



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN DE UN FRENO ELÉCTRICO

Autor: Francisco Javier López Garayalde

Director: Estuardo Rodas

Madrid

Julio 2018

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE
SUGCIÓN DE UN FRENO ELÉCTRICO

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2017./18.... es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: (Nombre del alumno)

Fecha: 9.../ 7.../ 2018

FRANCISCO JAVIER

LÓPEZ GARAYALDE

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: (Nombre del Director)

Fecha: 9.../ 7.../ 2018

Estuardo Rodas

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. FRANCISCO JAVIER LÓPEZ GARAYALDE.

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN DE UN FRENO ELÉCTRICO.

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- Madrid, a 10 de JULIO de 2018

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

[illegible]



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN DE UN FRENO ELÉCTRICO

Autor: Francisco Javier López Garayalde

Director: Estuardo Rodas

Madrid

Julio 2018

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN DE UN FRENO ELÉCTRICO

Autor: López Garayalde, Francisco Javier.

Directores: Rodas, Estuardo.

Entidad colaboradora: ICAI Universidad Pontificia de Comillas; Cooper Union.

Introducción:

El objetivo de este proyecto es diseñar y fabricar un sistema de sujeción de un freno eléctrico para un banco dinamométrico. La universidad de Cooper Union cada curso académico fabrica un coche de carreras para la Fórmula SAE. Por tanto, la función de este banco es realizar pruebas al vehículo en el propio taller de la universidad. De esta manera, el sistema de sujeción se realizó a la par que otros proyectos para combinarlos y montar el banco de pruebas definitivo.

En el banco dinamométrico, el vehículo se coloca sobre unos rodillos que girarán debido al movimiento de las ruedas. Estos rodillos deben estar conectados por una cadena al freno eléctrico para que tome datos del rendimiento del vehículo y para que frene los pesados rodillos al finalizar las pruebas.

Para alcanzar estos objetivos se ha diseñado y fabricado el sistema de sujeción del freno y el sistema de tensión que aportará a la cadena del sistema la tensión adecuada para optimizar el funcionamiento del banco dinamométrico.

Metodología

El proyecto ha tenido una parte importante de ideación y diseño, y otra de pura fabricación con máquinas especializadas.

En estos diseños de todas las piezas se tuvieron en cuenta las restricciones dimensionales y espaciales que marcaban el proyecto. Por un lado, el espacio disponible en el taller para el sistema. Por otro lado, las dimensiones del freno eléctrico que se tenía que introducir en la estructura de acero que ya había sido comprado por la universidad el curso pasado. Por último, se debía mantener un espíritu de reciclaje de material en todo el proyecto con el fin de abaratar costes.

Se siguió un proceso iterativo hasta llegar al sistema que mejor se adaptaba a todas las circunstancias.

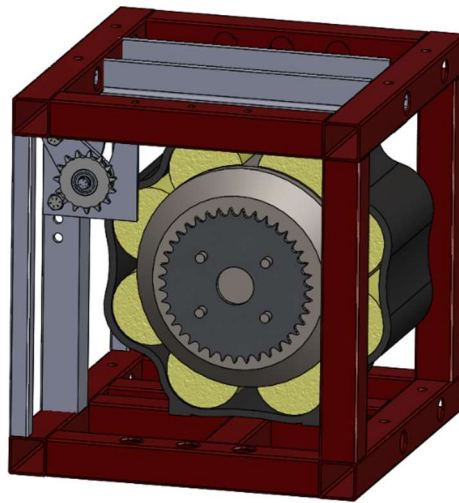


Figura 1. Diseño final

Este sistema se caracterizaba por tener tres partes bien diferenciadas. Por un lado, la estructura que envuelve al freno, la cual estaba formada por barras de acero soldadas que se atornillaban al espacio fijo (suelo y pared) y al freno en sí. Por otro lado, el sistema de tensión. En este subsistema se hizo especial hincapié en la posibilidad de regular la posición de la rueda dentada que ejercería la fuerza sobre la cadena del conjunto. Para ello, se diseñó un sistema de varias piezas de aluminio y otras de acero que combinaban placas, ejes y tornillos que aseguraban la solidez y la unión de todas las piezas del sistema. Por último, el sistema de transmisión del equipo, formado por una cadena que unía la rueda dentada del rodillo con la del freno, pasando por el sistema de tensión. En este último subsistema se mecanizaron las ruedas de acero después de comprarlas a una empresa especializada.

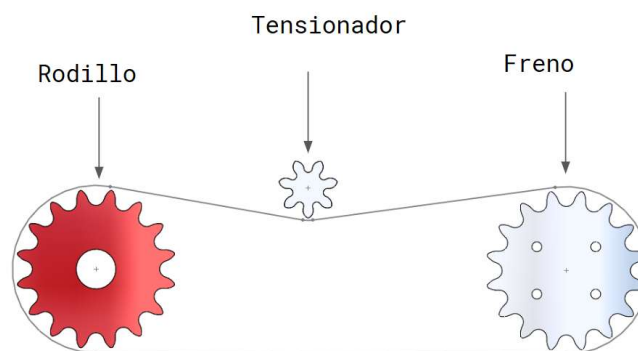


Figura 2. Esquema de ruedas dentadas del sistema

Después del diseño, se continuó con la fabricación de todos los elementos diseñados en el taller. Se hizo uso de diversas máquinas tales como sierras, tornos, fresadoras, taladros, máquinas de soldadura... etc. Una vez fabricadas las piezas, se ensambló todo el sistema.

Finalmente, se procedió a ubicar en su lugar correspondiente el sistema ya fabricado con el fin de instalar la cadena y poner el sistema en funcionamiento.

Resultados.

A falta de atornillar el sistema al espacio fijo y de montar la cadena, todo el resto de piezas fueron mecanizadas y ensambladas. De esta manera, se llegó a este resultado.



Figura 3. Resultado I

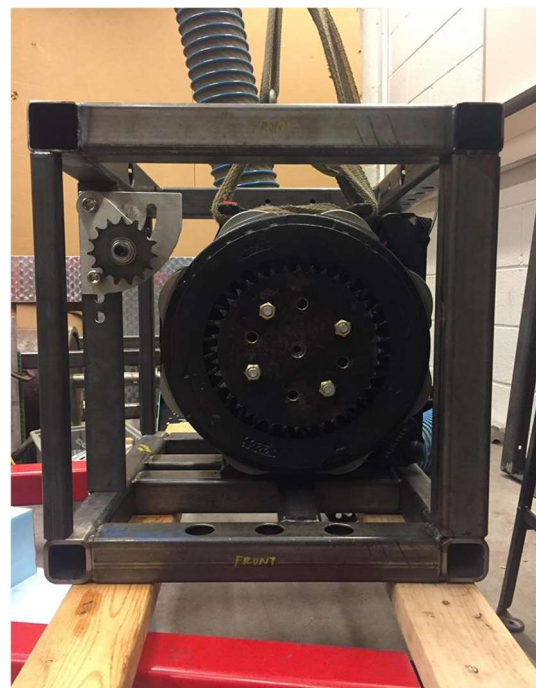


Figura 4. Resultado II

Conclusiones

Se ha diseñado un sistema de sujeción que causará un impacto positivo en la universidad de Cooper Union y que supone un gran avance en el proyecto del banco dinamométrico. Personalmente, considero una experiencia excepcional haber sido parte de un exigente proyecto que me ha aportado importantes cualidades tales como la gestión del tiempo, la colaboración con expertos en distintas materias y las habilidades técnicas en el manejo de las máquinas del taller.

Referencias

- 1) Manual de Solidworks. "Introducción a Solidworks" Obtenido de https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf

DESIGN AND MANUFACTURE OF A FIXING SYSTEM FOR AN ELECTRIC RETARDER

Author: López Garayalde, Francisco Javier.

Directors: Rodas, Estuardo.

Collaborating Entity: ICAI Universidad Pontificia de Comillas; Cooper Union.

Introduction

The aim of this project is to design and manufacture a fixing system for an electric retarder of a chassis dynamometer. Each academic year, Cooper Union students manufacture a Formula SAE racecar. For this reason, the chassis dynamometer's function is to enable the possibility of undertaking car tests inside the university's building. Hence, the fixing system project was done at the same time as other projects with the objective of combining them and mounting the definitive chassis dynamometer.

The chassis dynamometer allows to install the vehicle on top of a set of rollers, which will rotate due to the wheels' rotation. These rollers need to be connected by a chain to the retarder in order to collect data related to the vehicle's performance and to brake the heavy rollers at the end of the tests.

To achieve these objectives the fixing system and the tensioning system that will apply the adequate force to the chain, have been designed and manufactured.

Methodology

The Project has had an important part of ideation and design, and another part related to pure manufacturing with specialized machines.

These designs had to take into consideration the dimensional and spatial restrictions concerning the project. Firstly, the limited space available in Cooper Union's shop. Furthermore, the size of the previously acquired electric retarder, which had to be fitted inside the steel frame. Lastly, a recycling spirit had to be kept during the whole project in order to reduce costs as much as possible.

An iterative process was followed to design the fixing system that best adapted to the existing circumstances.

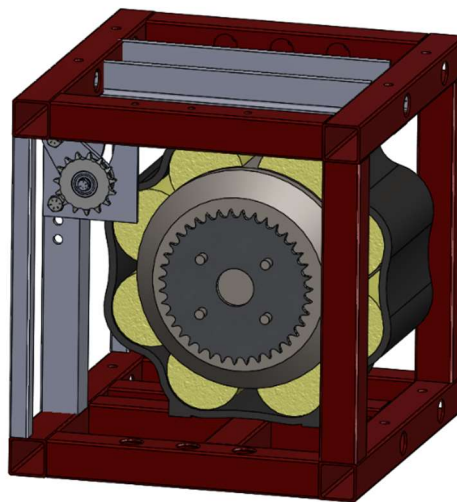


Figure 5. Final Design

This system had three separate subsystems. On the one hand, the frame that surrounded the electric retarder, which was made up of welded steel bars that were fixed to the ground, floor and retarder with bolts. On the other hand, the tensioning system. In this subsystem, a special attention was paid to provide adjustability to the sprocket in order to choose the force that will be applied to the chain. In order to do so, different parts of aluminum and steel, such as plates, shafts and bolts, assured the solidity of the system. Finally, the transmission system made up of a chain that connected the sprocket at the rollers' shaft to the sprockets at the tensioning system and at the electric retarder. In this subsystem, the steel sprockets were machined after acquiring them from a specialized company.

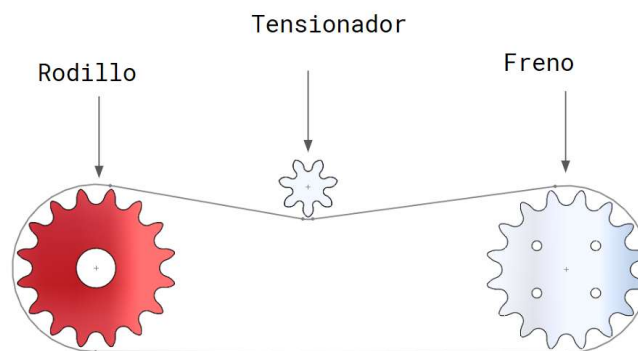


Figure 6. Sprockets scheme

After designing the system, the manufacturing process began at Cooper Union's shop. Several machines were used such as saws, lathes, drills, mills, welding material... etc. Once all the parts were obtained, the assembly process took place.

Finally, the system was taken to its spot in the shop in order to install the chain and start operating the system .

Results

With the exception of fixing the system to the floor and mounting the chain, the rest of the parts were machined and assembled. This was the result of the whole process.

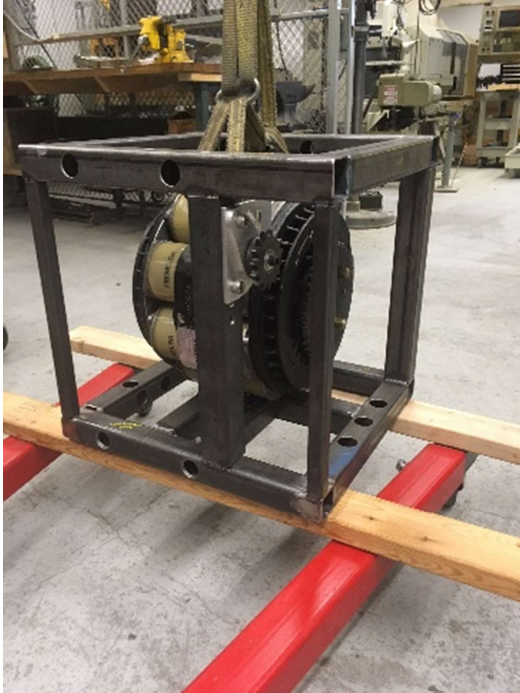


Figure 7. Result I

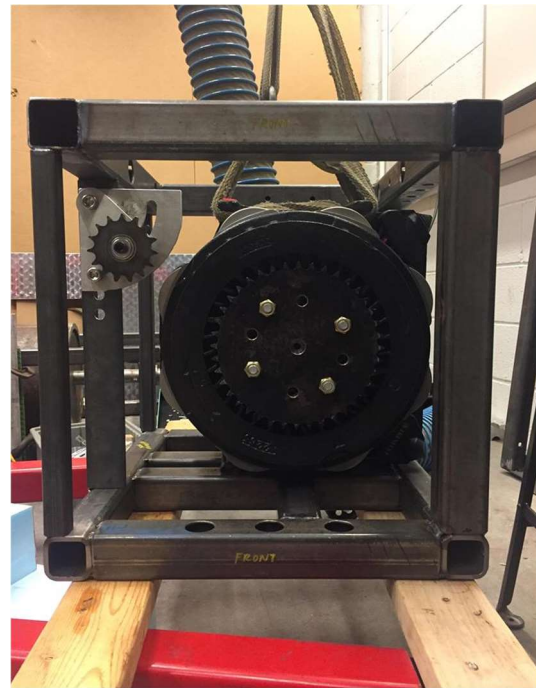


Figure 8. Result II

Findings

The obtained fixing system will have a positive impact on Cooper Union as it represents a significant progress on the Chassis Dynamometer project. Personally, I consider being part of a challenging project as an exceptional experience which has contributed with skills such as time management, collaboration with experts and technical abilities using shop machines.

