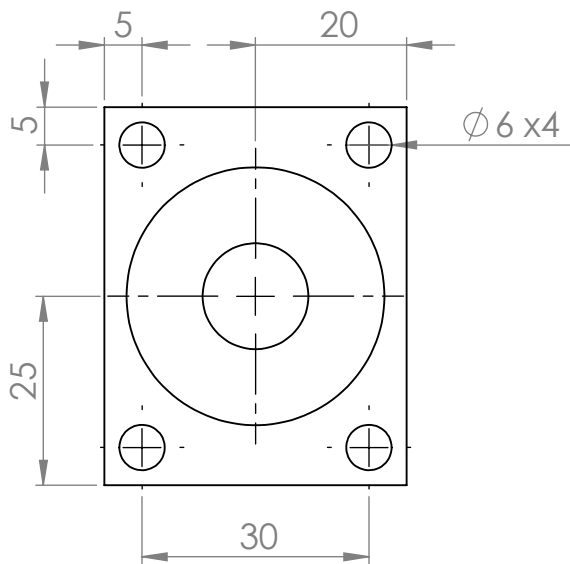
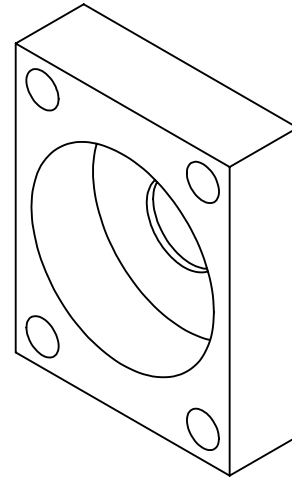
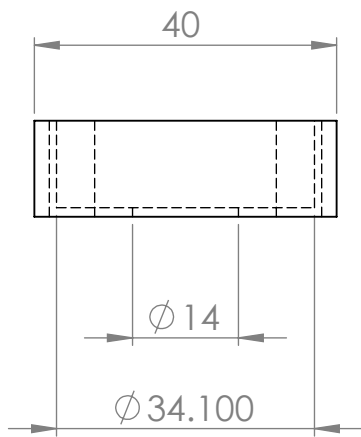
N.º DE DIBUJO

base_motor

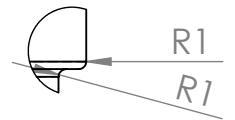
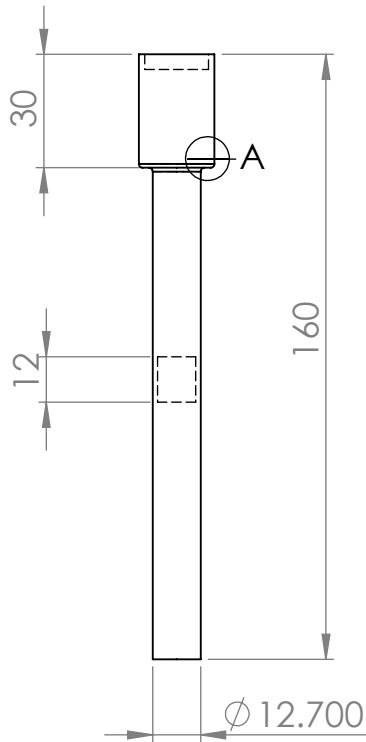
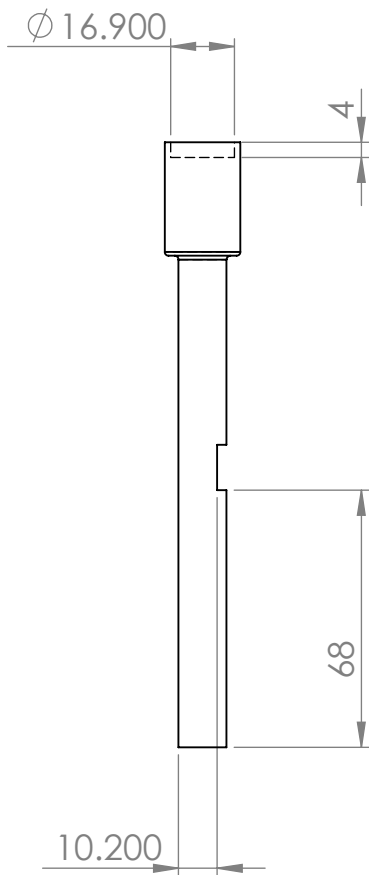
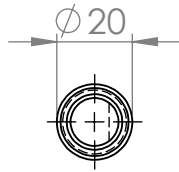
A4

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CAUID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		chumacera_media A4	
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

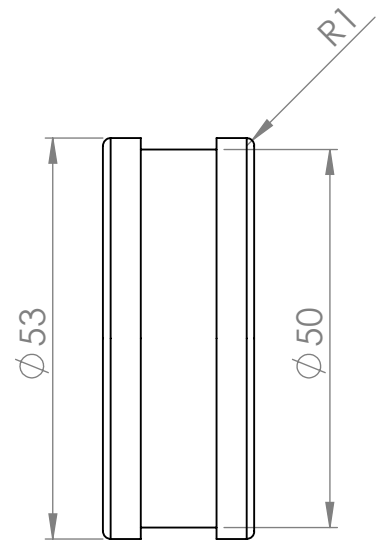
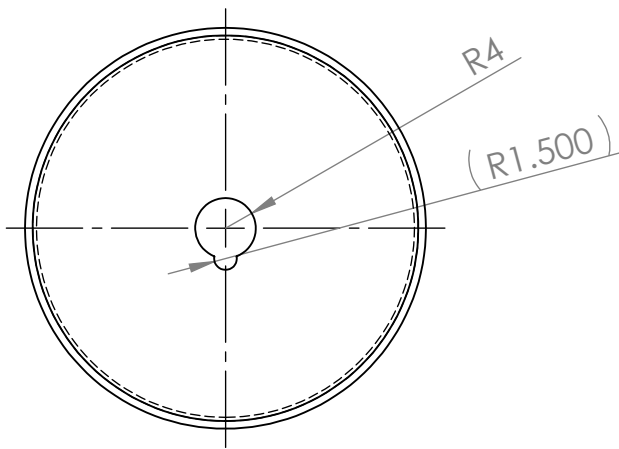
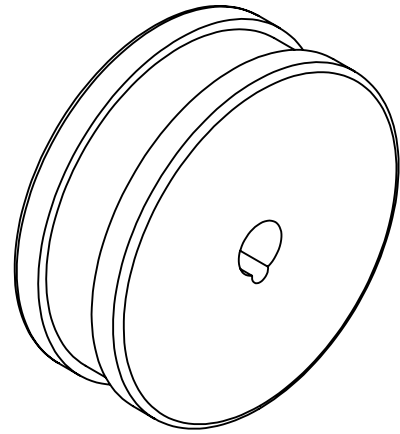
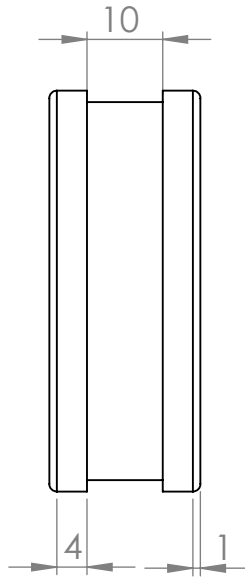
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:		
N.º DE DIBUJO	eje_torsión	A4
ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

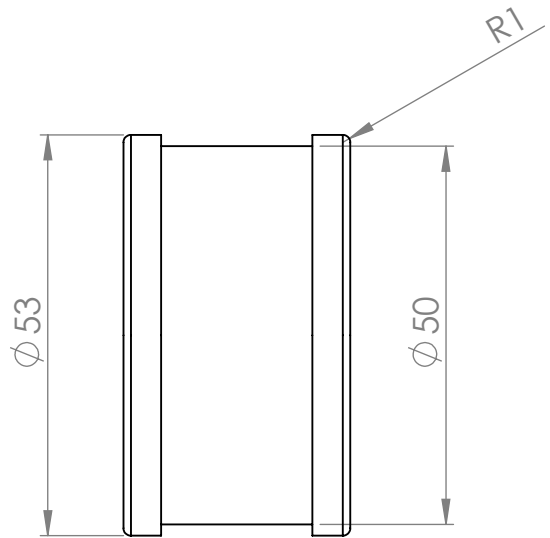
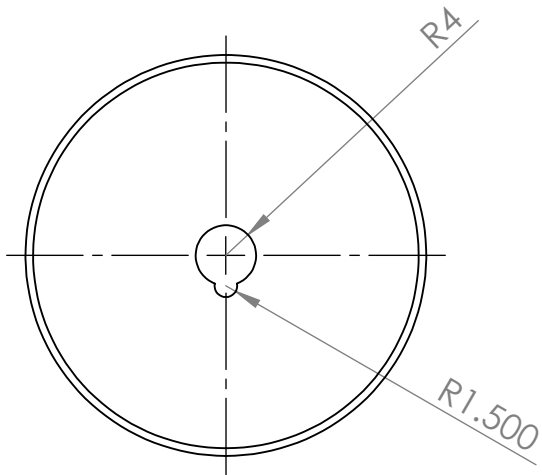
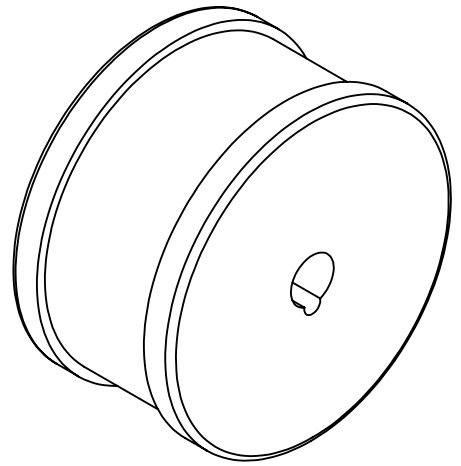
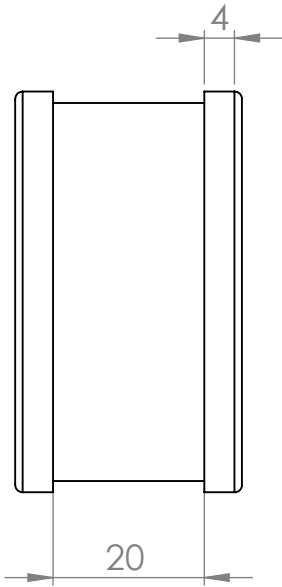
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	
N.º DE DIBUJO	Mandril_10mm
ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
	A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