References

- 1) Solidworks manual. “Introducción a Solidworks” Obtained from https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf

PARTE 1:

MEMORIA

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Estado de la cuestión.....	4
1.3 Motivación y objetivos.....	5
1.4 Metodología y plazos del proyecto.....	6
1.5 Recursos.....	6
2. Diseño.....	7
2.1 Ideación.....	7
2.2 Primer diseño.....	8
2.2.1 Estructura.....	8
2.2.2 Sistema de tensión.....	10
2.3 Segundo diseño.....	11
2.3.1 Estructura.....	11
2.3.2 Sistema de tensión.....	12
2.3.3 Elección de ruedas dentadas.....	14
2.3.4 Elección de rodamientos.....	15
2.3.5 Elección de cadena.....	16
2.4 Ajustes finales.....	16
3. Análisis de materiales y costes.....	17
4. Fabricación.....	19
4.1 Estructura.....	19
4.2 Rueda dentada del freno eléctrico.....	20
4.3 Rueda dentada del eje de los rodillos.....	21
4.4 Sistema de tensión.....	23
4.4.1 Mecanizado de la rueda dentada.....	23
4.4.2 Acoplamiento de los rodamientos.....	23
4.4.3 Mecanizado de las placas.....	24
4.4.4 Mecanizado del eje.....	24
4.4.5 Ensamblaje.....	25
4.5 Preparación ubicación de la instalación.....	26
4.6 Soldadura.....	26
5. Resultados.....	31
6. Trabajo futuro.....	33
7. Conclusiones.....	35
8. Agradecimientos.....	37
9. Bibliografía y referencias.....	39

Índice de figuras

Figura 1. Imagen de banco dinamométrico	1
Figura 2. Esquema del conjunto de proyectos.....	2
Figura 3. Freno eléctrico de Cooper Union.....	2
Figura 4. Taller de Cooper Union	3
Figura 5. Esquema del taller de Cooper Union	4
Figura 6. Freno eléctrico en un camión.....	4
Figura 7. Esquema taller de Cooper Union	7
Figura 8. Estructura en Solidworks	8
Figura 9. Localización de los tornillos en el freno eléctrico	9
Figura 10. Vista frontal sistema de tensión // Figura 11. Vista trasera sistema de tensión ..	10
Figura 12. Estructura en Solidworks	11
Figura 13. Sistema de tensión en Solidworks	12
Figura 14. Esquema sistema de tensión // Figura 15. Vista lateral sistema de tensión ...	13
Figura 16. Esquema ruedas dentadas	14
Figura 17. Rueda dentada freno/ Figura 18. Rueda dentada rodillos / Figura 19. Rueda dentada tensionador	15
Figura 20. Eje antes y después // Figura 21. Eje en sistema de tensión	16
Figura 22. Corte de barra // Figura 23. Taladro de Cooper Union // Figura 24. Detalle de agujero.....	19
Figura 25. Lijado de barra de la estructura.....	20
Figura 26. Freno sin rueda acoplada // Figura 27. Freno con rueda dentada.....	20
Figura 28. Esquema del acoplamiento eje-rueda dentada	21
Figura 29. Torno de Cooper Union	21
Figura 30. Roscado de la rueda dentada del eje de rodillos	22
Figura 31. Detalle eje de rodillos	22
Figura 32. Rueda mecanizada // Figura 33. Vista frontal rueda + engranaje	23
Figura 34. Máquina CNC // Figura 35. Placa // Figura 36. Placa de ajuste.....	24
Figura 37. Eje sistema de tensión.....	25
Figura 38. Vista frontal sistema de tensión // Figura 39. Vista lateral sistema de tensión....	25
Figura 40. Vista trasera sistema de tensión // Figura 41. Ensamblaje sistema de tensión.....	25
Figura 42. Agujeros para tornillos.....	26
Figura 43. Primer paso del proceso de soldadura.....	27
Figura 44. Transporte del freno // Figura 45. Acoplamiento del freno al marco soldado	27
Figura 46. Detalle tornillos base del freno	28
Figura 47. Proceso de soldadura	28
Figura 48. Estructura final I // Figura 49. Estructura final II	29

Índice de tablas

Tabla 1. Estado de los proyectos.....	1
Tabla 2. Plazos estipulados para el proyecto.....	6
Tabla 3. Características ruedas dentadas.....	14
Tabla 4. Características de rodamientos.....	15
Tabla 5. Análisis de costes.....	18

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

Cooper Union es una institución académica con una clara visión práctica de la ingeniería. Es por ello por lo que sus alumnos se ven involucrados en numerosas asignaturas con una importante carga práctica que incluye muchas horas en los laboratorios y talleres.

Uno de los proyectos en el que participan sus alumnos es el diseño y fabricación de un coche de carreras que competirá a final de curso en una carrera de la Formula SAE en la ciudad de Michigan.

Uno de los principales inconvenientes que ha tenido la universidad para este proyecto es la falta de espacio para realizar tests que midan el rendimiento del vehículo. Su ubicación en el centro de Manhattan impide conducirlo en los alrededores de la universidad y transportarlo hasta un lugar de pruebas es un proceso que requiere tiempo y dinero.

Por este motivo surgió el proyecto de construir una banco dinamométrico, un mecanismo que utiliza un sistema de rodillos para simular una carretera. Los rodillos se mueven como consecuencia del movimiento de las ruedas del coche que se mantiene inmóvil. Los rodillos están a su vez conectados a través de una cadena a un freno eléctrico. El freno permite obtener los resultados de las pruebas del vehículo.



Figura 9. Imagen de banco dinamométrico

Fuente: <https://www.superflow.com/asp/cats.aspx?catid=1&navid=14>

El proyecto se lleva realizando durante varios cursos. A continuación, se detallan los subproyectos realizados hasta ahora y los que se están realizando durante este curso en relación al proyecto del banco dinamométrico:

Subproyecto	Status
Fabricación de los rodillos y del eje que los une	Ya realizado previamente
Elección y compra del freno eléctrico	Ya realizado previamente
Dis. y Fab. Del sistema de sujeción del freno eléct.	En curso
Diseño y fabricación de la mesa para testing	En curso
Estabilización de los rodillos	En curso

Tabla 1. Estado de los proyectos

En la siguiente imagen se muestra de una forma esquemática el conjunto del proyecto y cómo se integran todas sus partes.

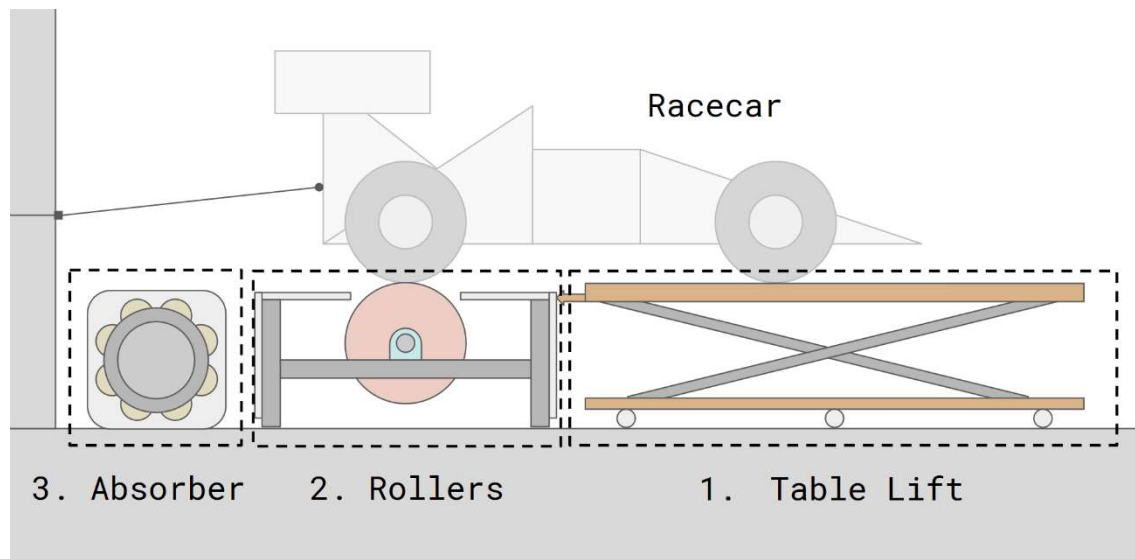


Figura 10. Esquema del conjunto de proyectos

El freno eléctrico, también denominado retardador eléctrico, seleccionado con anterioridad pertenece a Frenelsa, empresa española especializada en el desarrollo de frenos eléctricos para vehículos de ámbito industrial y bancos de potencia (nuestro caso). El tipo de freno utilizado basa su funcionamiento en las corrientes que se crean en un metal como consecuencia de un campo magnético variable (corrientes de Foucault).



Figura 11. Freno eléctrico de Cooper Union

Las funciones del freno eléctrico destinadas al proyecto son las siguientes:

- 1) Medir la fuerza y el par motor aplicado por las ruedas.
- 2) Calcular la potencia transmitida a las ruedas.
- 3) Sistema de frenado de los rodillos.

Por otro lado, los rodillos fabricados previamente están hechos de acero y conectados por un eje que asegura que se moverán a la misma velocidad durante los tests.

Teniendo todo esto en cuenta, es en el diseño y fabricación del sistema de sujeción del freno en el que se centra este Proyecto de Fin de Grado.

El proyecto tiene cuatro partes bien diferenciadas:

- 1) Diseño de la estructura en la que se situará el freno eléctrico.
- 2) Diseño del sistema de tensión que se encarga de tensar la cadena que unirá el freno eléctrico con los rodillos. Esto incluye el diseño de las ruedas dentadas que serán instaladas tanto en el freno eléctrico como en el eje de los rodillos.
- 3) Fabricación de los sistemas descritos en los dos puntos anteriores.
- 4) Instalación de la estructura, montaje de la cadena y puesta en marcha.

Existen distintos factores que se deben tener en cuenta para alcanzar este objetivo:

- 1) Todo el mecanismo debe ser capaz de aguantar los esfuerzos mecánicos que provienen de los elementos del sistema.
- 2) La estructura o sistema de sujeción debe ajustarse a la características de los elementos ya existentes: tamaño de la habitación, características del freno eléctrico y rodillos de acero.

En este segundo aspecto, los rodillos de acero, su eje y la estructura en la que se apoya ya fueron instalados. La instalación consistió en atornillar al suelo todo el conjunto como se aprecia en la siguiente imagen.

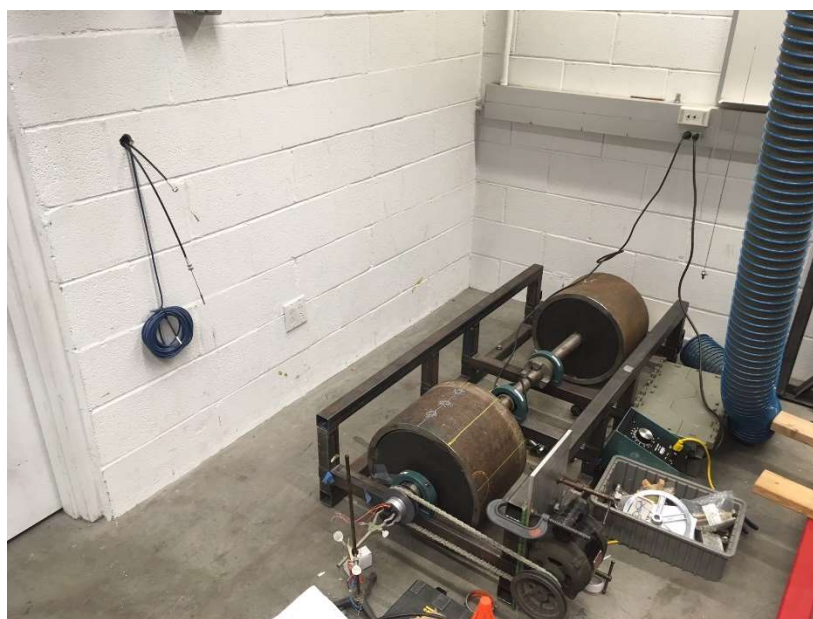


Figura 12. Taller de Cooper Union

De esta manera, el diseño se debe adaptar a la distancia desde la pared a la estructura de los rodillos. En el siguiente esquema se detallan las características mencionadas.

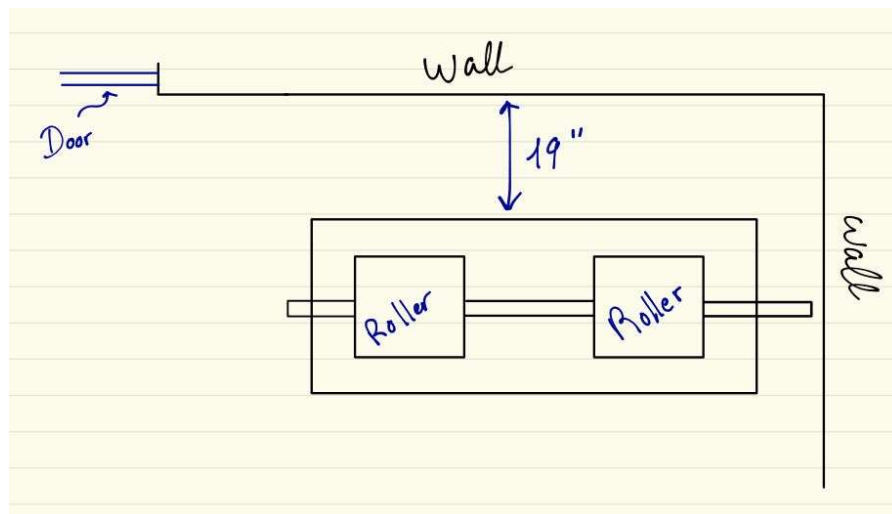


Figura 13. Esquema del taller de Cooper Union

1.2 Estado de la cuestión

Los bancos dinamométricos son ampliamente utilizados en centros de desarrollo de automoción.

Respecto al subproyecto del freno eléctrico tiene dos grandes aplicaciones. En primer lugar, se utiliza como método de frenado de vehículos industriales tales como camiones y tractores. En este caso el sistema de sujeción del freno se sitúa en el árbol de transmisión, es decir, entre la caja de cambios y el diferencial.

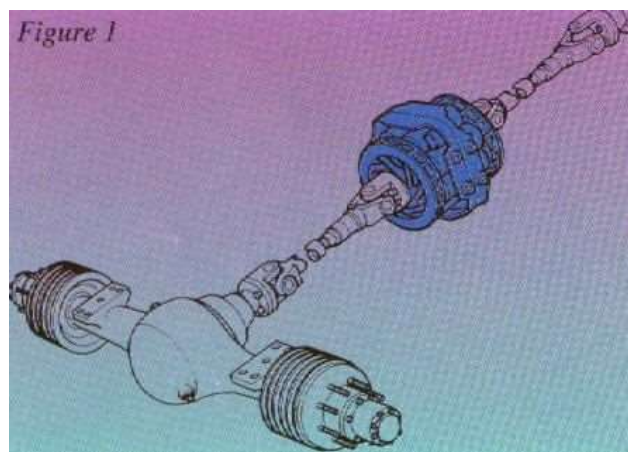


Figura 14. Freno eléctrico en un camión

Fuente: <https://gruasenlatinoamerica.wordpress.com/>

En segundo lugar, el freno eléctrico se utiliza en bancos de potencia como es nuestro caso. En este sentido, las estructuras de sujeción se adaptan a los distintos bancos dinamométricos que se utilizan. Al ser este un proyecto original se deberá construir una estructura que sea capaz de adaptarse a las circunstancias.

1.3 Motivación

La motivación detrás de este proyecto es lograr hacer un eficiente sistema de testing para el coche de competición que mejore los resultados en la prueba final del vehículo. Por otro lado, el diseño y fabricación de los distintos elementos del proyecto es una solución considerablemente más rentable que la compra de un banco dinamométrico convencional. Esto último supondría un gasto de en torno a 50.000 USD (40.000 EUR aproximadamente).

A su vez, la fabricación propia permite ajustarse mejor a las circunstancias específicas del vehículo de carreras y del espacio del que disponía la universidad.

Por último, desde el punto de vista académico es una gran oportunidad de trabajar en equipo desarrollando un proyecto mecánico que causará un impacto positivo en la universidad de Cooper Union.

1.4 Objetivos del proyecto

El principal objetivo del proyecto es lograr construir la estructura que envolverá al freno eléctrico y equiparlo con un sistema de tensión para la cadena que asegure la correcta transmisión de la cadena. Sin embargo, para conseguirlo se deben lograr los siguientes hitos:

- Diseñar mediante programas gráficos todos los componentes.
- Selección de materiales.
- Fabricación en el taller de la universidad los distintos componentes. Esto incluye el uso de distintas máquinas de fabricación.
- Ensamblaje de todas las partes fabricadas. Soldar la estructura y el sistema de tensión e introducir el freno en la estructura.
- Acoplamiento de la cadena.
- Puesta en marcha de todos los subproyectos.

1.5 Metodología de trabajo

Como se ha mencionado previamente, se diseñará y fabricará tanto el sistema de sujeción como el sistema de tensión. En el siguiente esquema se puede apreciar los distintos pasos que se realizarán durante el cuatrimestre.

	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Diseño del sistema de sujeción						
Diseño del sistema de tensión						
Compra de las ruedas dentadas para S. Tensión						
Corte de las barras de acero para S. de sujeción						
Anexo B						
Fabricación piezas para sistema de tensión						
Soldadura de todas las piezas						
Puesta en marcha						
Memoria						

Tabla 2. Plazos estipulados para el proyecto

1.6 Recursos a emplear

- Materiales reciclados del taller de Cooper Union.
- Programas gráficos: Solidworks.
- Materiales tales como acero y aluminio que serán adquiridos de la empresa McMaster.
- Máquinas del taller de Cooper Union: taladros, torno, fresadora, material para soldadura... etc.

Capítulo 2: Diseño

2.1 Ideación

La ideación del proyecto consiste en la formación de las distintas hipótesis de diseño para alcanzar los objetivos del proyecto. Una vez realizado este proceso, se procede a la selección de una idea que mejor se adapte a los objetivos fijados con anterioridad.

En este caso, se busca fabricar una estructura capaz de soportar un freno eléctrico a pleno funcionamiento, previamente adquirido por la universidad. Este freno eléctrico será utilizado para frenar un banco dinamométrico y para tomar datos de un coche de carreras que se colocará sobre el banco.

Para realizar este diseño se tuvieron en cuenta distintos factores que determinaron de manera notable el diseño del sistema de sujeción.

En primer lugar, había unas especificaciones previas estipuladas para que el proyecto se adaptara al trabajo realizado previamente por otros alumnos. Por un lado, se quería diseñar una estructura que se adaptara a las dimensiones y al funcionamiento del freno eléctrico que la universidad de Cooper Union adquirió el curso pasado. Por otro lado, debía ser capaz de adaptarse al banco dinamométrico fabricado por la universidad ya que el freno se conectaría a los rodillos de este para tomar los datos relativos al rendimiento del vehículo.

A su vez, se deberían optimizar los recursos disponibles en la universidad en términos de materiales con el fin de reducir al máximo los costes del proyecto. Este requisito iría en línea con el objetivo de conseguir una solución económica al problema planteado.

Tras analizar todos estos aspectos se determina un esquema básico sobre la disposición de los elementos necesarios: estructura, sistema de tensión, ruedas dentadas y cadenas.

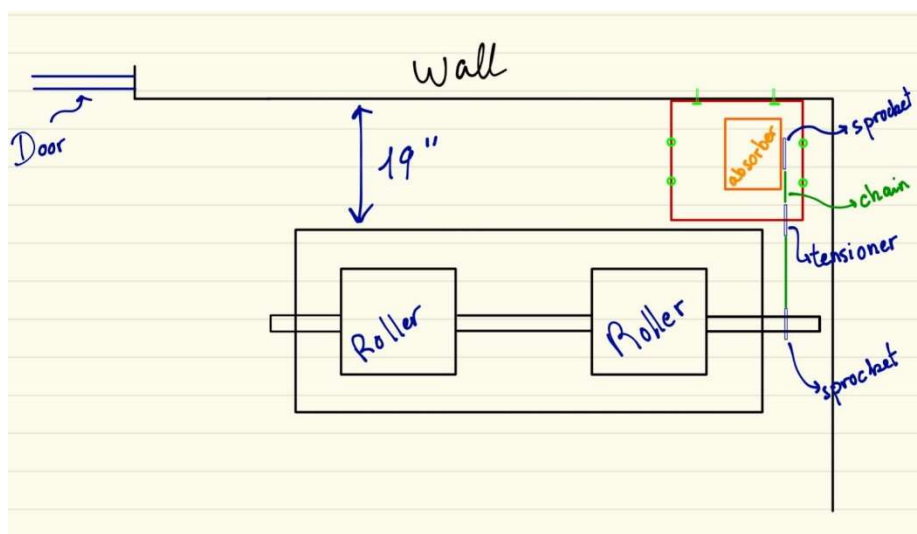


Figura 15. Esquema taller de Cooper Union

De esta manera, la idea inicial consistía en construir una estructura en la que el freno eléctrico se encontraría localizado en su interior. Esta estructura se adaptaría a las condiciones espaciales del laboratorio y sería sujeta al suelo y a la pared mediante el uso de un sistema de tornillos.

A su vez, la propia estructura tendría montado un sistema de tensión que se usaría para el correcto funcionamiento de la cadena de transmisión entre el eje de los rodillos y el freno eléctrico. Para ellos se instalarían ruedas dentadas en ambos elementos y se debería asegurar el correcto movimiento de la cadena a través de todos los elementos de transmisión.

2.2 Primer diseño

2.2.1 Estructura:

La primera aproximación al diseño se realizó con el programa gráfico de Solidworks en base al material que podía ser reciclado del taller. Este material era principalmente largas barras de acero.

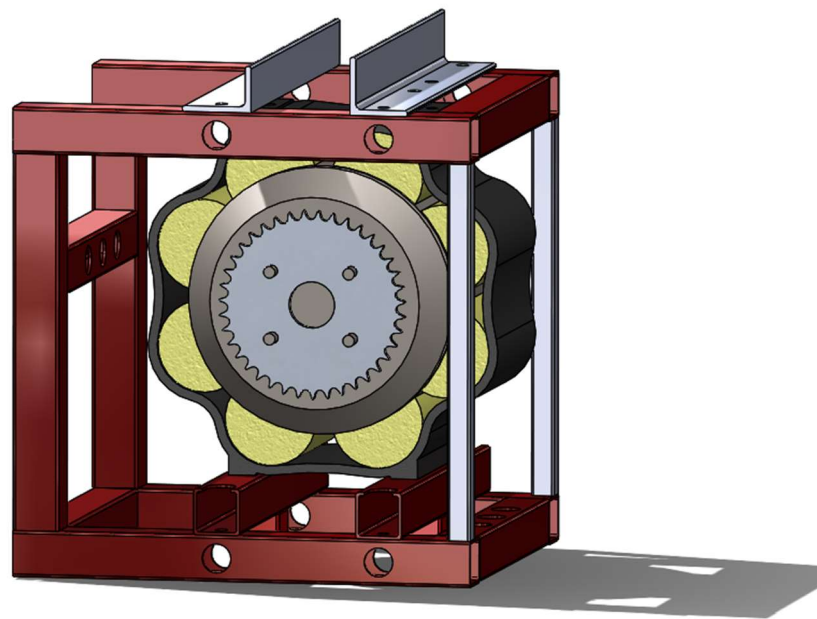


Figura 16. Estructura en Solidworks

Se optó por una estructura en forma de cubo con algunas peculiaridades que se adaptaban a las dimensiones del freno eléctrico. De esta manera, basándose en ese primer diseño se realizarían modificaciones hasta llegar al diseño final.

El freno se une a la estructura a través de 8 tornillos, de los cuales 4 están en su parte superior y 4 en la cara inferior, como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 17. Localización de los tornillos en el freno eléctrico

Este diseño se realizó debido a la disponibilidad de barras de acero con un perfil cuadrado (2 pulgadas x 2 pulgadas). A su vez, las barras verticales de acero (1 pulgada x 1 pulgada) fueron de menores dimensiones para disponer de un mayor espacio para la circulación de la cadena del sistema de sujeción que sería diseñado posteriormente.

Todas las barras se soldarían unas a otras con excepción de las dos barras en forma de L en la parte superior de la estructura. Estas barras debían ofrecer la posibilidad de ponerlas y quitarlas rápidamente. Esta decisión radica en la necesidad de introducir y extraer el freno de la estructura de una manera sencilla y eficaz a través de la parte superior del freno. Para esta operación se haría uso de una grúa del taller de la universidad que elevaría el freno de su posición.

Otro importante aspecto a destacar es el uso de barras elevadas sobre las que se apoya el freno con el fin de permitir un mejor acceso a los tornillos inferiores del freno. Permitiría, a través de agujeros en las barras, hacer uso de llaves para ajustar con seguridad los tornillos. En el caso de los tornillos superiores se unirían a las dos barras con forma de L que también están atornilladas a la estructura en sus extremos.

Por último, la idea inicial de atornillar la estructura a suelo y pared se realizaría en una barra del suelo y en la otra pegada a la pared, como se muestra en la Figura 8.

Sin embargo, este primer diseño presentó una serie de inconvenientes que obligó a realizar diversas modificaciones.

- 1) No se adaptaba a la totalidad de las características del taller. Las barras perpendiculares a la pared medían 20 pulgadas por lo que eran mayores que la distancia real entre la pared y los rodillos, 19 pulgadas.
- 2) No dejaba espacio disponible a la instalación del sistema de tensión ya que este se debería soldar a la estructura en el espacio comprendido entre el freno y los rodillos.

2.2.2 Sistema de tensión:

El sistema de tensión es una forma de asegurar que la cadena transmite el par desde los rodillos al freno eléctrico de manera eficiente. Para ello se consideró positivamente la idea de poder regular la altura a la que se situaba la rueda dentada. Por ello el diseño inicial consistiría en una barra en forma de L que permitiría tener acceso más fácilmente a todos los elementos del sistema.



Figura 18. Vista frontal sistema de tensión



Figura 19. Vista trasera sistema de tensión

La rueda dentada iría unida a la placa mediante rodamientos. Por otro lado, los tornillos permitirían ajustar la altura de la rueda dentada ya que el tornillo inferior podría fijarse a cualquier posición de la ranura con una tuerca.

El principal inconveniente de este sistema es la escasa diferencia de altura que se logra en la ranura de la barra. Siendo una barra con un ancho de 2 pulgadas la diferencia de altura es de unas escasas décimas y por tanto se decide buscar una mejor solución que dé una mayor ajustabilidad de altura.

2.3 Segundo diseño

2.3.1 Estructura:

La decisión más importante en este segundo diseño fue el cambio de orientación del freno eléctrico girándolo 90 grados. De esta manera la barra perpendicular a la pared de 18,5 pulgadas sí que cabría en el hueco en el que iba a ser situado en el taller. Este cambio tuvo varias consecuencias que se analizan a continuación.

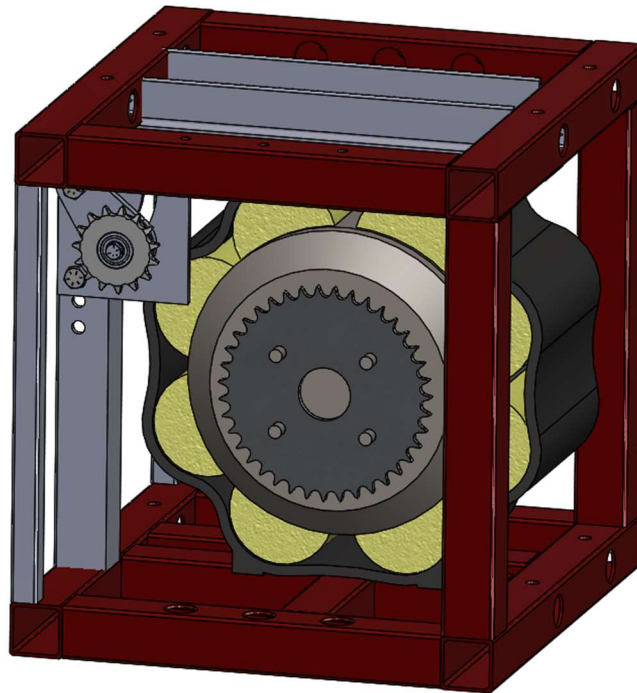


Figura 20. Estructura en Solidworks

Se mantendría la idea inicial de atornillar la estructura tanto al suelo como a la pared. En el caso de la pared, a través de 2 agujeros en la barra superior en contacto con la pared. Los tornillos de 0,5 pulgadas de diámetro atravesarán la barra antes de introducirse en la pared. En el caso del suelo, mediante 2 agujeros en las dos barras perpendiculares a la pared. Para lograr este objetivo se debería utilizar un taladro en suelo y pared para permitir introducir los anclajes que asegurarían la introducción de los tornillos al suelo.