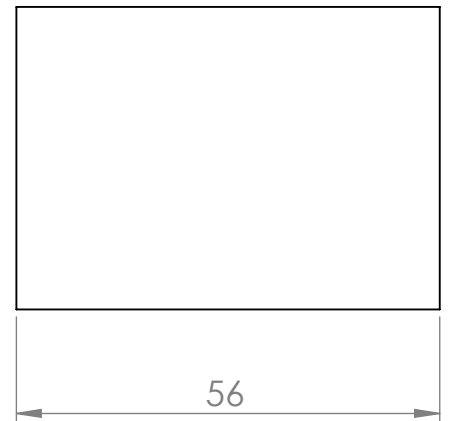
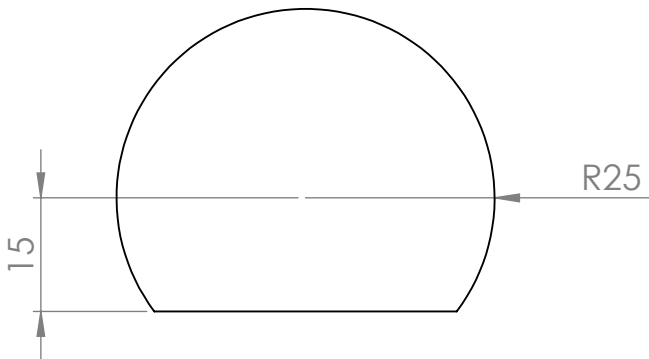
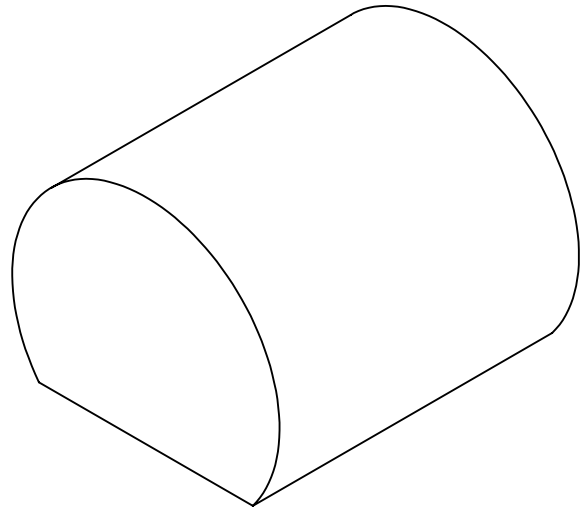
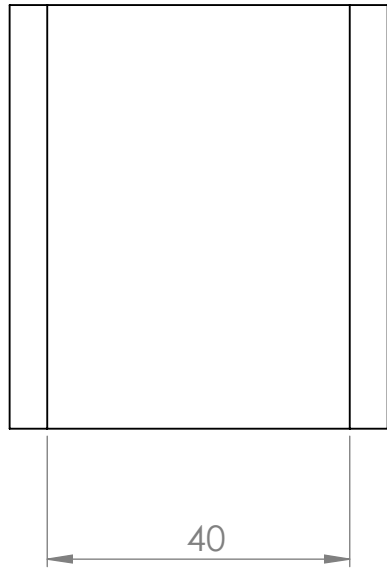
REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	
N.º DE DIBUJO	Mandril_20mm
ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
	A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

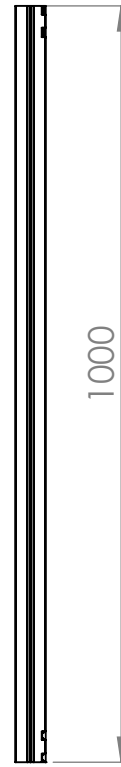
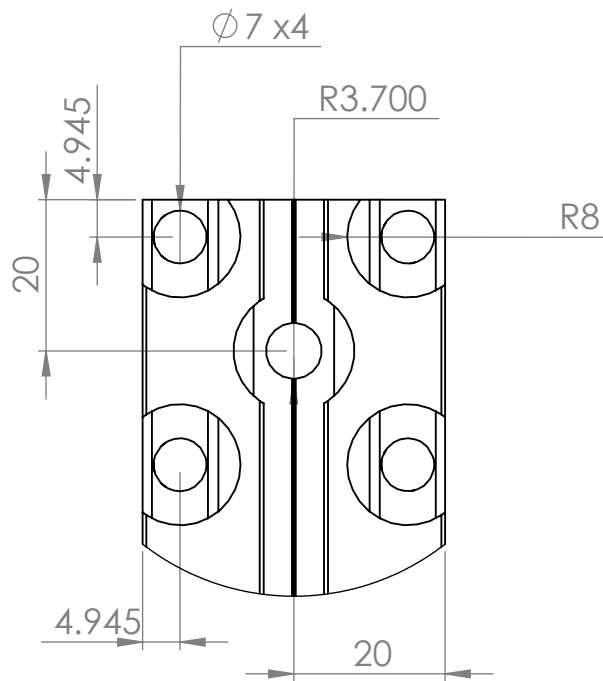
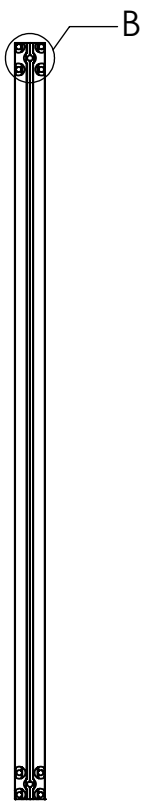
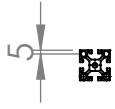
TÍTULO:

N.º DE DIBUJO

Mandril_flexión_base⁴

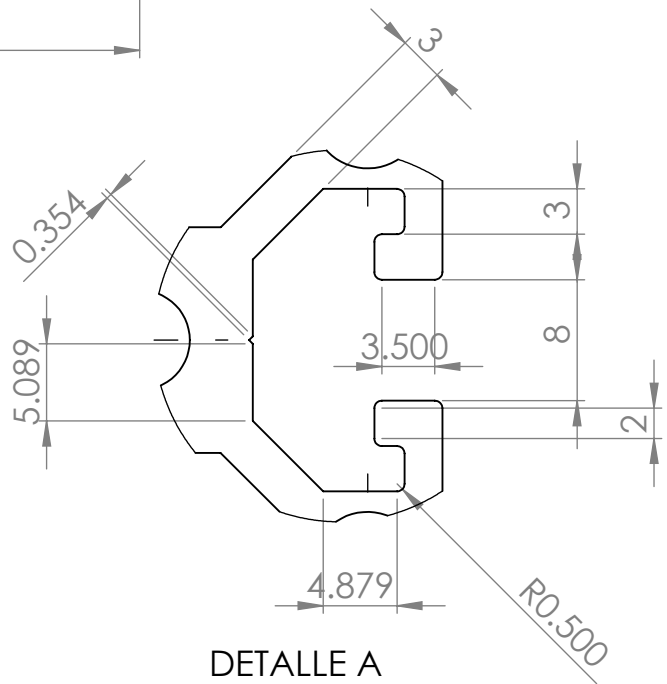
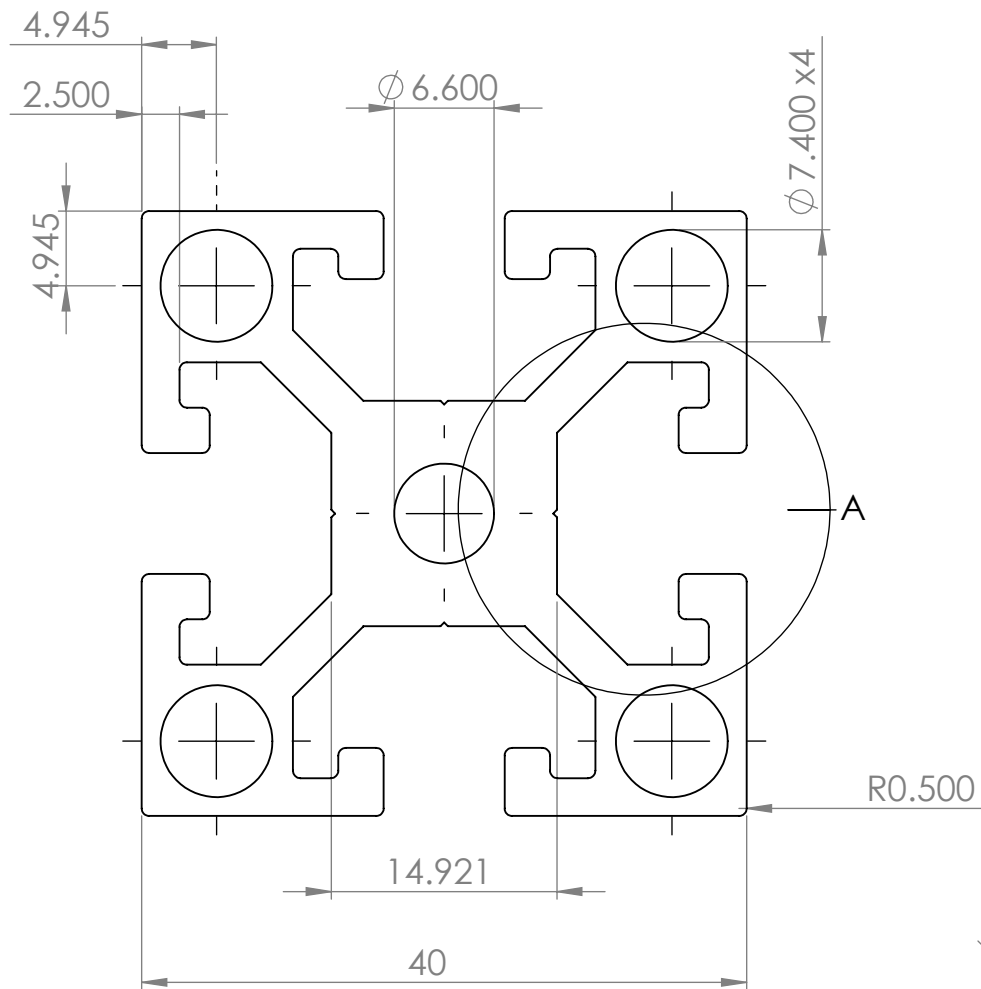
ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
NOMBRE		FIRMA		FECHA							
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CAUID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		marco_sup_inf	
								ESCALA: 1:10		A4	
						PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

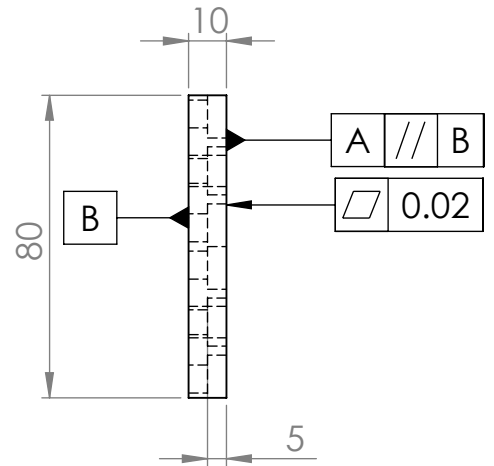
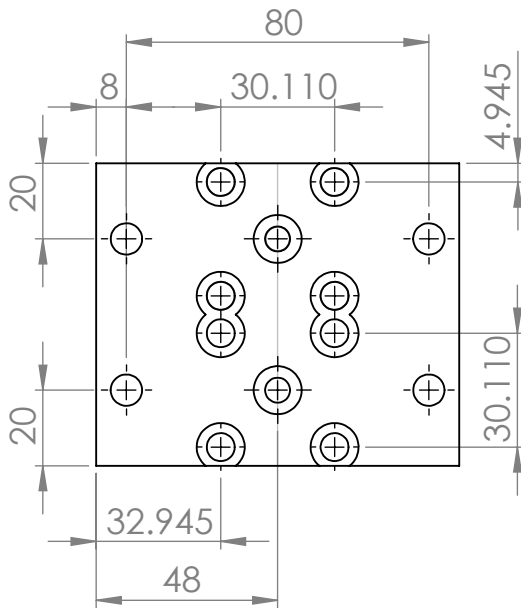
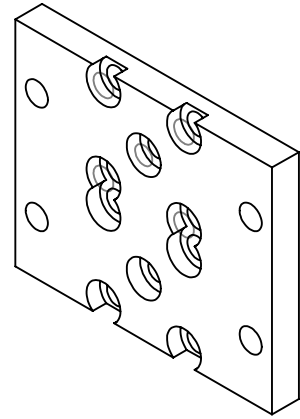
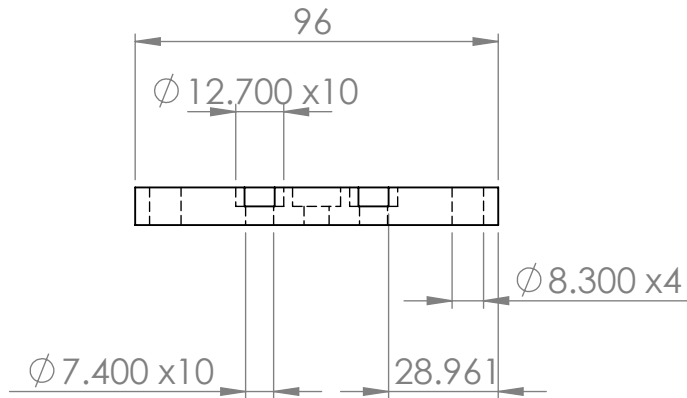
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	
N.º DE DIBUJO	perfil_40
ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
	A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUID.				MATERIAL:
				PESO:

TÍTULO:

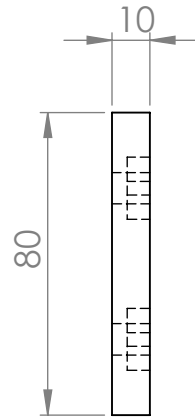
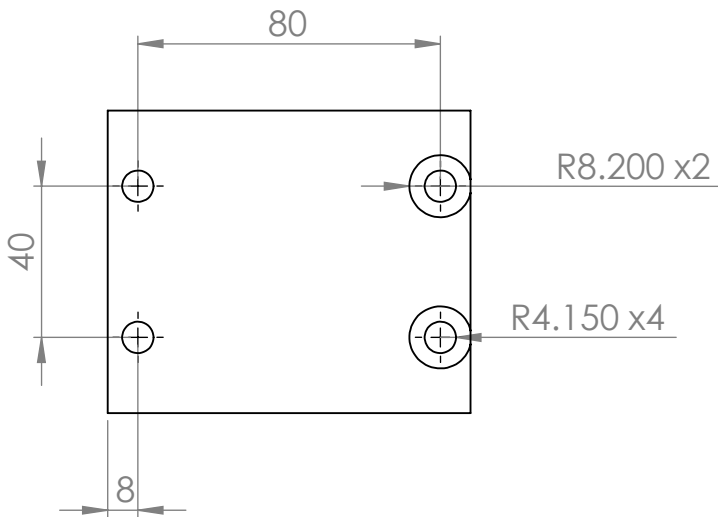
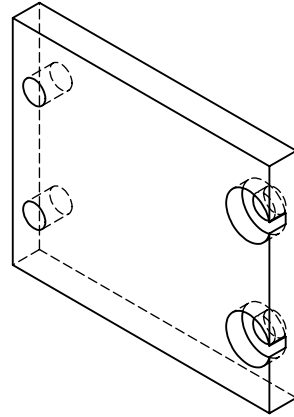
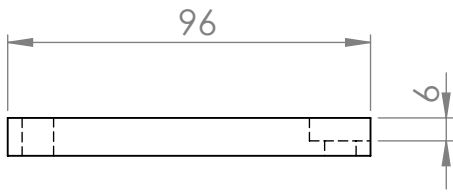
N.º DE DIBUJO

placa_slider

A4

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

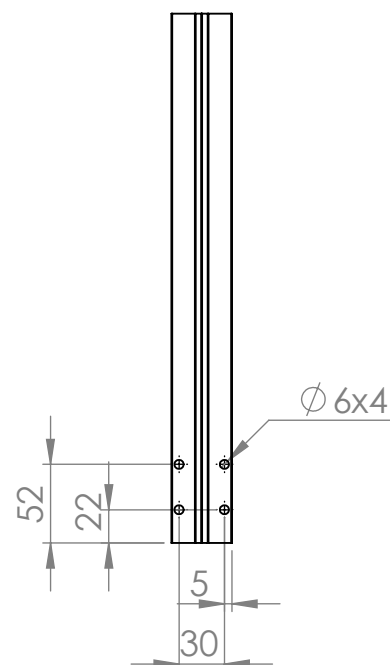
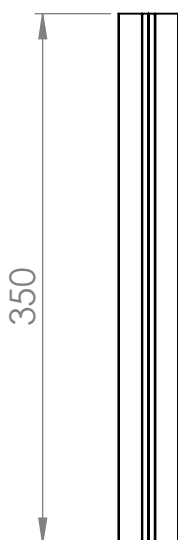
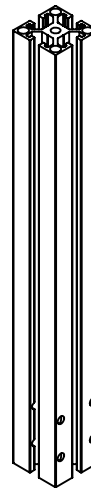
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	
N.º DE DIBUJOS	Placa_slider_flexión A4
ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

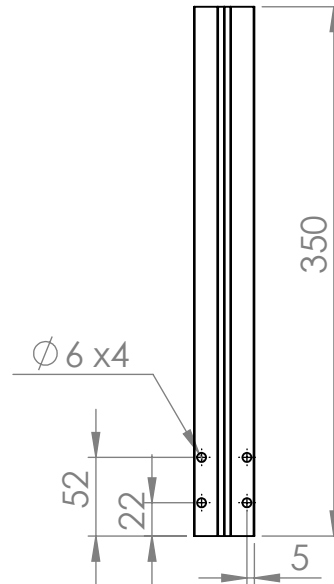
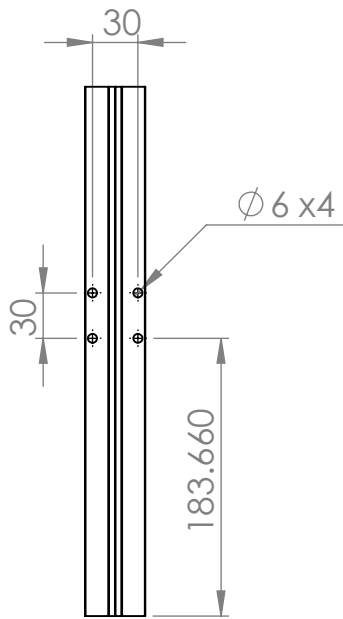
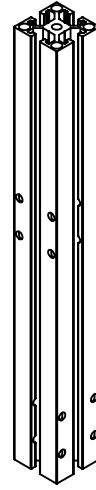
N.º DE DIBUJO

poste_fijo_der

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

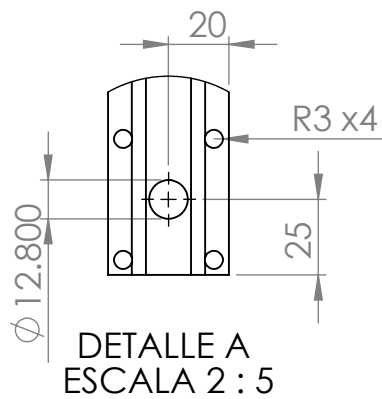
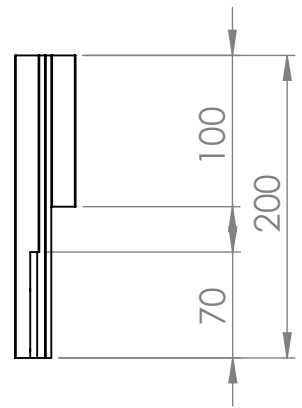
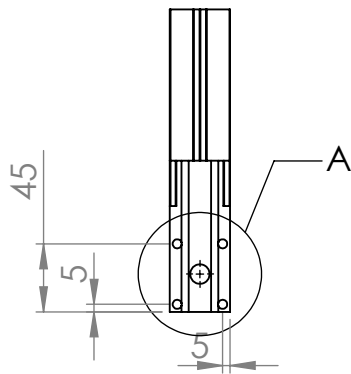
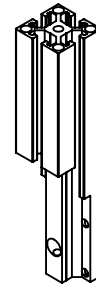
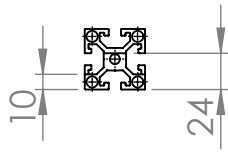
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	poste_fijo_izq	A4
ESCALA: 1:5				



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

N.º DE DIBUJO

poste_móvil_torsión^{A4}

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

Anexo 3

El presente es la recopilación de las rutas de manufactura y los códigos de control numérico correspondientes a las piezas que por diseño se deben de manufacturar.

El orden de la información presentada es el siguiente:

1. Ruta de manufactura
2. En caso de requerir operaciones CNC, la ubicación del cero pieza y el código cómo debe de ser cargado a la máquina indicando el orden de las herramientas el magazine y su correspondiente con la lista del capítulo 4.