La eliminación de las barras que elevaban el freno fue necesaria para la introducción del freno en la estructura. Esta introducción se realizaría del mismo modo que en el diseño anterior con la salvedad que una vez dentro de la estructura el freno rotaría 90 grados para colocarse en su correcta orientación. Con el diseño anterior este giro no se podría realizar porque se vería obstaculizado con la parte superior de la estructura impidiendo la operación.

El freno se montaría sobre dos barras sobre el suelo a las cuales se atornillaría. Esto obligaría a acceder a los tornillos de la parte inferior del freno elevando el mismo y desde abajo. Esto añade complejidad a la operación de montaje pero era necesaria para alcanzar el objetivo.

Por otro lado, el freno se llevó al lado más cercano a la pared para poder incluir el sistema de tensión montado sobre una barra vertical en forma de L.

A su vez, se incluyó una barra nueva en la parte inferior de la estructura para compensar el momento angular que el freno rotando produciría.

Por último, las barras verticales cambiaron su altura para permitir el giro del freno y las desmontables de la parte superior con forma de L sufrieron un cambio de diseño para asegurar que la parte del freno donde se colocan los tornillos estuviera a la misma altura que las barras en forma de L.

Al quedar el freno por debajo de las barras horizontales al suelo de la parte superior, era necesario cambiar el diseño de las barras en forma de L ya que si se mantenía la idea inicial la distancia desde las barras al freno sería de aproximadamente dos pulgadas. Esto impediría colocar los tornillos. Ante esta situación se decidió poner las barras encima del freno mediante un corte parcial en los extremos de una de las caras de forma de L. De esta manera se atornillaría la barra en los extremos a la estructura y mediante agujeros en la zona central se unirían al freno.

2.3.2 Sistema de tensión

La falta de ajustabilidad en la altura de la rueda dentada obligó a usar una placa de mayor superficie que pudiera ser unida a una barra vertical en la estructura. Esto se diseñó en Solidworks de la siguiente manera:

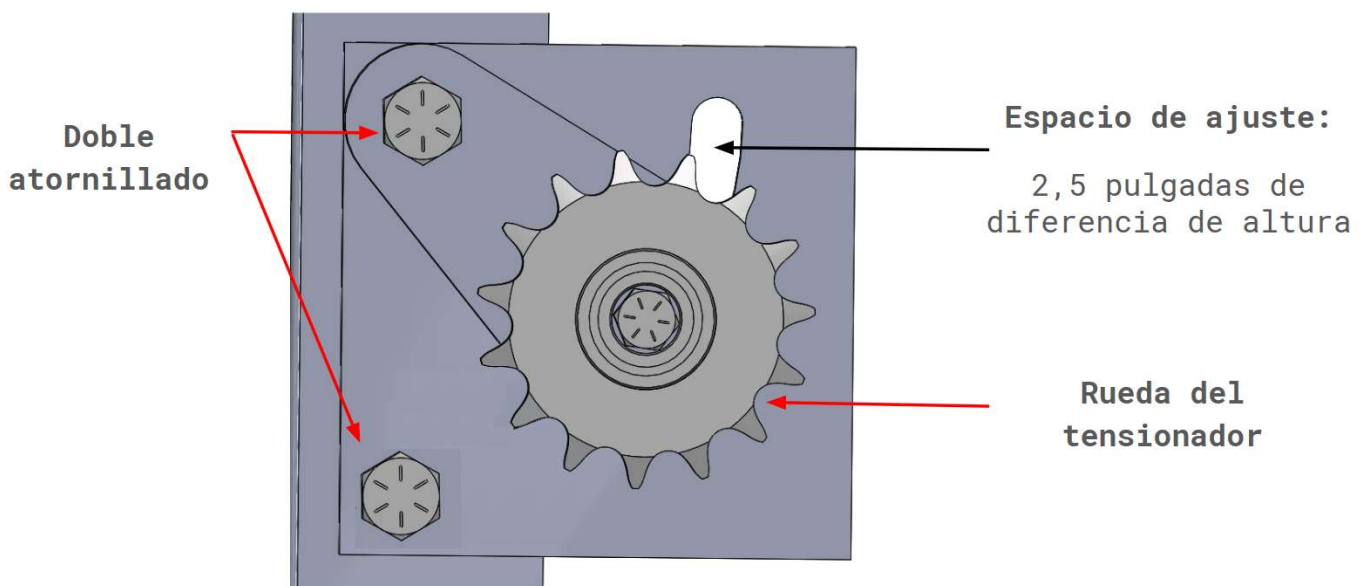


Figura 21. Sistema de tensión en Solidworks

La ajustabilidad en la altura del sistema de tensión se lograría de dos maneras. En primer lugar, a través del atornillado de la placa a la barra por medio de dos tornillos. Habría tres posibles posiciones para colocar los tornillos que unirían ambos elementos. De esta manera, la barra vertical necesitaría tres pares de agujeros en su superficie. Por otro lado, el espacio de ajuste de la barra permitiría elegir la posición de la rueda dentada. Únicamente con este espacio de ajuste se lograrían 2,5 pulgadas de diferencia de altura entre las posiciones más distantes.

Es también importante analizar cómo se uniría la rueda dentada al resto del sistema. El siguiente esquema es muy ilustrativo:

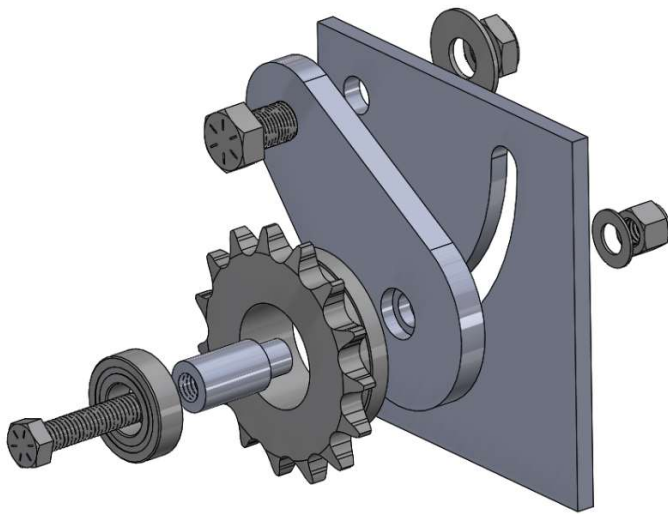


Figura 22. Esquema sistema de tensión

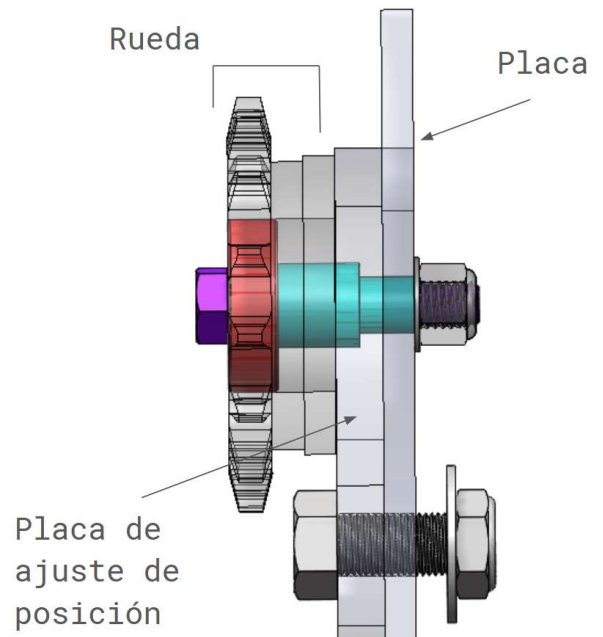


Figura 23. Vista lateral sistema de tensión

Como se ve en la imagen de la izquierda, la placa va unida a la barra a través dos tornillos con sus respectivas arandelas y tuercas. Por otro lado, la rueda dentada tendrá en su interior un sistema de rodamientos que en su diámetro interior albergarán un eje. Este eje, a su vez, tendrá un tornillo que lo atraviesa con el fin de unir todas las partes implicadas.

Para fabricar las placas se necesitaría de una herramienta más precisa. Es por ello por lo que se usaría la máquina CNC del laboratorio que ofrecería la posibilidad de lograr cortes en piezas más complejas.

2.3.3 Elección ruedas dentadas:

Las ruedas dentadas que se usarían en el proyecto irían colocadas en el freno eléctrico, el tensionador y eje de los rodillos de la siguiente manera.

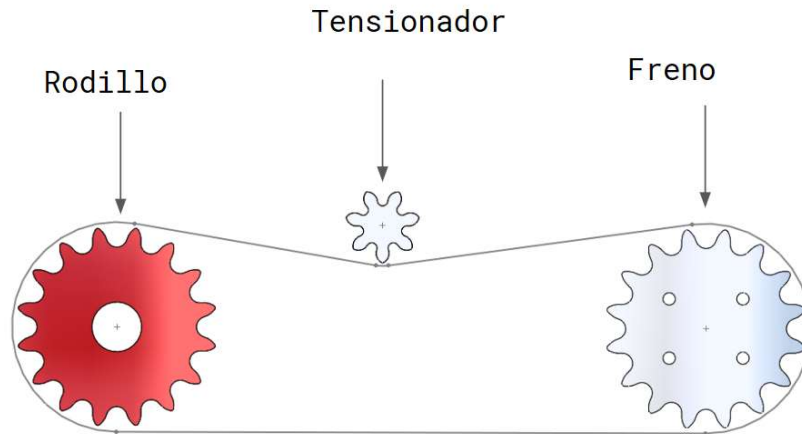


Figura 24. Esquema ruedas dentadas

Las ruedas dentadas se elegirían teniendo en cuenta las siguientes características:

- 1) Se debían adaptar a las características del freno. De esta manera la rueda dentada correspondiente al freno debería tener un radio exterior suficientemente grande como para ensamblarse al freno mediante un sistema de cuatro tornillos.
- 2) La rueda que será acoplada al eje de los rodillos debería ser mecanizable para ajustarse al diámetro del eje de los rodillos sobre el que estaría montado (2 pulgadas).
- 3) La rueda del sistema de tensión se seleccionaría en base a motivos geométricos que permitiera colocarlo sin interferir en la estructura o el freno en sí.
- 4) Se debía asegurar que la relación de diámetros fuera de 1:1 para las ruedas del freno y el eje de los rodillos.
- 5) Todas las ruedas deberían ajustar su módulo al de una cadena con un paso de 5/8 de pulgada. Se trataría de una cadena ANSI 50.

Las ruedas seleccionadas se encontraron en la página web de McMaster:

	Rodillos	Freno	S. Tensión
Tipo de cadena	Mecanizable	Mecanizable	Mecanizable
Tipo	ANSI	ANSI	ANSI
Tamaño cadena	50	50	50
Paso	0,625	0,625	0,625
Diámetro exterior (pulgadas)	8,32	8,32	3,32
Diámetro interior (pulgadas)	0,75	0,75	0,625
Máximo D. Interior mecanizable (pulgadas)	2,25	2,25	1,5
Ancho (pulgadas)	1,25	1,25	1
Material	Acero	Acero	Acero

Tabla 3. Características ruedas dentadas

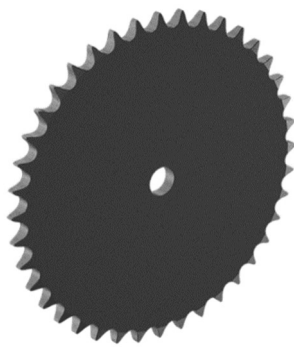


Figura 25. Rueda dentada freno

Fuente: <https://www.mcmaster.com/>

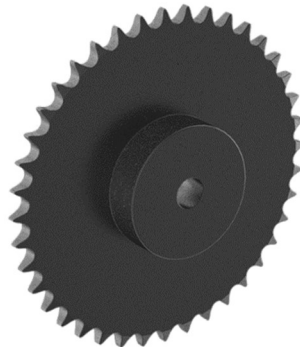


Figura 26. Rueda dentada eje rodillos

Fuente: <https://www.mcmaster.com/>



Figura 27. Rueda dentada tensionador

Fuente: <https://www.mcmaster.com/>

El paso siguiente consistiría en adquirirlas y mecanizarlas de acuerdo a sus necesidades específicas con ayuda de las máquinas del taller.

2.3.4 Elección rodamientos

Los rodamientos seleccionados para el sistema de tensión serían elegidos en función de dos parámetros:

- 1) La máxima velocidad angular que podían soportar. Los rodillos se moverían a una máxima velocidad angular de 6.000 rpm. Se tuvo en cuenta que las velocidades angulares del rodillo, el freno y la rueda dentada del sistema de tensión están relacionadas de la siguiente manera:

$$W_{rodillo} * r_{rueda rodillo} = W_{freno} * r_{rueda freno} = W_{rueda.ST} * r_{rueda.ST}$$

Los radios de la rueda dentada del freno y la del eje de los rodillos tienen el mismo radio: 8,32 pulgadas. Por otro lado, el radio del engranaje del tensionador es de 3,32 pulgadas. De esta manera, la velocidad máxima del engranaje de tensión es de aproximadamente 15.000 rpm.

- 2) Soportaría una determinada carga máxima radial de 500 libras.

De acuerdo a estos criterios se seleccionó un rodamiento de la empresa McMaster con las siguientes características:

Tipo de rodamiento	Bolas
Dirección de carga	Radial
Dynamic load (lb)	1300
Velocidad angular máxima (rpm)	22000
Ancho (mm)	10
Diámetro exterior (mm)	35
Diámetro interior (mm)	17

Tabla 4. Características de rodamientos

Fuente: <https://www.mcmaster.com/>

Debido a que la rueda tenía un acho de 1 pulgada (25,4 mm) se optó por introducir dos rodamientos en la rueda. Para ello se mecanizaría la rueda reduciendo su ancho hasta unas décimas por encima de 20 mm para su correcto acoplamiento.

2.3.5 Elección de cadena

La cadena sería seleccionada con el objetivo de instalarse entre las tres ruedas dentadas. Para ello se estimó la distancia que debería recorrer entre todas las ruedas. Por otro lado, se aseguró que el paso fuera el mismo que el de las ruedas y el diámetro y el ancho de sus rodillos fuera compatible con las ruedas adquiridas con anterioridad.

Tras este proceso se compraría la cadena a través de McMaster.