1. Placa_montura:

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
Placa_montura	1	Acero 4140	SAE_4140	50.8x46x7.93	40x40x6.35	71.73	0	71.73

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [m]	d [m]	fr [mm/min]	f [mm/filo]	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	Careado de desbaste	1	48.3x46x7.93	46	2.5	525	0.2	65	17.78	7.93	12.7	0.11	1	0.11	15	15.1	
2	FVM	Careado de desbaste	1	45.8x46x7.93	46	2.5	525	0.2	65	17.78	7.93	12.7	0.11	1	0.11		0.11	
3	FVM	Careado de acabado	1	45.4x46x7.93	46	0.4	447	0.1	11	17.78	7.93	12.7	0.13	1	0.13	2	2.13	girar el trabajo

4	FVM	Careado de desbaste	1	42.9x46x7.93	46	2.5	525	0.2	65	17.78	7.93	12.7	0.11	1	0.11	0.11		
5	FVM	Careado de desbaste	1	40.4x46x7.93	46	2.5	525	0.2	65	17.78	7.93	12.7	0.11	1	0.11	0.11		
6	FVM	Careado de acabado	1	40x46x7.93	46	0.4	447	0.1	11	17.78	7.93	12.7	0.13	1	0.13	0.13		
7	FVM	Careado de desbaste	1	40x43.5x7.93	40	2.5	525	0.2	65	17.78	7.93	12.7	0.10	1	0.10	2	2.10	girar el trabajo
8	FVM	Careado de acabado	1	40x43x7.93	40	0.5	894	0.2	11	17.78	7.93	12.7	0.05	1	0.05	0.05		
9	FVM	Careado de desbaste	1	40x40.5x7.93	40	2.5	525	0.2	65	17.78	7.93	12.7	0.10	1	0.10	2	2.10	girar el trabajo
10	FVM	Careado de acabado	1	40x40x7.93	40	0.5	894	0.2	11	17.78	7.93	12.7	0.05	1	0.05	0.05		
11	FVM	Careado de acabado	1	40x40x7.14	40	0.7	447	0.1	11	17.78	40	12.7	0.11	3	0.35	2	2.35	girar el trabajo
12	FVM	Careado de acabado	1	40x40x6.35	40	0.7	447	0.1	11	17.78	40	12.7	0.11	3	0.35	2	2.35	Desmontar la pieza
13	FV CNC	cajeado circular					200		15						12.7	25	37.7	preparación equipo Emco VMC 100
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	TM AB [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios						
14	FV CNC	taladrado de centros	2	60	80				0.6	0	0.67							
15	FV CNC	taladrado de desbaste	4	60	80				1.2	2	3.2	Desmontar la pieza						

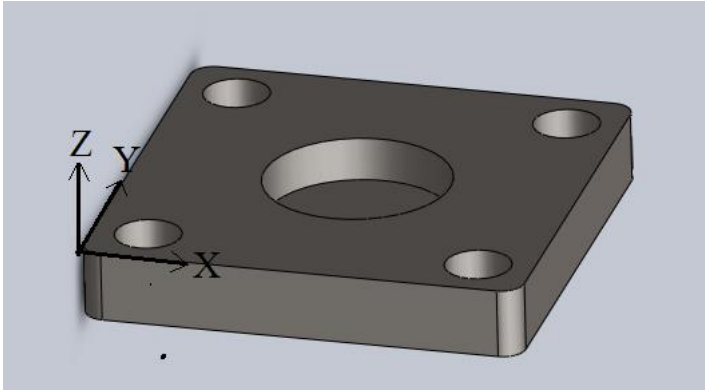


Figura 1. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "placa_montura"

#HERR/DESCRIPCIÓN

1/CORTADOR RECTO 1/4 IN

2/BROCA DE CENTROS

3/BROCA 1/4 IN

%1

N0001 G54 G71 T0101 M03 S1500

N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0020 G99

N0030 G88 X20.0 Y15.0 Z4.0

P1=16.9 P3=1.0 D3=1000 D4=1 D5=3 D7=1 F200

N0040 G01 Z30.0

N0050 T0202 S800 M03

N0060 G99

N0070 G74 X5.0 Y5.0 P0=30.0 P1=30.0 D0=2 D1=2

N0080 G75 G82 P3=2 Z-4.0 D4=5 F60

N0090 G01 X5.0 Y5.0

N0100 T0303 S800 M03

N0110 G99

N0120 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-8.3 F60
 N0130 G01 X35.0 Y5.0
 N0140 G99
 N0150 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-8.3 F60
 N0160 G01 X35.0 Y35.0
 N0170 G99
 N0180 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-8.3 F60
 N0190 G01 X5.0 Y35.0
 N0200 G99
 N0210 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-8.3 F60
 N0220 G00 Z20.0
 N0230 M30

2. eje_torsión

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
Eje_torsión	1	Acero 4041	SAE_4041	ϕ=63.5, L=180	90.84	0	90.84

No. De Operación	Procesos	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	
1	TM	careado	5	0.1	400	2	120000	63.5	2	0.033	20	20.03	
No. De Operación	Procesos	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	
2	TTM	taladrado	3	15000	600	3	0.6	0.00024	1	0.00024	3	3.00024	Girar la pieza

No. De Operación	Procesos	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	
3	TM	careado	5	0.1	400	2	120000	63.5	2	0.03	2	2.03	
No. De Operación	Procesos	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	
4	TM	taladrado	3	0.1	600	2	15000	0.6	1	0.6	5	5.6	desmontar chuck
5	TM	avocardado	2	0.4	600	4	15000	1.95	1	1.95	1	2.95	montar cortadores
6	TM	avocardado	6	0.4	600	4	15000	4	1	4	1	5	
7	TM	avocardado	7	0.4	600	4	15000	5.1	1	5.1	1	6.1	
No. De Operación	Procesos	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	
8	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	59.5	183	0.71	4	4.71	Sujeción de plato con perro de arrastre y contrapunto
9	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	55.5	183	0.66	1	1.66	
10	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	51.5	183	0.61	1	1.61	
11	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	47.5	183	0.56	1	1.56	
12	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	43.5	183	0.52	1	1.52	
13	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	39.5	183	0.47	1	1.47	
14	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	35.5	183	0.42	1	1.42	
15	TM	cilindrado de	5	0.4	400	4	120000	31.5	183	0.37	1	1.37	

		desbaste																	
16	T M	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	27.5	183	0.32	1	1.32							
17	T M	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	23.5	183	0.28	1	1.28							
18	T M	cilindrado de acabado	5	0.1	600	2	100000	20.5	183	1.17	1	2.17							
19	T M	cilindrado de acabado	5	0.1	600	0.25	100000	20	2	0.01	2	2.01							
20	T M	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	16	135	0.14	1	1.14							
21	T M	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	3	120000	13	135	0.11	1	1.11							
22	T M	cilindrado de acabado	5	0.1	600	0.35	100000	12.7	135	0.53	3	3.53	cambio de herramienta						
23	T M	tronzado	8	0.001	600	10	100000	1	2	0.06	3	3.06	desmontar la pieza						
No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	f [mm/filo]	nt	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios	
24	FV M	fresado de acabado	2	12	0.83	447	0.1	4	1117	4.445	12	3.175	0.03	3	0.11	15	15.11	se monta en el cabezal divisor	

3. chumacera_media

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
chumacera_media	2	Acero 6063	10	47x57x12.7	40x50x6.35	25.14	36.4	61.54

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	1	44x57x12.7	57	3	80	656	17.78	12.7	12.7	0.87	1	0.87	6	6.87	
2	FVM	careado de acabado	1	43.5x57x12.7	57	0.5	60	1117	17.78	12.7	12.7	1.16	1	1.16	0	1.16	girar la pieza
3	FVM	careado de desbaste	1	40.5x57x12.7	57	3	80	656	17.78	12.7	12.7	0.87	1	0.87	3	3.87	
4	FVM	careado de acabado	1	40.0x57x12.7	57	0.5	60	1117	17.78	12.7	12.7	1.16	1	1.16	0	1.16	girar la pieza
5	FVM	careado de desbaste	1	40.0x54x12.7	40	3	80	656	17.78	12.7	12.7	0.65	1	0.65	3	3.65	
6	FVM	careado de acabado	1	40.0x53.5x12.7	40	0.5	60	1117	17.78	12.7	12.7	0.87	1	0.87	0	0.87	girar la pieza
7	FVM	careado de desbaste	1	40.0x50.5x12.7	40	3	80	656	17.78	12.7	12.7	0.65	1	0.65	3	3.65	
8	FVM	careado de acabado	1	40.0x50.0x12.7	40	0.5	60	1117	17.78	12.7	12.7	0.87	1	0.87	3	3.87	girar la pieza

No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]
9	FV CNC	taladrado de centros	3	60	800	3	0.6	1.1	15	16.1
10	FV CNC	taladrado de debaste	4	60	800	12.7	1.5	2.3	0	2.3

No. De operación	Proceso	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
------------------	---------	-----------	-------------	---------	-----------	----------	-----------	-------------

1

11	cajeado circular	2	60	800	16	4	18	desmontar la pieza
----	------------------	---	----	-----	----	---	----	--------------------

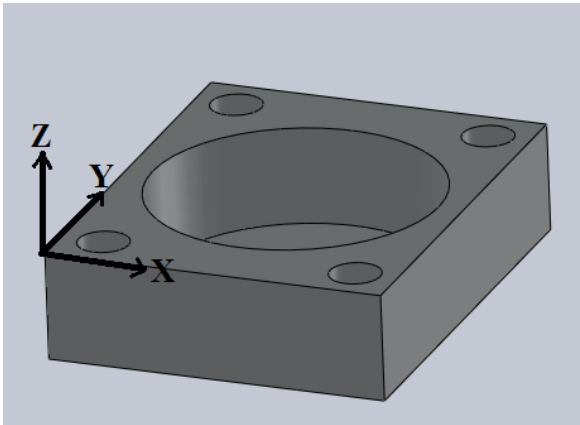


Figura 2. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "chumacera_media"

#HERR/DESCRIPCIÓN

1/BROCA DE CENTROS

2/BROCA 1/4 IN

3/ CORTADOR RECTO 1/4 IN

%2

N0005 G54 G71 G94 T0101 S800 M03

N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0015 G99
 N0020 G74 X5.0 Y5.0 P0=30.0 P1=40.0 D0=2.0 D1=2.0
 N0025 G75 G82 P3=2.0 Z-2.0 D4=5 F60
 N0030 T0202 S800 M03
 N0035 G99
 N0040 G74 X5.0 Y5.0 P0=30 P1=40.0 D0=2 D1=2.0
 N0045 G75 G82 P3=2.0 Z-14.5 D4=5 F60
 N0050 G00 Z10.0 F200
 N0055 T0303 S1500 M03
 N0060 G88 X20.0 Y25.0 Z-11.5
 P1=34.99 P3=1.0 D3=1000 D4=1 D5=2 D7=1 F200
 N0070 G99
 N0080 G88 X20.0 Y25.0 Z-13.0
 P1=14.0 P3=1 D3=1000 D4=1 D5=02 D7=1 F200
 N0090 G01 Z30.0 F200
 N0100 M30

4. placa_slider

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
placa_slider	1	aluminio 6063	10	47x57x12.7	40x50x6.35	77.03583333	52.4	129.4358333

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	nt	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	1	99.1x90x12.7	90	2.5	80	4	656	17.78	12.7	12.7	1.28	1	1.28	10	11.28	girar pieza

2	FVM	careado de acabado	1	98.8x90x12.7	90	0.3	60	4	1117	17.78	12.7	12.7	1.71	1	1.71	0	1.71	
3	FVM	careado de desbaste	1	96.3x90x12.7	90	2.5	80	4	656	17.78	12.7	12.7	1.28	1	1.28	0	1.28	girar pieza
4	FVM	careado de acabado	1	96x90x12.7	90	0.3	60	4	1117	17.78	12.7	12.7	1.71	1	1.71	0	1.71	
5	FVM	careado de desbaste	1	96x86x12.7	96	4	80	4	656	17.78	12.7	12.7	1.36	1	1.36	0	1.36	girar pieza
6	FVM	careado de acabado	1	96x85x12.7	96	1	60	4	1117	17.78	12.7	12.7	1.81	1	1.81	0	1.81	
7	FVM	careado de desbaste	1	96x81x12.7	96	4	80	4	656	17.78	12.7	12.7	1.36	1	1.36	0	1.36	girar pieza
8	FVM	careado de acabado	1	96x80x12.7	96	1	60	4	1117	17.78	12.7	12.7	1.81	1	1.81	0	1.81	
9	FVM	careado de desbaste	1	96x80x11.7	96	1	80	4	656	17.78	80	12.7	1.36	5	6.79	0	6.79	girar pieza
10	FVM	careado de acabado	1	96x80x11.35	96	0.35	60	4	1117	17.78	80	12.7	1.81	5	9.06	0	9.06	
11	FVM	careado de desbaste	1	96x80x10.35	96	1	80	4	656	17.78	80	12.7	1.36	5	6.79	0	6.79	desmontar la pieza
12	FVM	careado de acabado	1	96x80x10	96	0.35	60	4	1117	17.78	80	12.7	1.81	5	9.06	0	9.06	montar en fresadora CNC
13	FV CNC	taladrado de centros	2				60		1500						20	25.20		
14	FV CNC	taladrado de desbaste	4				60		1500						7.40	0	7.40	
15	FV CNC	taladrado de desbaste	9				60		1500						1.20	0	1.20	
16	FV CNC	taladrado de desbaste	10				60		1500						10.50	0	10.50	
17	FV CNC	abocardado	6				60		1500						6.10	2	8.10	desmontar la pieza

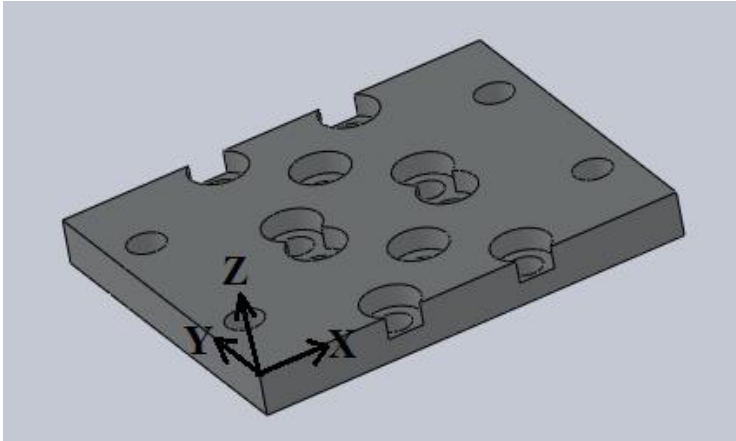


Figura 3. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "placa_slider"

#HERR/DESCRIPCIÓN

1/BROCA DE CENTROS

2/BROCA 1/4 IN

3/ BROCA 21/64 [IN]

4/ CORTADOR RECTO DE 1/2

N0000 G54 G71 G94 T0101 M03 S1500

N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0

N0015 G74 X8.0 Y20.0 P0=80 P1=56

D0=2 D1=2

N0020 G75 G82 P3=1 Z-2.0 D4=5 F60

N0025 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0

N0030 G99

N0035 G74 X32.945 Y44.945 P0=30.11 P1=30.11

D0=2 D1=2

N0040 G75 G82 P3=1 Z-2.0 D4=5 F60

N0045 G99

N0050 G74 X32.945 Y4.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0055 G75 G82 P3=1 Z-2.0 D4=5 F60
N0060 G00 X48.0 Y20.0 Z2.0 F80
N0065 G01 Z-2.0 F60
N0070 G01 Z2.0 F60
N0075 G00 X48.0 Y76.0 F80
N0080 G01 Z-2.0 F60
N0085 G01 Z2.0 F60
N0090 G00 Z60.0 F500
N0095 T0202 M03 S1500 (BROCA 1/4)
N0100 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0
N0105 G74 X8.0 Y20.0 P0=80 P1=56
D0=2 D1=2
N0110 G75 G82 P3=1 Z-12.2 D4=5 F60
N0115 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0
N0120 G99
N0125 G74 X32.945 Y44.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0130 G75 G82 P3=1 Z-12.2 D4=5 F60
N0135 G99
N0140 G74 X32.945 Y4.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0145 G75 G82 P3=1 Z-12.2 D4=5 F60
N0150 G00 X48.0 Y20.0 Z2.0 F80
N0155 G01 Z-12.2 F60
N0160 G01 Z2.0 F60
N0165 G00 X48.0 Y76.0 F80
N0170 G01 Z-12.2 F60
N0175 G01 Z2.0 F60
N0180 G00 Z60.0 F500
N0185 T0303 M03 S1500

N0190 G74 X8.0 Y20.0 P0=80 P1=56
D0=2 D1=2
N0195 G75 G82 P3=1 Z-12.5 D4=5 F60
N0200 G99
N0205 G00 Z60.0 F500
N0210 G74 X32.945 Y44.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0215 G75 G82 P3=1 Z-12.3 D4=5 F60
N0220 G99
N0225 G74 X32.945 Y4.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0230 G75 G82 P3=1 Z-12.3 D4=5 F60
N0235 G00 X48.0 Y20.0 Z2.0 F80
N0237 G99
N0240 G01 Z2.0 F60
N0245 G00 X48.0 Y76.0 F80
N0250 G01 Z-12.3 F60
N0255 G01 Z2.0 F60
N0260 G00 Z60.0 F500
N0265 T0404 M03 S1200
N0270 G74 X8.0 Y20.0 P0=80 P1=56
D0=2 D1=2
N0275 G75 G82 P3=1 Z-5.0 D4=5 F60
N0280 G99
N0285 G00 Z60.0 F500
N0290 G74 X32.945 Y44.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0295 G75 G82 P3=1 Z-5.0 D4=5 F60
N0300 G99
N0305 G74 X32.945 Y4.945 P0=30.11 P1=30.11
D0=2 D1=2
N0310 G75 G82 P3=1 Z-5.0 D4=5 F60

N0315 G00 X48.0 Y20.0 Z2.0 F80
 N0320 G01 Z-5.0 F60
 N0325 G00 X48.0 Y76.0 F80
 N0330 G01 Z-5.0 F60
 N0335 G01 Z2.0 F60
 N0340 G00 Z60.0 F500
 N0345 M30

5. poste_móvil_torsión

Nombre de la pieza/ plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
poste_móvil_torsión	2	aluminio 6105-T5	10	40x40x220	128.81	25.4	154.21

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	nt	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	4	40x40x211	42	9	80	4	656	4.45	40	3.175	0.56	9	5.08	3	8.08	
2	FVM	careado de acabado	4	40x40x210	42	1	60	4	1117	4.45	40	3.175	0.75	9	6.78	3	9.78	girar la pieza
3	FVM	careado de desbaste	4	40x40x201	42	9	80	4	656	4.45	40	3.175	0.56	9	5.08	3	8.08	
4	FVM	careado de acabado	4	40x40x200	42	1	60	4	1117	4.45	40	3.175	0.75	9	6.78	3	9.78	
5	FVM	careado de desbaste	1		100	7.5	80	4	656	17.78	40	12.7	1.41	3	4.23	3	7.23	
6	FVM	careado de desbaste	1		100	7.5	80	4	656	17.78	40	12.7	1.41	3	4.23	3	7.23	
7	FVM	careado de acabado	1		100	1	60	4	1117	17.78	40	12.7	1.88	3	5.64	3	8.64	Cambio de herramienta
8	FVM	careado de desbaste	2		70	9	60	4	656	4.45	40	3.175	1.22	9	10.98	2	12.98	

9	FVM	careado de acabado	2		70	1	80	4	1117	4.45	7.88	3.175	0.91	2	1.83	2	3.83	
10	FVM	careado de desbaste	2		70	9	60	4	656	4.45	40	3.175	1.22	9	10.98	2	12.98	
11	FVM	careado de acabado	2		70	1	80	4	1117	4.45	7.88	3.175	0.91	9	8.23	2	10.23	Cambio de herramienta
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	N (RPM)	V [mm/min]	TMC	TP [min]	TTO [min]	Comentarios									
12	FV CNC	barrenado de centros	2	800	60	0.70	15	15.7										
13	FV CNC	taladrado de desbaste	4	800	60	2.10		2.1										
14	FV CNC	cajeado circular	2	1500	200	5.60	2	7.6	desmontar la pieza									
15	MANUAL		13					30	Sujetar la pieza en una prensa y preparar el maneral. Se realizará cuerda en cada uno de los 5 agujeros del perfil que tienen contacto con la placa_slider									