2.4 Ajustes finales

Durante la fabricación de todas las piezas nuevos problema fueron surgiendo que obligaban a hacer pequeños cambios en el diseño.

Uno de estos cambios tuvo que ver con el sistema de tensión. La disposición de las piezas diseñadas hacía que la rueda dentada estuviera en contacto con la placa de ajuste de posición cuando la rueda giraba. Para solucionar este problema el eje que atravesaba el conjunto del tensionador incluiría un pequeño aumento del diámetro entre estas dos piezas para asegurar que no hubiera ningún tipo de fricción entre ellas.

En la siguiente imagen se aprecia la diferencia entre los dos modelos y cómo encajaría más adelante en el conjunto de las placas.



Figura 28. Eje antes y después

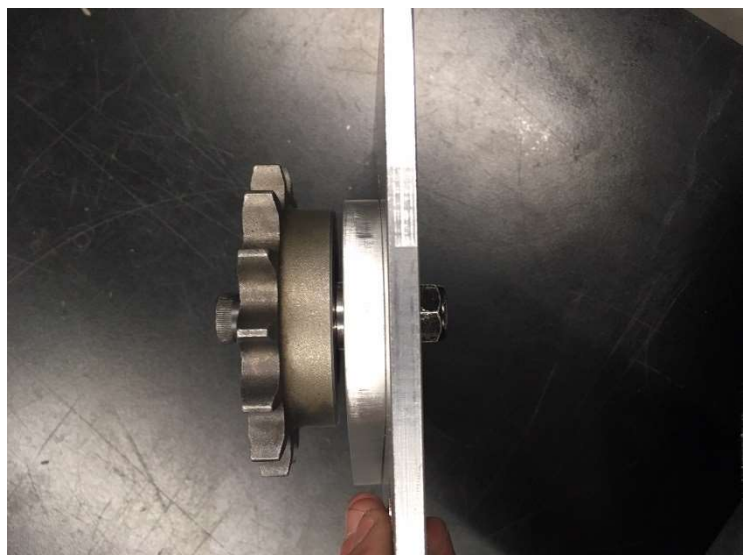


Figura 29. Eje en sistema de tensión

Capítulo 3: Análisis de materiales y costes

Uno de los objetivos del proyecto era el ahorro que suponía para la universidad la fabricación de un banco dinamométrico comparado con su compra. Es por ello por lo que se le ha prestado gran atención a este aspecto. Se ha tratado de utilizar todos aquellos materiales que ya estaban disponibles en los talleres y se ha adquirido únicamente el material indispensable para el proyecto.

A continuación se analiza los materiales utilizados:

- 1) Estructura: los materiales utilizados para esta parte del proyecto han sido barras de acero de distintas dimensiones que habían sido usadas en otros proyectos y que sobraban en el taller. Las características más importantes de este acero es su excelente soldabilidad y su uso en estructuras y para la automoción.
Los únicos elementos que se compraron para esta parte del proyecto fueron destinados a fijar contra el suelo y la pared la estructura.
 - 1.1) Tornillos pared y suelo: con un diámetro de 0,5 pulgadas, una longitud de 4,5 pulgadas, cabeza hexagonal y roscado total. Material: zinc. Resistencia a la tracción de 150000 psi (1034 MPa).
 - 1.2) Tornillos de grado 8 para conectar las barras en forma de L a la estructura de 2,5 pulgadas de longitud, 0,5 pulgadas de diámetro, cabeza hexagonal y roscado total. Material: zinc. Resistencia a la tracción de 150000 psi (1034 MPa).
 - 1.3) Arandelas de acero inoxidable de 0,531 pulgadas de diámetro.
 - 1.4) Tuercas de acero de alta resistencia de grado 8 y diámetro de 0,5 pulgadas.
 - 1.5) Anclajes: para tornillos de 0,5 pulgadas de diámetro. Antivibración, ideales para ladrillo y cemento.
- 2) Sistema de tensión: todos los materiales fueron comprados a través de McMaster y debían resistir el esfuerzo proveniente de la cadena. De esta manera se buscaron materiales con buen comportamiento al desgaste, que resistieran bien las vibraciones y una buena resistencia a la fatiga y a la corrosión.
 - 2.1) Placa cuadrada: aluminio 6061.
 - 2.2) Placa de brazo: aluminio 6061.
 - 2.3) Eje: aluminio 6061. Diámetro de 0,75 pulgadas y una longitud de 0,5 pies. Resistencia a la tracción de 35000 psi (241 MPa).
 - 2.4) Tornillos de grado 8, diámetro de 0,375 pulgadas y una longitud de 2 pulgadas. Roscado total. Resistencia a la tracción de 150000 psi (1034 MPa).
 - 2.5) Tuercas de acero de alta resistencia de grado 8 y diámetro de 0,375 pulgadas.
 - 2.6) Rodamientos de bolas de carga radial de 35 mm de diámetro exterior.
 - 2.7) Rueda dentada de acero para cadena ANSI 50 de 0,375 de paso. Diámetro exterior de 3,32 pulgadas.
 - 2.8) Cadena anticorrosión de 7 pies de largo. ANSI 50 y un paso de 0,375. A su vez, se adquirieron links de conexión de la cadena con las mismas características.
- 3) Ruedas dentada eje de rodillos:
 - 3.1) Tornillos de ajuste de longitud 0,5 pulgadas de longitud y de acero inoxidable.

- 3.2) Rueda dentada de acero para cadena ANSI 50 de 0,375 de paso. Diámetro exterior de 8,32 pulgadas.
- 4) Rueda dentada de acero freno para cadena ANSI 50 de 0,375 de paso. Diámetro exterior de 8,32 pulgadas.

A continuación se detalla el análisis de coste de los materiales que fueron comprados por McMaster.

Pieza	Subsistema	Cantidad de piezas por envío	Precio (\$)	
Tornillos unión de barras	Estructura	5	11,49	
Tornillos pared y suelo		10	22,94	
Tuercas		10	3,44	
Arandelas		50	6,87	
Anclaje		8	20,18	
Tornillos	Sistema de tensión	10	11,5	
Tuercas		20	4,18	
Placas		2	12,82	
Cadena		1	87,6	
Rodamientos		2	17,44	
Rueda dentada		1	21,91	
Rueda dentada	Freno	1	46,37	
Rueda dentada	Eje rodillos	1	62,16	
Tornillos de ajuste		10	5,97	
			334,87	

Tabla 5. Análisis de costes

Capítulo 4: Fabricación

Al tratarse de un proyecto de fabricación, es importante destacar que todas las medidas se han realizado en unidades anglosajonas para facilitar el trabajo en el taller.

4.1 Estructura

Para las distintas barras de acero (2 x 2 pulgadas) de la estructura se realizaron dos operaciones fundamentales.

- 1) Corte de las barras hasta las longitudes deseadas con una sierra del taller.
- 2) Los agujeros para sujetar la estructura al suelo se realizaron con la máquina de taladro. La velocidad de giro del taladro se determinó con una tabla que establecía la velocidad en función del diámetro que se quiera obtener, el material perforado y el material de la herramienta de corte. La herramienta de corte iba aumentando el diámetro sucesivamente. En todo el proceso se aplicaría lubricante en el agujero para disminuir los daños que pudieran producirse en las herramientas fruto de la fricción de los elementos.



Figura 30. Corte de barra



Figura 31. Taladro de Cooper Union



Figura 32. Detalle de agujero

Durante el uso del taladrado para los agujeros uno de los problemas más frecuentes fue el bloqueo de la máquina quedando la herramienta de corte atrapada. Esto se debía a una velocidad excesiva. Al reducir esta se logró obtener un mejor corte. Esto se debía a que la reducción de la velocidad generaba un mayor momento en el punto de corte de material.

Una vez terminado este proceso se procedió al lijado de todas las partes mecanizadas para asegurar que no se produjeran cortes o lesiones durante su manipulación.



Figura 33. Lijado de barra de la estructura

Por último, y como paso previo a realizar la soldadura, se limpiaron los extremos de las barras sobre los que se iba a aplicar el material de soldadura. Para ello se utilizó la máquina de lijar. El resultado se puede apreciar en la imagen anterior.

4.2 Rueda dentada del freno eléctrico

El freno eléctrico se caracterizaba por tener 4 tornillos a los que se debería unir la rueda dentada. Tras una prueba fallida por tomar las dimensiones de forma errónea, se realizaron los agujeros en la rueda mediante el uso de la fresadora. Para ello, previamente se habían localizado y marcado con precisión los puntos en los que se trabajaría.



Figura 34. Freno sin rueda acoplada

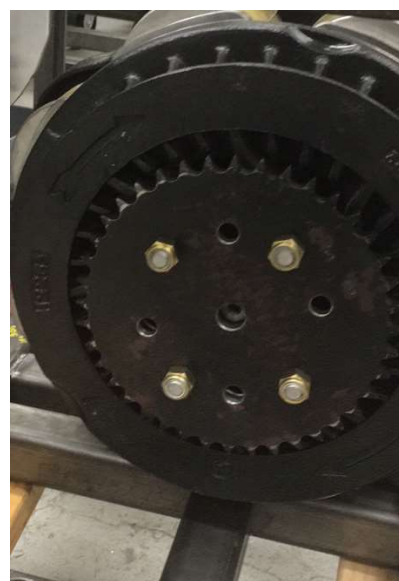


Figura 35. Freno con rueda dentada

4.3 Rueda dentada del eje de los rodillos

Para acoplar la rueda al eje se diseñó un sistema que produjera una interferencia mecánica entre la rueda y el eje para asegurar que rotaran con la misma velocidad angular. Para alcanzar este objetivo se realizaría el siguiente diseño.

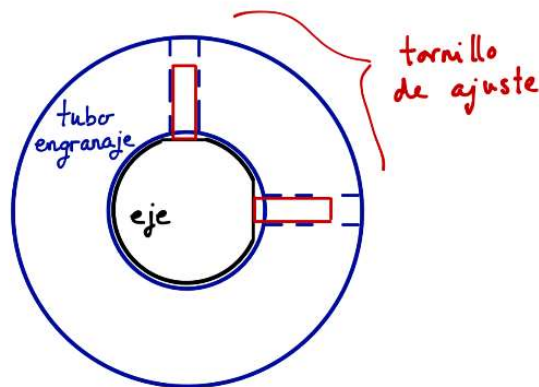


Figura 36. Esquema del acoplamiento eje-rueda dentada

Se aplanarían dos caras a 90 grados una de otra y por otro lado se harían sendos agujeros en el tubo del engranaje. Se introducirían tornillos de ajuste en los agujeros y se lograría la interferencia.

Teniendo todo ello en cuenta, la rueda dentada adquirida a través de McMaster fue sometida a diferentes procesos mecánicos para ajustarla a lo diseñado.

En primer lugar, se aumentó el diámetro interior para que coincidiera con el del eje de los rodillos. Se siguió el mismo proceso que en el engranaje del sistema de tensión con una excepción. El torno aumentó el diámetro unas centésimas por encima del diámetro del eje para facilitar su acoplamiento ya que no se precisaba un ajuste con apriete. En este caso el diámetro deseado era de 2 pulgadas.



Figura 37. Torno de Cooper Union

La segunda parte de la mecanización de la rueda dentada consistió en la perforación de los dos agujeros a 90 grados uno de otro para asegurar el acoplamiento entre los dos elementos mecánicos: el eje y el engranaje.

A continuación se procedió al mecanizado de los elementos que asegurarían la deseada interferencia mecánica.

Para ello se utilizó una máquina de taladro que perforó el tubo del engranaje. Para realizar estos agujeros se consultó la tabla que establece la velocidad del taladro en función del diámetro que se quiere obtener y el material perforado y el de la herramienta de corte. A continuación, se procedió a roscar el agujero de manera manual, previamente habiendo sujetado la rueda por un tornillo de banco. Para mejorar el roscado se hizo uso de lubricante.



Figura 38. Roscado de la rueda dentada del eje de rodillos

El siguiente paso consistió en el aplanamiento de las caras del eje de los rodillos. Para ello se utilizó una máquina de lijar siendo necesarias muchas pasadas para lograr el objetivo.



Figura 39. Detalle eje de rodillos

4.4 Sistema de tensión

Esta parte del proyecto fue una de las más complejas al tratarse de un número considerable de piezas que debían montarse unas sobre otras. Se realizó en varios pasos:

- 1) Mecanizado de la rueda dentada.
- 2) Acoplamiento de los engranajes.
- 3) Mecanizado de las placas.
- 4) Mecanizado del eje.
- 5) Ensamblaje de todas las piezas.

4.4.1 Mecanizado de la rueda dentada

En primer lugar se mecanizó el diámetro interior del engranaje para conseguir un ajuste con apriete. Se fue aumentando progresivamente hasta alcanzar el tamaño para introducir los dos rodamientos. Por tanto, se hizo coincidir el diámetro interior del engranaje con el diámetro exterior del rodamiento, 35 mm. Para ello se utilizó el torno del taller de Cooper Union.

Se comenzó a cortar la pieza con unas herramientas menos precisas y más adelante se utilizaron cortes progresivos de 50 milésimas de pulgadas para alcanzar el diámetro esperado con una mayor precisión. El ultimo diámetro mecanizado sería unas centésimas menor que el diámetro del rodamiento. La velocidad de giro del torno era seleccionada en base a la tabla mencionada con anterioridad.

Seguidamente, se redujo el ancho del engranaje para asegurar la introducción de dos rodamientos en su interior.

4.4.2 Acoplamiento de los rodamientos

Una vez mecanizada la pieza se procedió a introducir el rodamiento. Se comenzó por golpear con un martillo con punta de plástico introduciendo una pequeña fracción del rodamiento y asegurando que quedaba igualado, es decir, que había sido introducido la misma fracción a lo largo de todo el diámetro. A continuación, se utilizaría una prensa para introducir la totalidad del rodamiento.

Esto mismo proceso se realizaría para el segundo rodamiento por la cara opuesta de la rueda.



Figura 40. Rueda mecanizada



Figura 41. Vista frontal rueda + engranaje

4.4.3 Mecanizado de las placas

Tras adquirir las placas de acero por McMaster se utilizó la máquina CNC para realizar los distintos agujeros.

En primer lugar, se introducían los dibujos de SolidWorks en el programa de la máquina y se elegían las correspondientes herramientas a usar. Fue de gran ayuda en este proceso el apoyo del profesor del taller a la hora de manipular todas estas herramientas.

Después de situar unos ejes coordenados la pieza comenzó a ser cortada. La máquina utilizó varias herramientas de corte de diferente tamaño en el proceso.