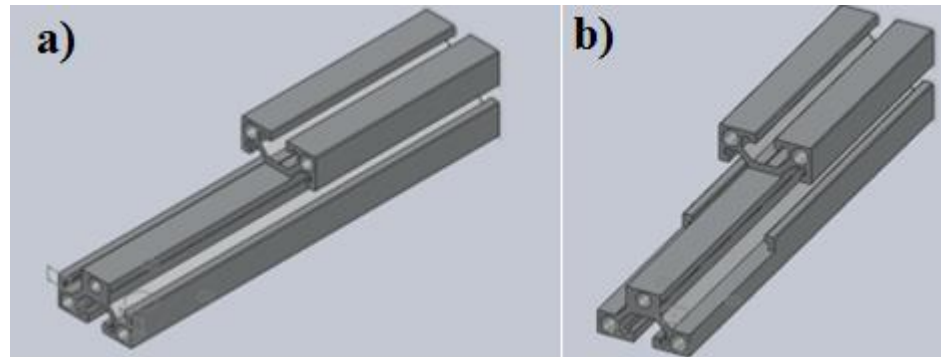


Figura 4. a) Vista de la pieza posterior a realizar las operaciones 5, 6 y 7. b) vista después de las operaciones 8, 9, 10, 11

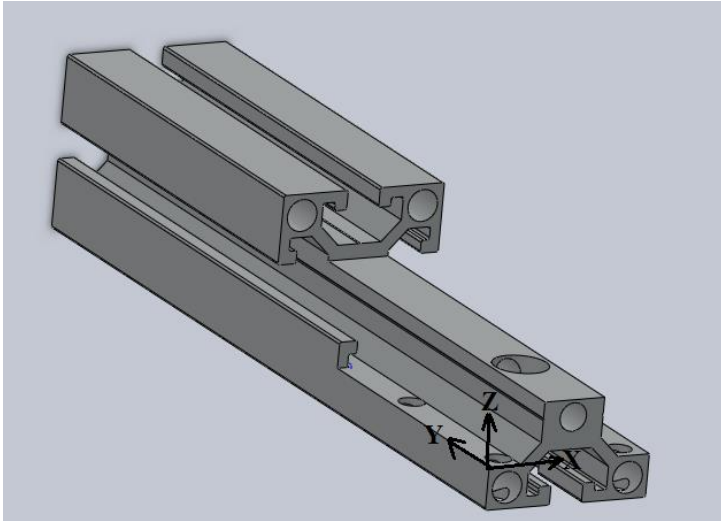


Figura 5. Vista del origen de los ejes coordenados de la pieza "poste_móvil_torsión"

#HERR/DESCRIPCIÓN

1/BROCA DE CENTROS

2/BROCA 1/4 IN

3/ CORTADOR RECTO 1/4 IN

%3

N0005 G54 G71 G94 T0101 S800 M03

N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0015 G99

N0020 G74 X5.0 Y5.0 P0=30.0 P1=40.0 D0=2.0 D1=2.0

N0025 G75 G82 P3=2.0 Z-2.0 D4=5 F60

N0030 T0202 S800 M03

N0035 G99

N0040 G74 X5.0 Y5.0 P0=30 P1=40.0 D0=2 D1=2.0

N0045 G75 G82 P3=2.0 Z-18.0 D4=5 F60

N0050 G00 Z35.0 F200

N0055 T0303 S1500 M03
 N0060 G88 X20.0 Y25.0 Z-25.0
 P1=12.8 P3=1.0 D3=1000 D4=1 D5=2 D7=1 F200
 N0070 M30

6. Mandril_flexión_base

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
mandril_flexión_base	1	Acero 4041	SAE_4140	ϕ=63.5, L=180	66.30	0	66.30

No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]
1	TM	careado	5	0.1	400	2	120000	63.5	2	0.03	20	20.03
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]
2	TTM	taladrado de centros	3	0.1	600	2	0.6	26	1	26.00	2	28.00
												Desmontar broquero y montar contrapunto
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]
4	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	63.5	117	0.49	1	1.49
5	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	2.5	120000	55.5	117	0.42	1	0.42
6	TM	cilindrado de acabado	5	0.1	600	0.25	100000	50.5	117	1.86	1	1.86
												cambio de herramienta
7	TM	tronzado	8	0.1	600	0.2	100000	50	2	0.03	7.5	0.24
												el tronzado se efectúa a L=58.5 y se obtienen dos piezas: A y B con las mismas características
8	TM	careado (A)	5	0.1	400	2	120000	50	2	0.03	1	0.03
												corte del material de sujeción
9	TM	careado (B)	5	0.1	400	2	120000	50	2	0.03	1	0.03
												corte del material de sujeción y cambio del contrapunto por el broquero con broca de centros

No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	
10	TTM	taladrado (A)	3	0.1	600	2	15000	0.6	1		5		
11	TTM	taladrado (B)	3	0.1	600	2	15000	0.6	1	0.60	1	5.60	
										0.60		1.60	Desmontar broquero y montar contrapunto. Montar la cuchilla de tronzar
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	
12	TM	tronzado (A)	8	0.01	600	0.2	100000	1	2		5		desmontar pieza A y montar pieza B
13	TM	tronzado (B)	8	0.01	600	0.2	100000	1	2	0.01	2	5.01	desmontar pieza B
										0.01		2.01	

7. Placa_slider_flexión

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
placa_slider_flexión	2	acero 1045	SAE_1045	101.6x90.0x12.7	96x80x10	37.92	16.8	54.72

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	f [mm/filo]	nt	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	1	99.1x90x12.7	90	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	0.98	1	0.98	11	11.98	
2	FVM	careado de acabado	1	98.8x90x12.7	90	0.3	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.77	1	0.77	2	2.77	girar pieza
3	FVM	careado de desbaste	1	96.3x90x12.7	90	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	0.98	1	0.98	0	0.98	
4	FVM	careado de acabado	1	96.0x90x12.7	90	0.3	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.77	1	0.77	2	2.77	
5	FVM	careado de desbaste	1	96.0x87.5x12.7	96	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1.04	1	1.04	0	1.04	
6	FVM	careado de desbaste	1	96.0x85.5x12.7	96	2	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1.04	1	1.04	0	1.04	
7	FVM	careado de acabado	1	96.0x85x12.7	96	0.5	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	0.81	1	0.81	2	2.81	girar pieza

8	FVM	careado de desbaste	1	96.0x82.5x12.7	96	2.5	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1	0	1.04	1.04	1.04	
9	FVM	careado de desbaste	1	96.0x80.5x12.7	96	2	104.96	0.04	4	656	17.78	12.7	12.7	1	0	1.04	1.04	1.04	
10	FVM	careado de acabado	1	96.0x80.0x12.7	96	0.5	134.04	0.03	4	1117	17.78	12.7	12.7	1	2	0.81	0.81	2.81	girar pieza
11	FVM	careado de acabado	1	96.0x80.0x11.35	90	1.35	134.04	0.03	4	1117	17.78	80	12.7	5	0	0.77	3.83	3.83	
12	FVM	careado de acabado	1	96.0x80.0x10.0	90	1.35	134.04	0.03	4	1117	17.78	80	12.7	5	2	0.77	3.83	5.83	desmontar
13	FV CNC	taladrado de centros	2				60			800					8		1.60	9.60	
14	FV CNC	taladrado de desbaste	9				60			800					0		2.10	2.10	
15	FV CNC	abocardado	6				20			800					2		3.10	5.10	desmontar la pieza

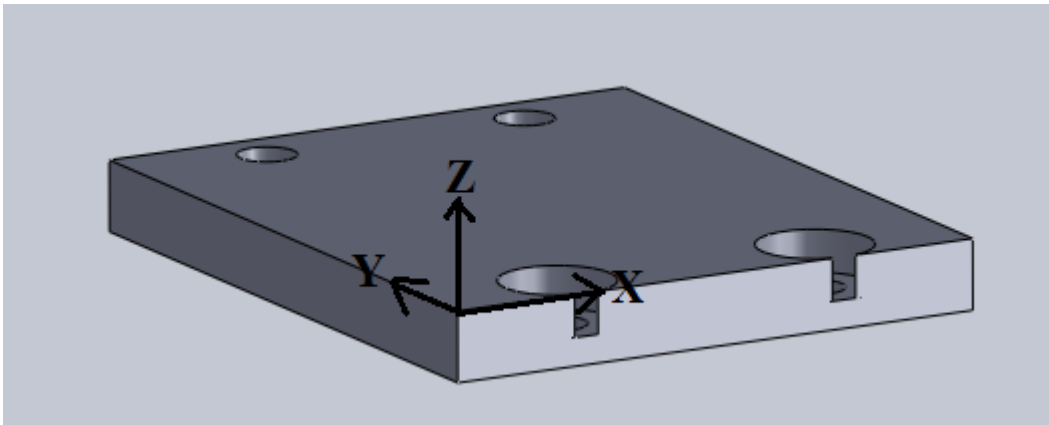


Figura 6. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "placa_slider_flexión"

#HERR/DESCRIPCIÓN

1/BROCA DE CENTROS

2/BROCA 1/4 IN

3/ BROCA 21/64=8.334 MM

4/ CORTADOR 1/2 [IN]

%4

N0005 G54 G71 G94 T0101 S800 M03

N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0

N0015 G99

N0020 G74 X8.0 Y20.0

P0=80 P1=40.0 D0=2.2 D1=2.0

N0025 G75 G82 P3=2.0 Z-16.0 D4=5 F60

N0030 T0202 S800 M03

N0035 G99

N0040 G74 X8.0 Y20.0

P0=80 P1=40.0 D0=2.2 D1=2.0

N0045 G75 G82 P3=2.0 Z-28.5 D4=5 F60

N0050 T0303 S800 M03

N0055 G99

N0060 G74 X8.0 Y20.0

P0=80 P1=40.0 D0=2.2 D1=2.0

N0070 G75 G82 P3=2.0 Z-11.6 D4=5 F60

N0075 T0404 S800 M03

N0080 X8.0 Y20.0 F60

N0085 G01 Z-6.0 F20

N0090 G01 Z2.0

N0100 G00 X8.0 Y60.0

N0105 G01 Z-6.0 F20

N0110 G01 Z2.0

N0115 G00 Z30.0 F200

N0080 M30

8. Mandril_10mm

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
mandril_10mm	1	acero 4041	SAE_4140	ϕ=63.5, L=40	56.07	0	56.07

No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	TM	careado	5	0.1	400	2	120000	63.5	2	0.03	5	5.03	montar broquero con broca de centros
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
2	TTM	taladrado	3	5	600	3	0.6	0.72	1	1.72	3	4.72	cambio de herramienta
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
4	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	63.5	24	0.10	3	3.10	
5	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4	120000	55.5	24	0.09	0	0.09	
6	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	0.625	120000	53	24	0.08	0	0.08	
7	TM	cilindrado de acabado	5	0.1	600	0.75	100000	50	24	0.38	2	2.38	cilndrado desde L=15 hasta L=25. Cambio de herramienta
8	TM	tronzado	8	0.1	600	0.2	100000	1	2	0.00	5	5.00	tronzado en L=15
9	TM	careado	5	0.1	400	2	120000	63.5	2	0.03	2	2.03	girar la pieza
10	TM	tronzado	8	0.1	600	0.2	100000	1	2	0.00	2	2.00	tronzado en L=25.
9	TM	careado	5	0.1	400	2	120000	63.5	2	0.03	2	2.03	Cambiar el contrapunto por el broquero
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
11	TTM	taladrado	11	5	600	24	15	7.8	1	7.80	3	10.80	cambiar herramienta
12	TTM	taladrado	12	5	600	24	20	8.8	1	8.80	10	18.80	colocar el <i>chuck</i> de mordazas independientes y ajustar la pieza

9. Mandril_20mm

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
mandril_20mm	1	acero 4041	SAE_4140	ϕ=63.5, L=50	55.47	0	55.47

No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	TM	careado	5	0.1	400	2.00	120000	63.50		2	5	5.03	montar broquero con broca de centros
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
2	TTM	taladrado de centros	3	5	600	2.00	0.6	0.52	1	0.52	3	2.53	cambio de herramienta
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	f [mm/rev]	N (RPM)	d [mm]	V [mm/min]	Do [mm]	L [mm]	TMC	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
4	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4.00	120000	63.50		32	3	3.13	
5	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	4.00	120000	55.50		32	0	0.12	
6	TM	cilindrado de desbaste	5	0.4	400	0.63	120000	53.00		32	0	0.11	
7	TM	cilindrado de acabado	5	0.1	600	0.75	100000	50.00		24	2	2.38	cilndrado desde L=15 hasta L=35. Cambio de herramienta
8	TM	tronzado	8	0.01	600	0.20	100000	1.00		2	5	5.01	tronzado en L=16
9	TM	careado	5	0.1	400	2.00	120000	63.50		2	2	2.03	girar la pieza
10	TM	tronzado	8	0.01	600	0.20	100000	1.00		2	2	2.01	tronzado en L=39.
11	TM	careado	5	0.1	400	2.00	120000	63.50		2	2	2.03	Cambiar el contrapunto por el broquero
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios

12	TTM	taladrado	11	5	600	35.00	1.25	7.25	1	7.25	2	9.25	cambiar herramienta
13	TTM	taladrado	12	3	600	35.00	0.5	11.83	1	11.83	10	21.83	colocar el <i>chuck</i> de mordazas independientes y ajustar la pieza

10. marco_sup_inf

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
marco_sup_inf	2	aluminio 6105-T5	10	40x40x1020	40x40x1000	92.10	0	92.10

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	4	40x40x1011	42	6.35	80	656	4.445	40.00	3.175	0.56	3	1.69	11	12.69	
2	FVM	careado de acabado	4	40x40x1010	42	6.35	60	1117	4.445	40.00	3.175	0.75	3	2.26	2	4.26	girar la pieza
3	FVM	careado de desbaste	4	40x40x1001	42	6.35	80	656	4.445	40.00	3.175	0.56	3	1.69	0	1.69	
4	FVM	careado de acabado	4	40x40x1000	42	6.35	60	1117	4.445	40.00	3.175	0.75	3	2.26	2	4.26	desmontar la pieza
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	fr [mm/min]	N (RPM)	d [mm]	A [mm]	TMB [min]	No. De barrenos	TMAB [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios				
6	TVM	taladrado de centros	2	20	667	2	1.1	0.155	5	0.78	2	2.78	reposicionamiento				
7	TVM	taladrado de desbaste	4	20	667	40	2	2.1	5	10.50	2	12.50	reposicionamiento				
8	TVM	taladrado de desbaste	10	20	667	40	2.3	2.115	5	10.58	5	15.58	cambio de extremo del trabajo				

9	TVM	taladrado de centros	2	20	667	2	1.1	0.155	5	0.78	2	2.78	reposicionamiento
10	TVM	taladrado de desbaste	4	20	667	40	2	2.1	5	10.50	2	12.50	reposicionamiento
11	TVM	taladrado de desbaste	10	20	667	40	2.3	2.115	5	10.58	5	15.58	desmontar la pieza
12	TVM	avocardado	6	20	667	5	2	0.35	5	1.75	2	3.75	posicionamiento de la pieza
13	TVM	avocardado	6	20	667	5	2	0.35	5	1.75	2	3.75	desmontar la pieza

11. poste_fijo_izq

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
poste_fijo_izquierdo	1	aluminio 6105-T5	10	40x40x370	40x40x350	20.91	24.6	45.51

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	4	40x40x361	42	9.00	80	656.00	4.445	40	3.175	0.56	3	1.69	11	12.69	
2	FVM	careado de acabado	4	40x40x360	42	1.00	60	1,117.00	4.445	40	3.175	0.75	3	2.26	0	2.26	
3	FVM	careado de desbaste	4	40x40x351	42	9.00	80	656.00	4.445	40	3.175	0.56	3	1.69	0	1.69	
4	FVM	careado de acabado	4	40x40x350	42	1.00	60	1,117.00	4.445	40	3.175	0.75	3	2.26	2	4.26	desmontar la pieza
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	N (RPM)	V [mm/min]	TMC	TP [min]	TTO [min]	Comentarios								
5	FV CNC	taladrado centros	2	800	60	0.70	15	15.70	Montar pieza y correr el								

									programa "%5" en la máquina <i>EmcoVMC300</i>	
6	FV CNC	taladrado de desbaste	4	800	60	2.10	7	4.10	girar pieza, correr otro programa	
7	FV CNC	taladrado centros	2	800	60	0.70	0	0.70		
8	FV CNC	taladrado de desbaste	4	800	60	2.10	2	4.10	desmontar la pieza	
			TTO [min]	Comentarios						
9	MANUAL	machuelear	13	60.00	Sujetar la pieza en una prensa y preparar el maneral. Se realizará cuerda en cada uno de los 10 agujeros de los agujeros del perfil					

Arreglo de
barrenos
correspondientes al
programa "%5"

Arreglo de
barrenos
correspondiente al
programa "%6"

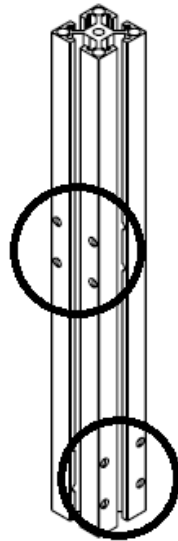


Figura 7. Ubicación de las operaciones de taladrado de la pieza "poste_fijo_izq"

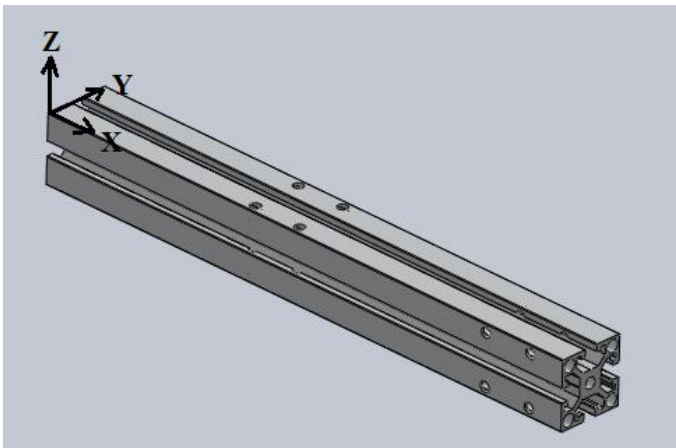


Figura 8. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "poste_fijo_izq" para el programa "%5"

2/BROCA DE CENTROS

3/BROCA 1/4 IN

%5

N0001 G54 G71 T0202 M03 S800

N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0060 G99

N0070 G74 X136.34 Y5.0 P0=30.0 P1=30.0 D0=2 D1=2

N0080 G75 G82 P3=2 Z-3.0 D4=5 F60

N0090 G01 X0.0 Y0.0 Z10.0

N0100 T0303 S800 M03

N0110 G99

N0120 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-40.5 F60

N0130 G01 X35.0 Y5.0

N0140 G99

N0150 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-40.5 F60

N0160 G01 X35.0 Y35.0

N0170 G99

N0180 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-40.5 F60

N0190 G01 X5.0 Y35.0

N0200 G99

N0210 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-40.5 F60

N0220 G00 Z20.0

N0230 M30

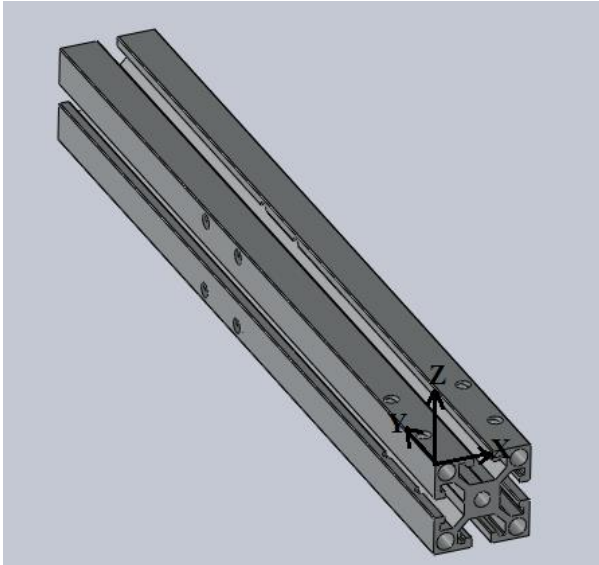


Figura 9. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "poste_fijo_izq" para el programa "%6"

#HERR/DESCRIPCIÓN

2/BROCA DE CENTROS

3/BROCA 1/4 IN

%6

N0001 G54 G71 T0202 M03 S800

N0050 M03 F200

N0060 G99

N0070 G74 X5.0 Y5.0 P0=30.0 P1=30.0 D0=2 D1=2

N0080 G75 G82 P3=2 Z-4.0 D4=5 F60

N0090 G01 X5.0 Y5.0

N0100 T0303 S800 M03

N0110 G99

N0120 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0130 G01 X35.0 Y5.0
 N0140 G99
 N0150 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0160 G01 X35.0 Y35.0
 N0170 G99
 N0180 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0190 G01 X5.0 Y35.0
 N0200 G99
 N0210 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0220 G00 Z20.0
 N0230 M30

12. poste_fijo_der

No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
1	40x40x370	10	aluminio 6105-T5	80.91	19.17	100.08