Figura 42. Máquina CNC



Figura 43. Placa



Figura 44. Placa de ajuste

Una vez obtenidas las piezas se lijaron los bordes para evitar cualquier accidente durante su manipulación.

4.4.4 Mecanizado del eje

El eje se diseñó con el fin de atravesar todas las piezas y asegurar que todas ellas se mantenían unidas. Para ello, se cortó la pieza de aluminio a la longitud deseada en el torno y a continuación se comenzó reducir los diámetros correspondientes. La mayoría de estos diámetros no requerían de una gran precisión ya que se realizaría un ajuste con juego. Sin embargo, la parte del eje en contacto con los rodamientos sí debía tener un ajuste con apriete y se dedicó una cantidad mayor de tiempo a la consecución de este diámetro.

Una vez completados los diámetros exteriores, en el mismo torno se creó un diámetro interior a través del cual se introduciría un tornillo para el ensamblaje final.

Por último, es importante destacar el ajuste de diseño del diámetro intermedio con el fin de separar la parte móvil del sistema de tensión con la que debiera mantenerse fija. A efectos prácticos, esto llevó a la fabricación de una segunda pieza.



Figura 45. Eje sistema de tensión

4.4.5 Ensamblaje

Una vez completadas todas las piezas llegó el momento de ensamblar todas las piezas del sistema de tensión. Para ello, se colocaron los tres tornillos en su posición: uno atravesando el eje y los otros dos en la placa. A continuación se colocaron las arandelas y las tuercas quedando el siguiente sistema:



Figura 46. Vista frontal sistema de tensión

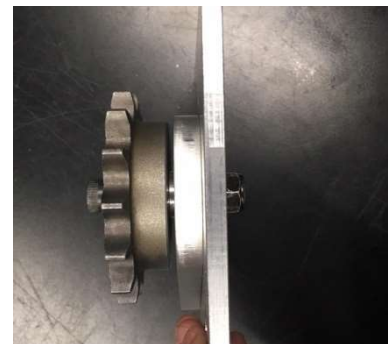


Figura 47. Vista lateral sistema de tensión

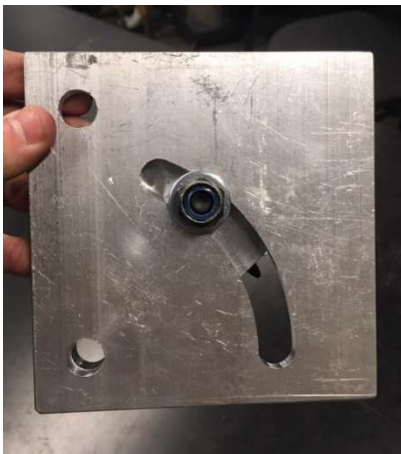


Figura 48. Vista trasera sistema de tensión



Figura 49. Ensamblaje sistema de tensión

4.5 Preparación ubicación de la instalación

El sistema de sujeción de la estructura constaba de un sistema de anclajes y tornillos que atravesarían la estructura. Por esta razón era necesario preparar la instalación de los anclajes al suelo.

Con la ayuda de SolidWorks se determinó la ubicación exacta a la que debían ser situados los tornillos en la pared y el suelo y se marcaron con un rotulador. La profundidad requerida para los agujeros se determinó teniendo en cuenta la longitud de los anclajes y de los tornillos.

Una vez calculadas todas las variables se procedieron a realizar los agujeros manualmente con un taladro.



Figura 50. Agujeros para tornillos

Ya estaban todas las piezas del proyecto fabricadas y únicamente faltaba soldar la estructura de las barras de acero y la colocación del freno eléctrico en su interior.

4.6 Soldadura

Cooper Union utilizaba la soldadura fuerte para unir sus piezas de acero. Debido a mi inexperiencia en este tipo de proceso de fabricación y para cumplir con las medidas de seguridad del taller, el profesor encargado del taller me ayudó en este momento del proyecto.

La soldadura de la estructura se hizo en cuatro partes bien diferenciadas:

- 1) Se comenzó por soldar la base y el cuadro superior de la estructura, es decir, todas las piezas paralelas al plano del suelo. Se aseguró en el montaje previo a la soldadura que las barras estuvieran perpendiculares unas a otras y se inmovilizaron para asegurar esta perpendicularidad con ayuda de herramientas de sujeción.

Tras este proceso quedaron los dos cuadros formados por cuatro barras cada una.

El marco del suelo necesitó de trabajo adicional para colocar las barras sobre las que se colocaría el freno y la barra de apoyo. Para la soldadura de estas piezas fue de vital importancia la exactitud en la distancia entre unas barras y otras ya que deberían coincidir con los agujeros

del freno. El espaciado de estas barras se realizó con tacos metálicos de diferentes medidas hasta lograr las longitudes deseadas.

El resultado fue el siguiente después de realizar la soldadura:



Figura 51. Primer paso del proceso de soldadura

- 2) Una vez realizado los dos marcos de la estructura se debían soldar las barras cuatro barras verticales y el sistema de tensión. La instalación del tensionador era una operación crítica ya que se debía asegurar que la rueda dentada del freno estuviera alineada con la rueda del sistema de tensión. Es por ello por lo que se decide instalar el freno sobre el marco inferior antes de soldar el resto de la estructura.

Para mover el freno eléctrico se hizo uso de una grúa que funcionaba con un cilindro hidráulico para elevar la carga.



Figura 52. Transporte del freno



Figura 53. Acoplamiento del freno al marco soldado

Una vez colocado el freno se atornilló a la estructura desde debajo de la estructura a través de agujeros en las barras. Al tratarse de un freno de origen español los tornillos no se ajustaban al tamaño de las llaves disponibles en el taller. Como solución se tuvo que fabricar una llave con una pieza de acero hexagonal que con ayuda de una lija fue reduciendo sus dimensiones hasta ajustarse a las de los tornillos.

Una vez realizada esta operación era el momento de soldar las barras verticales que unirían los dos marcos ya soldados.



Figura 54. Detalle tornillos base del freno

- 3) Como ya se realizara con anterioridad, se fijaron con herramientas de sujeción todas las partes y se aseguró la perpendicularidad de las barras antes de soldar.



Figura 55. Proceso de soldadura

- 4) La última pieza que se soldó a la estructura fue la barra del sistema de tensión. A diferencia del resto de las barras, esta no se colocó en base a un plano, sino atendiendo al criterio de permitir circular la cadena entre las dos ruedas dentadas. Después de probar en diversos puntos cómo circulaba la cadena se eligió el óptimo que favorecía el alineamiento buscado. Para terminar el proceso se soldó la barra en la parte superior e inferior uniéndola a los dos marcos y la estructura estaba lista trasladarla al lugar en el que se instalaría definitivamente.

Capítulo 5: Resultados

Tras realizar la soldadura de la estructura se hacía visible de manera conjunta el resultado del proyecto. Se logró realizar de manera efectiva el diseño y fabricación del sistema de sujeción del freno eléctrico y su sistema de tensión. En la siguiente imagen se puede apreciar el resultado conseguido con un mayor nivel de detalle.

De esta manera, todas las barras de acero fueron soldadas para conseguir la estructura, las ruedas dentadas se acoplaron al freno y al eje, y por último se logró realizar un sistema de tensión autoajutable que supondrá en el futuro una gran mejora para el funcionamiento del banco dinamométrico.

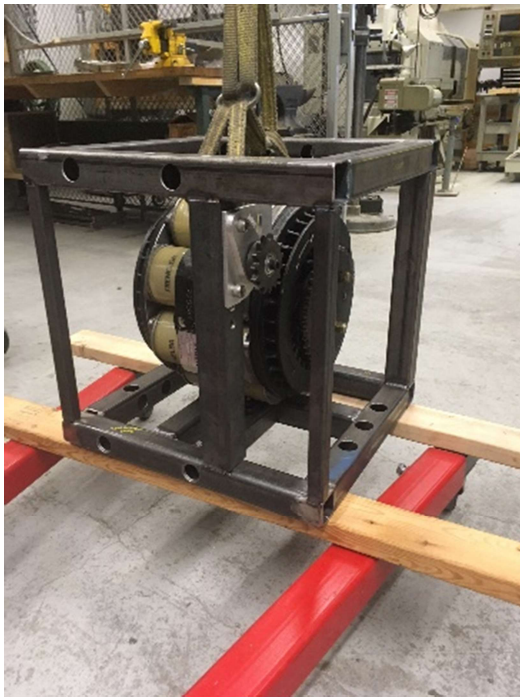


Figura 56. Estructura final I

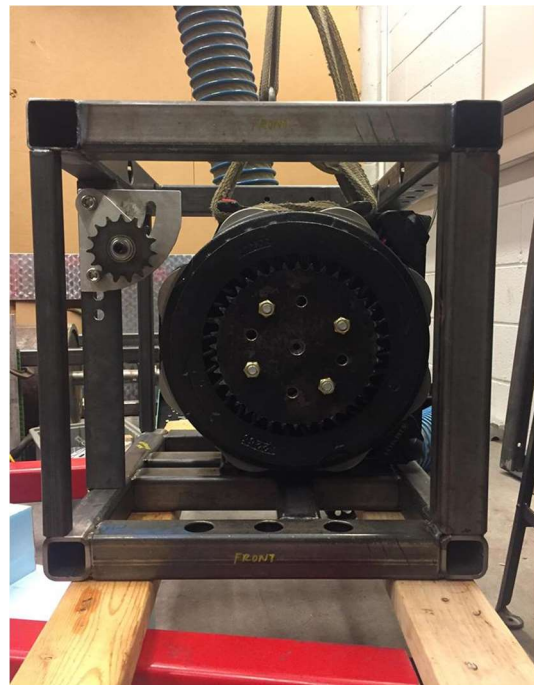


Figura 57. Estructura final II

Capítulo 6: Trabajo futuro

Una vez finalizados todos los procesos de fabricación y el posterior ensamble se llevó la estructura al lugar donde sería finalmente instalada.

De esta manera, y debido a la falta de tiempo, quedaron algunos aspectos a rematar para definitivamente operar con normalidad el freno eléctrico.

Por un lado, quedó pendiente la instalación de los anclajes a los que se atornillaría la estructura. Tras instalarlos habría que atornillar la estructura. Estos anclajes y los tornillos fueron adquiridos con el resto de material de McMaster.

Por otro lado, la instalación de la cadena también quedó pendiente de realizarse.

Al ser un proyecto de un gran valor para Cooper Union, el curso que viene nuevos alumnos tomarán el relevo para completar el banco dinamométrico y también, por supuesto, el sistema de sujeción del mismo.

Capítulo 7: Conclusiones

Considero que este proyecto me ha aportado un gran valor desde varios puntos de vista.

En primer lugar, este proyecto me ha acercado al mundo de la automoción por el que siempre he sentido un especial atractivo. Ser parte de un proyecto cuyo fin último era hacer un banco dinamométrico de pruebas para un coche de carreras ha resultado ser apasionante.

En segundo lugar, desde un punto de vista formativo técnico me ha permitido utilizar una gran variedad de herramientas con las que no estaba familiarizado y con las que he logrado un grado de manipulación aceptable. De esta manera, tras muchos estudios teórico acerca de ellas, por fin he podido poner en práctica ese conocimiento.

Por último, me ha aportado una visión de proyecto integral a largo plazo con la que no estaba familiarizado. Planificar con varios meses vista el proyecto y estimar los tiempos de trabajo ha sido un verdadero desafío. A su vez, a lo largo del proyecto se han vivido momentos de incertidumbre que han sacado de mí lo mejor para plantear soluciones y resolver los problemas.

Por todo ello, ha sido una experiencia muy gratificante.

Capítulo 8: Agradecimientos.

En primer lugar, quería agradecer a mi director de proyecto Estuardo Rodas su generosidad y dedicación a lo largo de este proyecto.

A Cooper Union, por su apoyo a este tipo de proyecto y su fomento de la investigación entre los alumnos.

Por último, a la Universidad Pontificia de Comillas, por darme la oportunidad de realizar un intercambio tan maravilloso.

Capítulo 9: Bibliografía

- 1) Manual de Solidworks. “Introducción a Solidworks” Obtenido de https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf
- 2) Capturas de pantalla de McMaster-Carr. Obtenidas de <https://www.mcmaster.com>
- 3) Budynas, R. G. & Nisbett, J. K. “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”. McGraw-Hill, Novena edición.
- 4) Imagen del freno eléctrico de un camión. Obtenida de: <https://gruasenlatinoamerica.wordpress.com/>
- 5) Imagen de banco dinamométrico. Obtenida de: <https://www.superflow.com/aspx/cat.aspx?catid=1&navid=14>

Parte 2:

Anexos

Tabla de anexos

1. Acero de la estructura
2. Plano de barra de tornillos superiores del freno
3. Plano de barra de estructura I
4. Plano de barra de estructura II
5. Plano de la placa de ajuste
6. Plano de la placa del sistema de tensión
7. Plano del eje del sistema de tensión
8. Plano de la barra del sistema de tensión

Nota: todos los planos han sido realizados en pulgadas ya que su objetivo era su fabricación en el taller de Cooper Union

Anexo 1: acero de la estructura

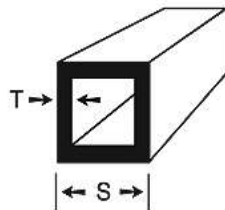
[Aluminum](#) [Brass](#) [Bronze](#) [Copper](#) [Cold Roll](#) [Hot Roll](#) [Nickel](#) [Titanium](#) [Stainless](#) [Other Metals](#) [Plastics](#) [More...](#)

Search:

HOT ROLL

TYPE/SHAPE

[8620 - Hot Roll Alloy Steel Rod](#)
[A36 - Hot Roll Angle](#)
[A36 - Hot Roll Round Bar](#)
[A36 - Hot Roll Square Bar](#)
[A36 - Steel Perforated Sheet](#)
[A500 GR. B Carbon Pipe](#)
[A500/A513 - Hot Roll Tube - Rectangle](#)
[A500/A513 - Hot Roll Tube - Square](#)
[A606/A588A Hot Roll Weathering \(COR-TEN equiv\) Steel Sheet/Plate](#)
[A653 - Galvanized Steel Sheet](#)
[Hot Roll Flat Bar](#)
[Hot Roll Sheet / Plate](#)
[Hot Roll Sheet Sample Pack](#)
[Hot Roll Steel Tread Floor Plate \(Diamond Plate\)](#)
[Mild Steel Expanded Sheet](#)



HOT ROLLED MILD STEEL SQUARE TUBE A500

Part #: 10346

Hot Roll Steel Square Tube A36 (2" x .25") is made of cold formed and seamlessly welded hot rolled steel. Hot Roll Steel Square Tube A36 offers high weldability and is used frequently in structural applications in bridges and buildings as well as in both the automotive and appliance industry.