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	4	40x40x361	42.00	9	80	656	4.445	40	3.175	0.56	3	1.69	11	12.69	
2	FVM	careado de acabado	4	40x40x360	42.00	1	60	1117	4.445	40	3.175	0.75	3	2.26	0	2.26	
3	FVM	careado de desbaste	4	40x40x351	42.00	9	80	656	4.445	40	3.175	0.56	3	1.69	0	1.69	
4	FVM	careado de acabado	4	40x40x350	42.00	1	60	1117	4.445	40	3.175	0.75	3	2.26	2	4.26	desmontar la pieza

5	FV CNC	taladrado centros	2	60	800	0.70	15	15.07	montar la pieza	
6	FV CNC	taladrado de desbaste	4	60	800	2.10	2	4.10	desmontar la pieza	
			TTO [min]	Comentarios						
7	MANUAL	machuelear	13	60	Sujetar la pieza en una prensa y preparar el maneral. Se realizará cuerda en cada uno de los 10 agujeros del perfil					

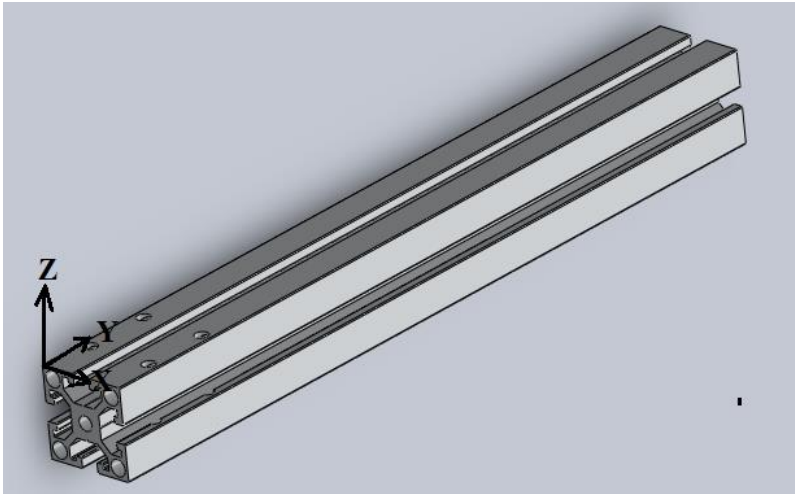


Figura 10. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "poste_fijo_der"

#HERR/DESCRIPCIÓN

2/BROCA DE CENTROS

3/BROCA 1/4 IN

%6

N0001 G54 G71 T0202 M03 S800
 N0050 M03 F200
 N0060 G99
 N0070 G74 X5.0 Y5.0 P0=30.0 P1=30.0 D0=2 D1=2
 N0080 G75 G82 P3=2 Z-4.0 D4=5 F60
 N0090 G01 X5.0 Y5.0
 N0100 T0303 S800 M03
 N0110 G99
 N0120 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0130 G01 X35.0 Y5.0
 N0140 G99
 N0150 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0160 G01 X35.0 Y35.0
 N0170 G99
 N0180 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0190 G01 X5.0 Y35.0
 N0200 G99
 N0210 G75 G83 P3=2.0 D5=30.0 D6=500 D3=1000 Z-41.3 F60
 N0220 G00 Z20.0
 N0230 M30

13. base_motor

Nombre de la pieza/plano	No. De piezas	Material de trabajo	Referencia parámetros de corte	Dimensiones del trabajo [mm]	Dimensiones finales	Tiempo de maquinado manual [min]	Tiempo de maquinado CNC [min]	Tiempo total de maquinado para la pieza [min]
base_motor	1	aluminio 6063	10	80x70x40	70x60x33	105.82	29.9	135.72

No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	DPO [mm]	L [mm]	d [mm]	fr [mm/min]	nt	N (RPM)	CEH [mm]	w [mm]	A [mm]	TMP [min]	NPS	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
1	FVM	careado de desbaste	1	76x70x40	70	4	80	4	656	17.78	80	12.7	1.03	5	6.03	5	9.38	
2	FVM	careado de acabado	1	75x70x40	70	1	60	4	1117	17.78	80	12.7	1.38	5	6.38	3	9.38	girar pieza
3	FVM	careado de desbaste	1	71x70x40	70	4	80	4	656	17.78	80	12.7	1.03	5	6.03	0	6.03	
4	FVM	careado de acabado	1	70x70x40	70	1	60	4	1117	17.78	80	12.7	1.38	5	6.38	3	9.38	girar pieza
5	FVM	careado de desbaste	1	70x66x40	70	4	80	4	656	17.78	70	12.7	1.03	4	5.03	0	5.03	
6	FVM	careado de acabado	1	70x65x40	70	1	60	4	1117	17.78	70	12.7	1.38	4	5.38	3	8.38	girar pieza
7	FVM	careado de desbaste	1	70x61x40	70	4	80	4	656	17.78	70	12.7	1.03	4	5.03	0	5.03	
8	FVM	careado de acabado	1	70x60x40	70	1	60	4	1117	17.78	70	12.7	1.38	4	5.38	3	8.38	girar pieza
9	FVM	careado de desbaste	1	70x61x37	70	4	80	4	656	17.78	70	12.7	1.03	4	5.03	0	5.03	
10	FVM	careado de acabado	1	70x60x36.5	70	1	60	4	1117	17.78	70	12.7	1.38	4	5.38	3	8.38	girar pieza
11	FVM	careado de desbaste	1	70x61x33.5	70	4	80	4	656	17.78	70	12.7	1.03	4	5.03	0	5.03	
12	FVM	careado de acabado	1	70x60x33	70	1	60	4	1117	17.78	70	12.7	1.38	4	5.38	2	7.38	desmontar la pieza
No. De Operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	N (RPM)	fr [mm/min]	TMC	TP [min]	TTO [min]										
13	FV CNC	taladrado de centros	2	1500	60	0.7	10	10.7	montar en fresadora CNC									
14	FV CNC	taladrado de centros	2	1500	60	0.7	0	0.7										
15	FV CNC	taladrado de desbaste	4	1500	60	1.3	0	1.3										
16	FV CNC	avocardado	15	1500	40	3.1	0	3.1										

17	FV CNC	taldrado de desbaste	6	1500	60	1.8	0	1.8	
No. De operación	Proceso	Descripción	No. Herr.	N (RPM)	fr [mm/min]	TMS [min]	TP [min]	TTO [min]	Comentarios
18	FV CNC	cajeado rectangular	1	1500	60	5.30	0	5.30	
19	FV CNC	cajeado rectangular	4	1500	60	2.50	0	2.50	
20	FV CNC	cajeado rectangular	4	1500	60	2.50	2	4.50	desmontar pieza
21	MANUAL	machuelear	17				5		Preparar el maneral y montar la pieza en una prensa
						14.00		19.00	

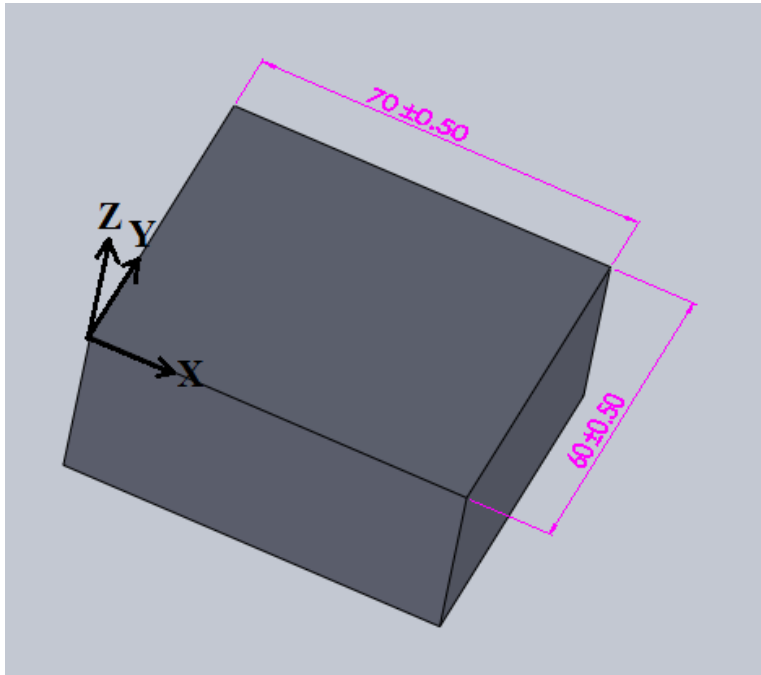


Figura 11. Vista del origen de los ejes coordenados en la pieza "base_motor"

#HERR/DESCRIPCIÓN

1/ BROCA DE CENTROS

2/ BROCA 1/4 IN

3/ CORTADOR RECTO 10 [mm]

4/ BROCA 5[mm]

5/ CORTADOR RECTO 1 [IN]

6/ CORTADOR RECTO 1/4 [IN]

%7

N0005 G54 G71 G94 T0101 S1500 M03
N0010 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F60
N0015 G99
N0020 G74 X7.0 Y48.0 P0=56.0 P1=36.0 D0=2.0 D1=2.0
N0025 G75 G82 P3=2.0 Z-3.0 D4=5 F60
N0030 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200
N0035 G99
N0040 G74 X12.0 Y4.0 P0=46.0 P1=52.0 D0=2.0 D1=2.0
N0045 G75 G82 P3=2.0 Z-3.0 D4=5 F60
N0050 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F60
N0055 T0202 S1500 M03
N0060 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F60
N0065 G99
N0070 G74 X7.0 Y48.0 P0=56.0 P1=36.0 D0=2.0 D1=2.0
N0075 G75 G82 P3=2.0 Z-35.0 D4=5 F60
N0080 T0303 S1500 M03
N0085 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F40
N0090 G99
N0095 G74 X7.0 Y48.0 P0=56.0 P1=36.0 D0=2.0 D1=2.0
N0100 G75 G82 P3=2.0 Z-25.0 D4=5 F60
N0105 T0404 S1500 M03
N0110 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200
N0125 G99
N0130 G74 X12.0 Y4.0 P0=46.0 P1=52.0 D0=2.0 D1=2.0
N0135 G75 G82 P3=2.0 Z-11.6 D4=5 F60
N0140 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F60
N0145 T0505 S1500 M03
N0150 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0155 G99

N0160 G87 X35.0 Y 30.0 Z-25.0

P0=40 P1=65 P3=1.0 D3=1000 F60

N0165 T0606 S1500 M03

N0170 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0175 G99

N0180 G87 X9.0 Y 30.0 Z-25.0

P0=18 P1=65 P3=1.0 D3=1000 F60

N0185 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0190 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0195 G99

N2000 G87 X61.0 Y 30.0 Z-25.0

P0=52 P1=65 P3=1.0 D3=1000 F60

N0205 G00 X0.0 Y0.0 Z10.0 F200

N0210 M30