View our ["Guide to Mild Steel"](#) for available grades, shapes and additional information.

Mill Test Reports are available on this item and can be selected during the checkout process.

Material Meets These Standard(s): ASTM A500

DIMENSIONS		Weight/Lineal Foot: 5.949 pounds
Dimension Name	Value	
Height	2"	
Wall	0.25"	
Internal Height	1.5	

[View Other Sizes](#)

[Available Sizes](#)

[Create a Custom Size](#)

[Technical Information](#)

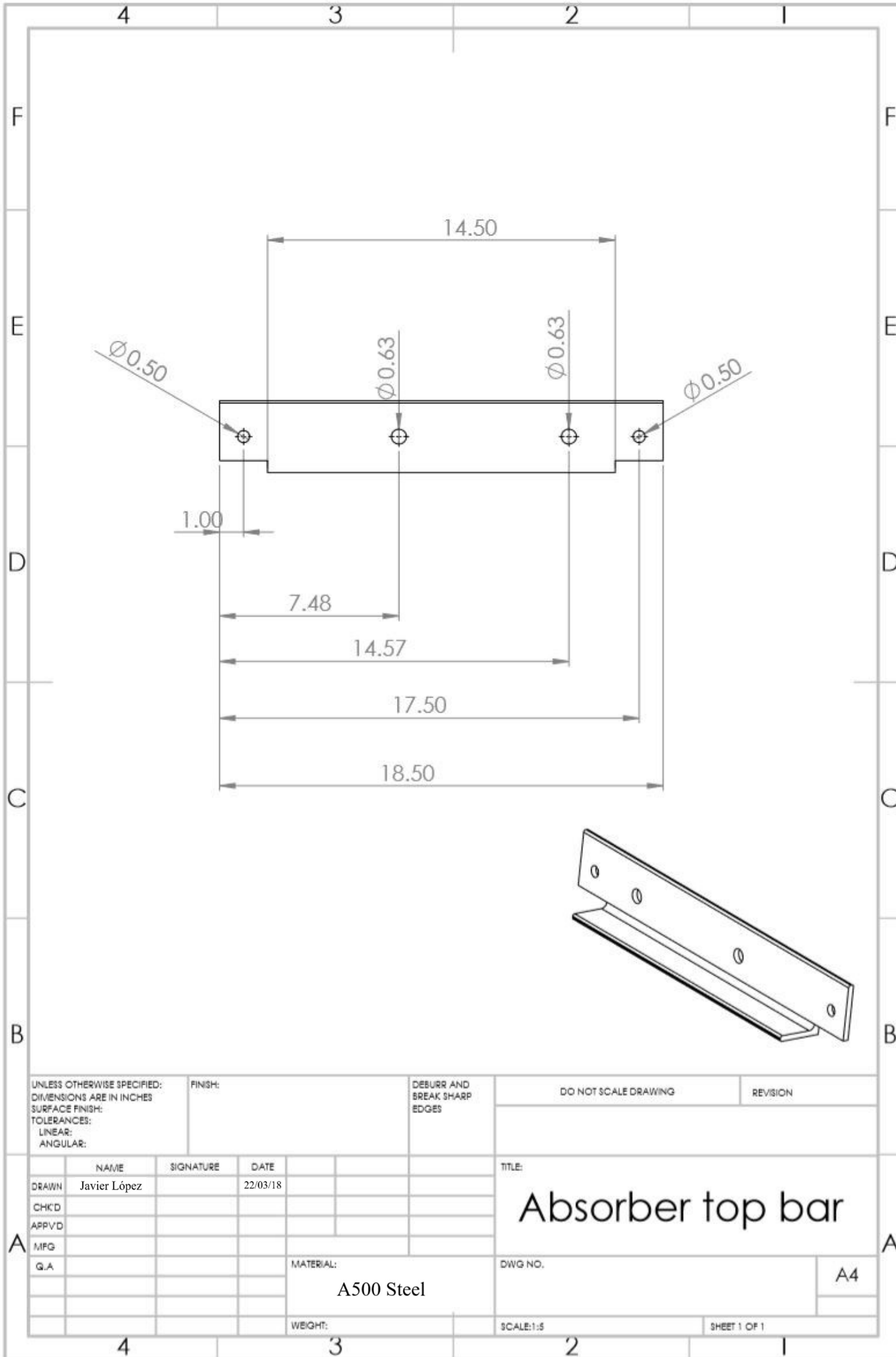
Weight/Lineal Foot

5.949 pounds

Material Specifications

This material meets the following specs:
ASTM A500

Please note that this data is to be used ONLY FOR REFERENCE, NOT FOR DESIGN, and by using it, you agree that any decisions you make regarding materials for your project are at your own discretion.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN INCHES
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

Absorber top bar

DWG NO.

A4

MATERIAL:

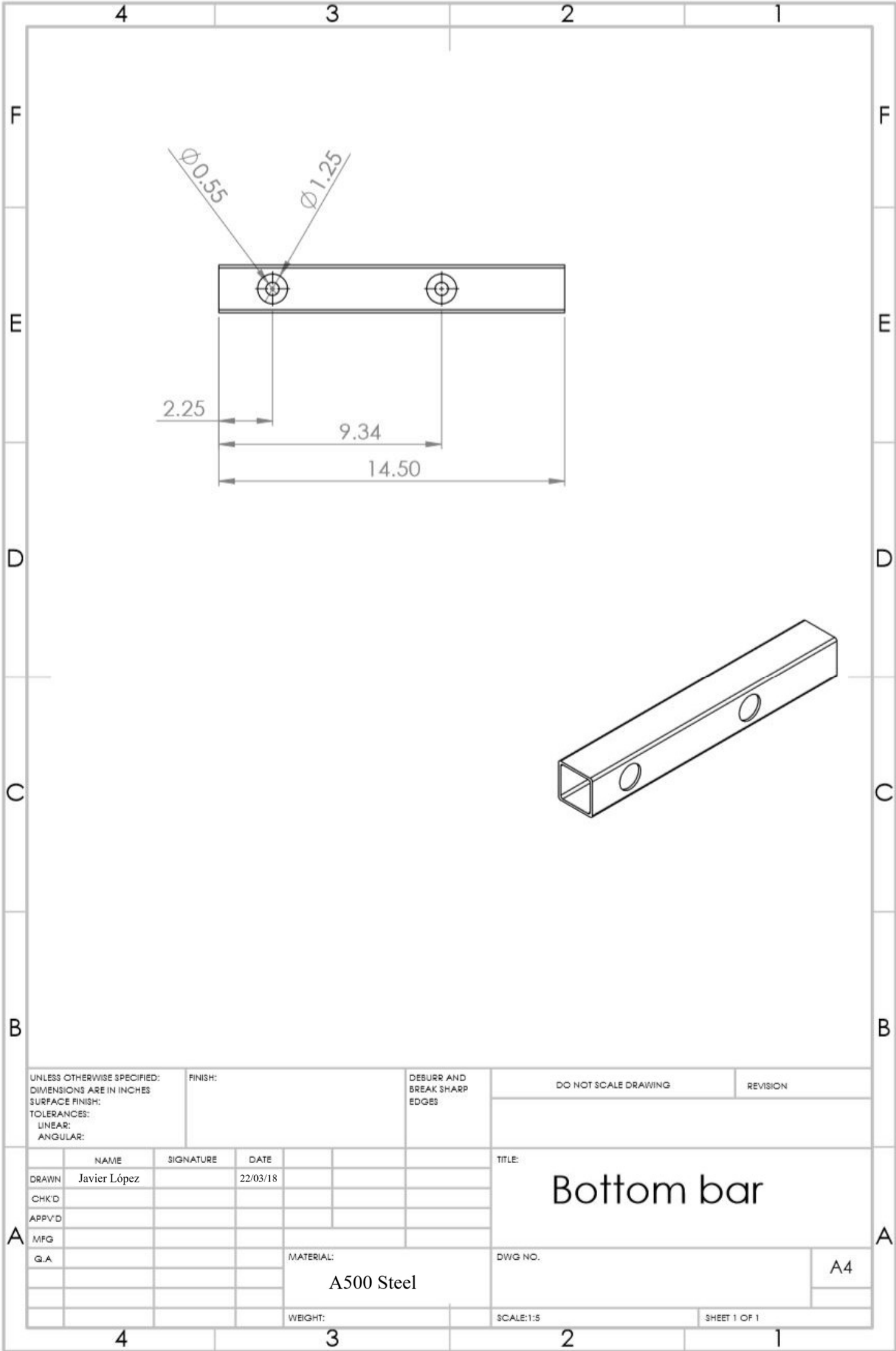
A500 Steel

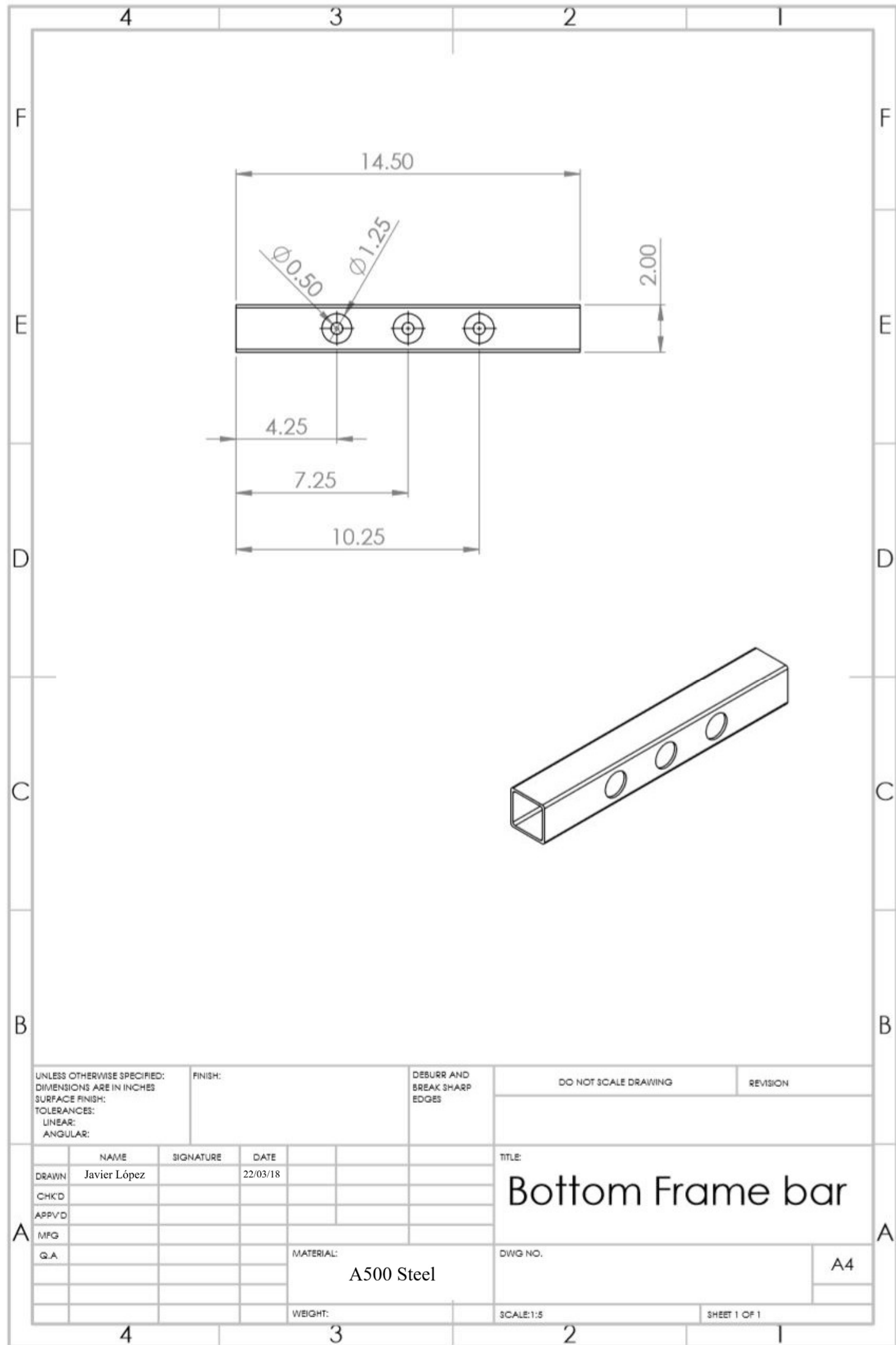
WEIGHT:

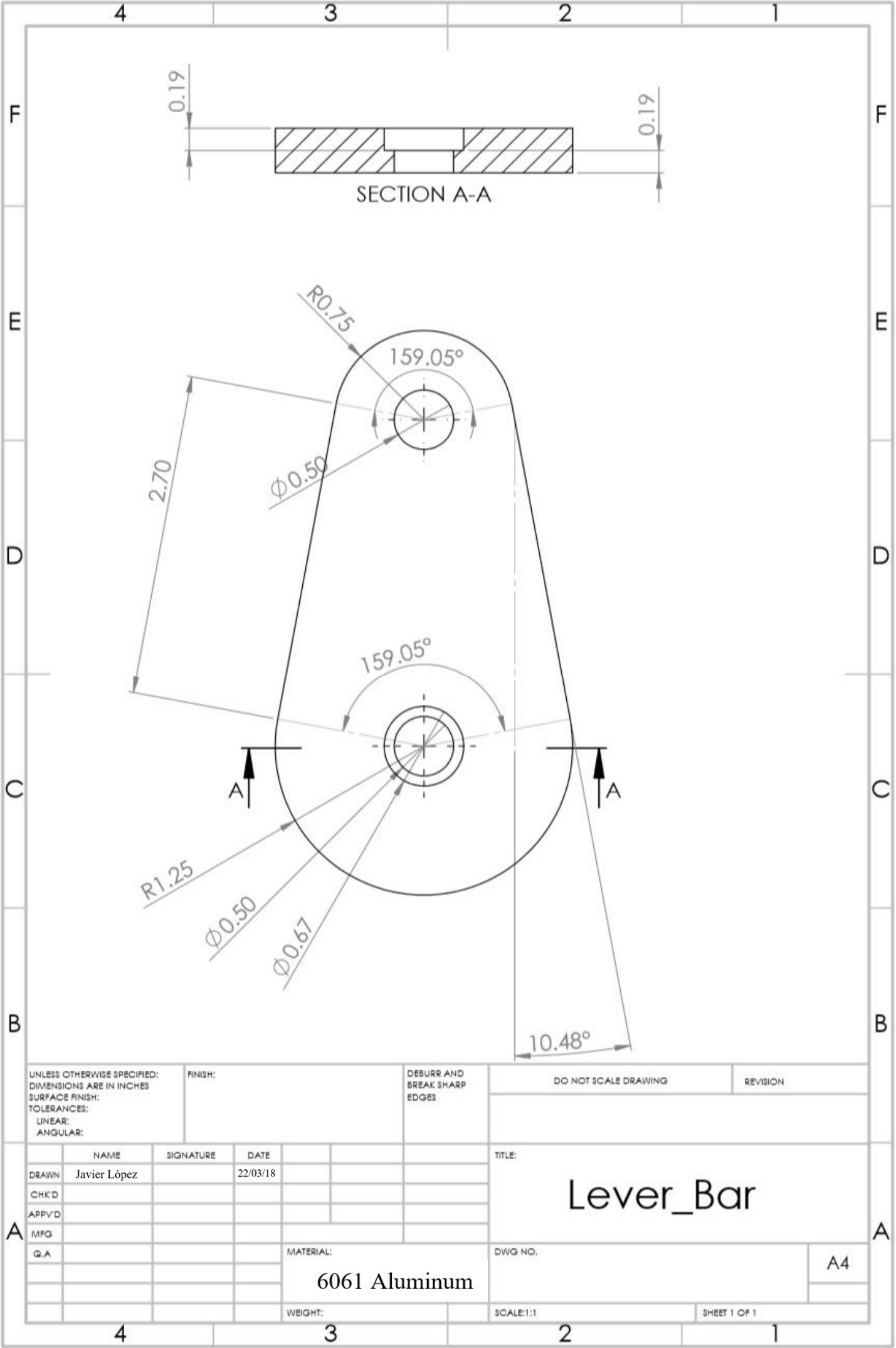
SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Javier López		22/03/18		
CHK'D					
APP'VD					
MFG					
Q.A					







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN INCHES
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Javier López		22/03/18		
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

MATERIAL:
6061 Aluminum

WEIGHT:

TITLE:

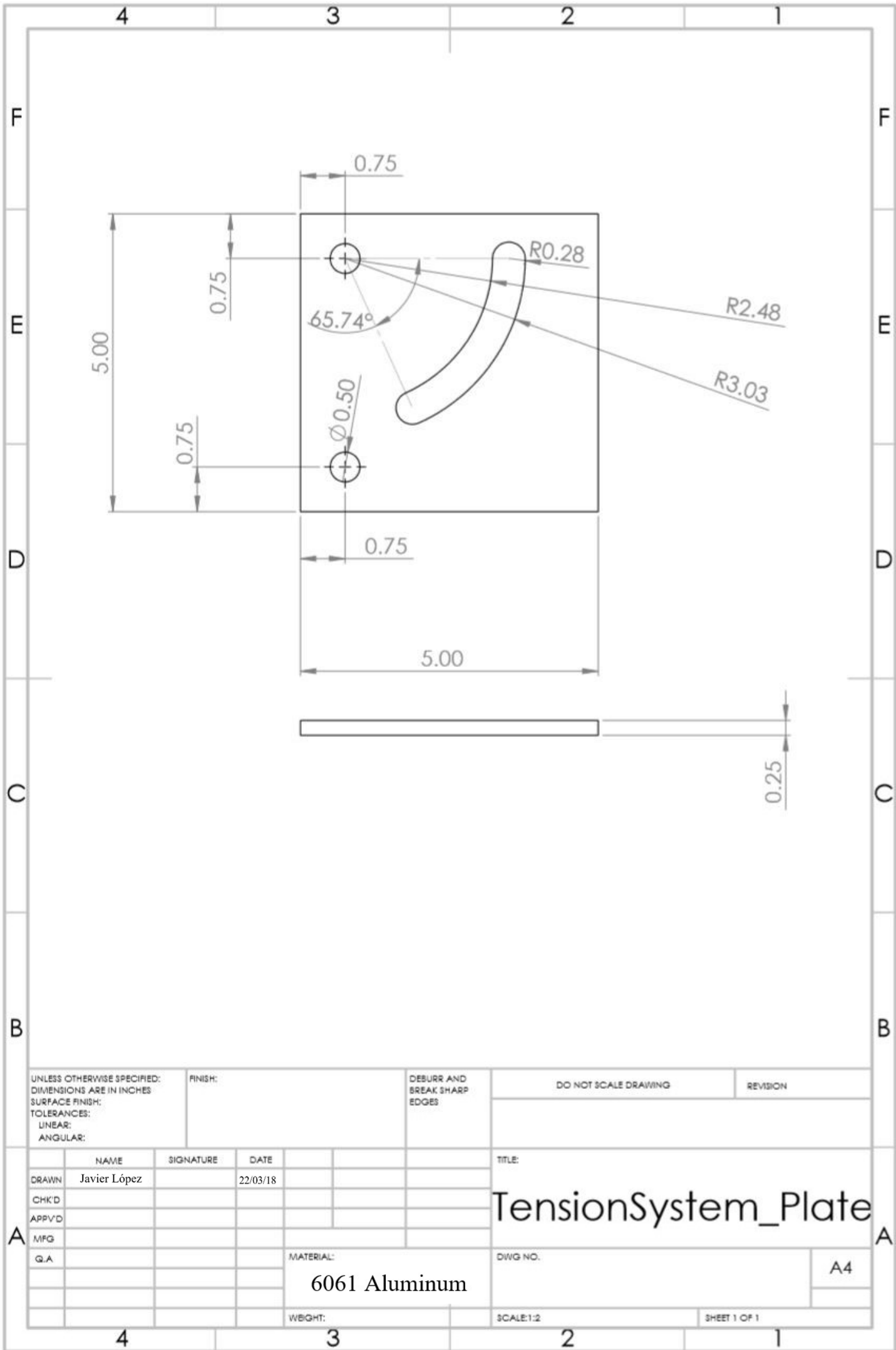
Lever_Bar

DWG NO.

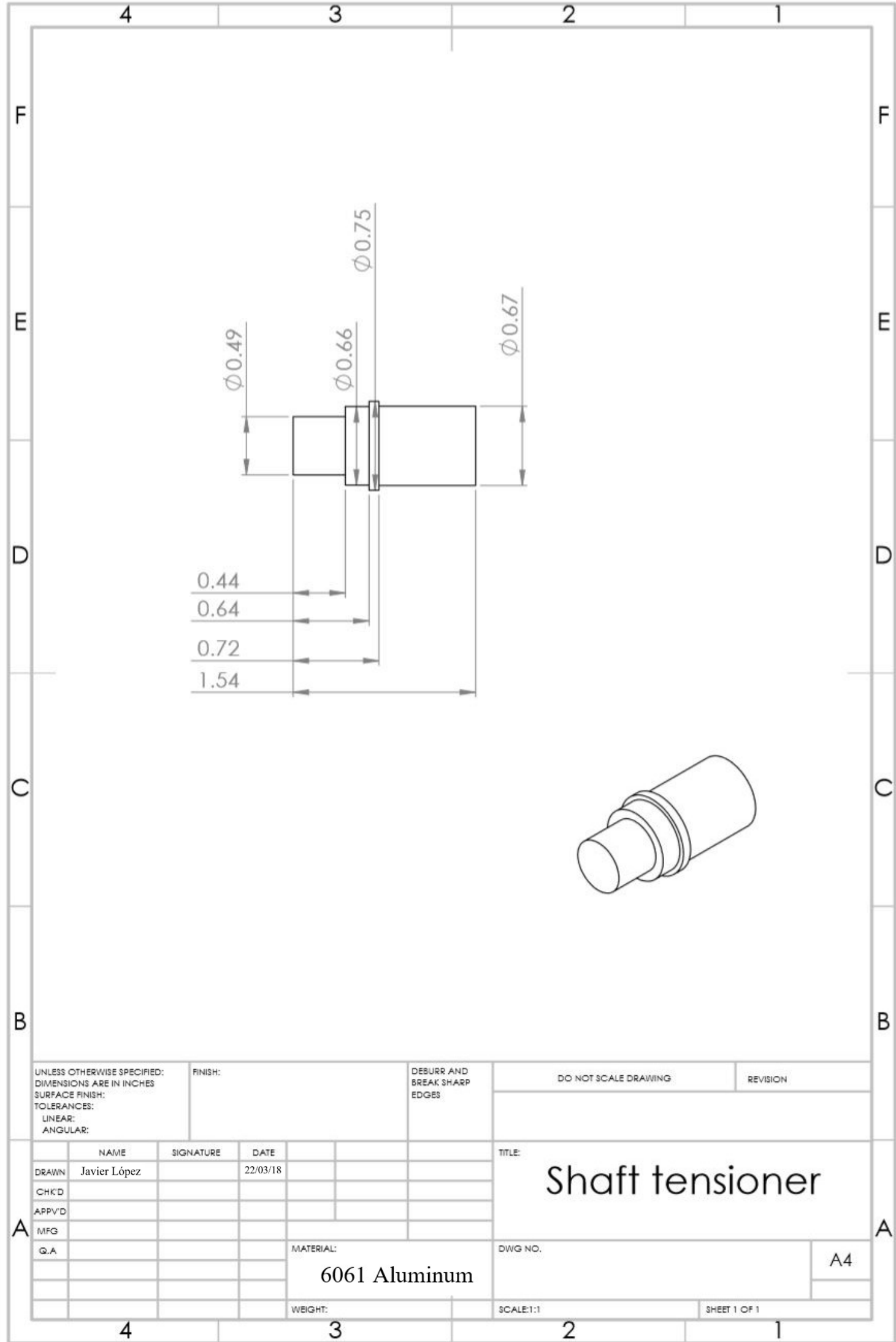
A4

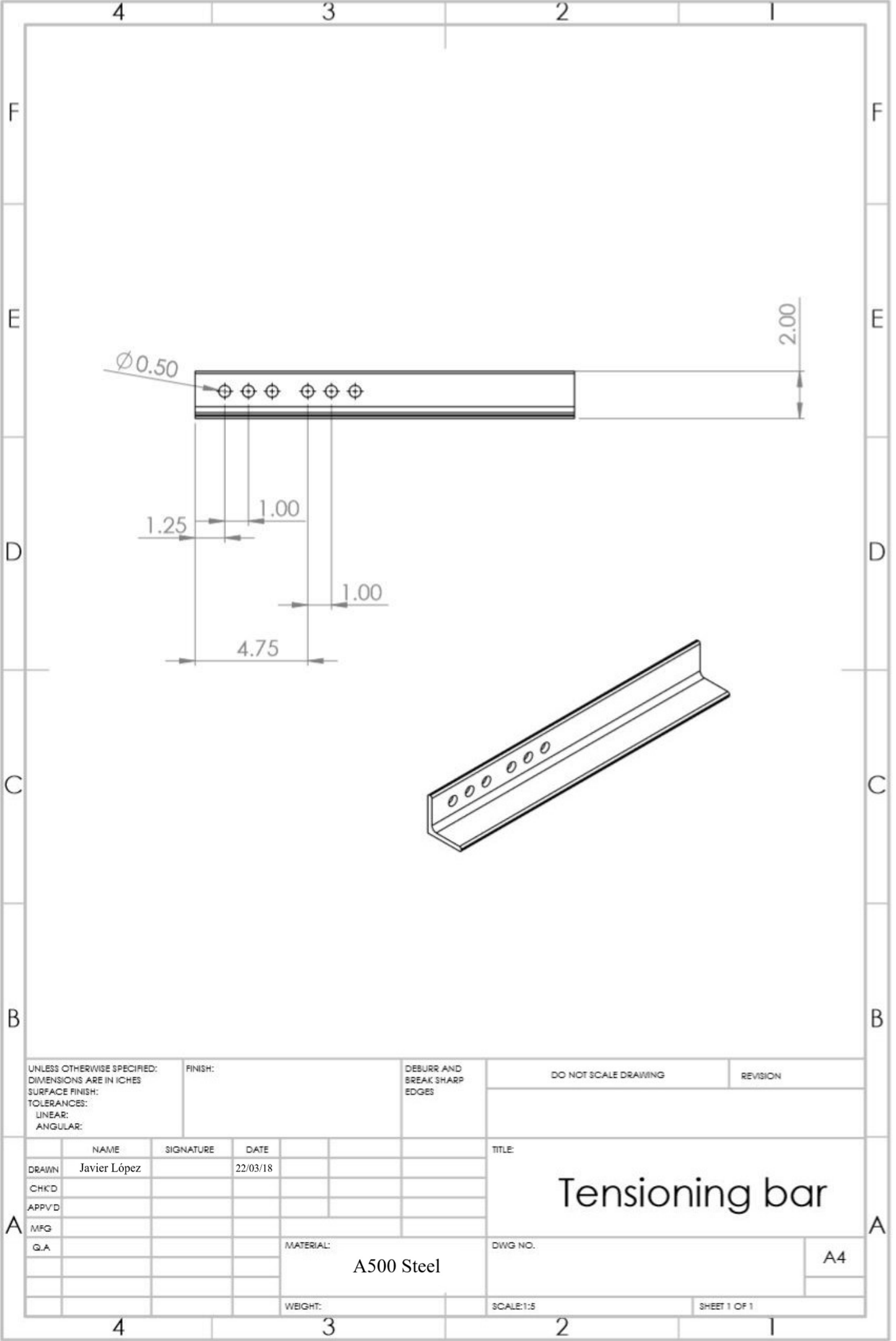
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
	NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:		
DRAWN	Javier López				22/03/18				TensionSystem_Plate		
CHK'D											
APP'V'D											
MFG											
Q.A											
				MATERIAL:				DWG NO.			
				6061 Aluminum				A4			
				WEIGHT:				SCALE:1:2			
								SHEET 1 OF 1			





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:			
DRAWN		Javier López		22/03/18				Tensioning bar			
CHK'D											
APP'V'D											
MFG											
Q.A.											
						MATERIAL:		DWG NO.			
						A500 Steel		A4			
						WEIGHT:		SCALE: 1:5			
								SHEET 1 OF 1			