



POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid
Tel.: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es



Yago Soriano González

05 TRABAJO FIN DE GRADO

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE TRACCIÓN DE PROBETAS DE PLA

JUNIO 2021

Yago Soriano González

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE GRADO:

**María Luisa Martínez Muneta
Berta Suarez Esteban**



POLITÉCNICA

DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE TRACCIÓN DE PROBETAS DE PLA

TRABAJO FIN DE GRADO

Alumno: Yago Soriano González

Tutora 1: María Luisa Martínez Muneta

Tutora 2: Berta Suarez Esteban

CURSO ACADÉMICO 2020/21

A mis padres, hermanos y abuelos por apoyarme siempre.

A mis compañeros, por las aventuras compartidas.

A mis profesores por la enseñanza impartida.

AGRADECIMIENTOS

Llega el momento de cambiar de etapa, de evolucionar y de adaptarse a una nueva realidad, pero no sin antes reflexionar lo que han sido estos últimos cuatro años y cómo han impactado y mejorado mi persona, pensamientos, valores, conocimientos... Aún recuerdo, entrar en 2017 por la puerta de la Universidad con ilusión pensando que me iba a comer el mundo y me iba a convertir en "INGENIERO", un ser intelectual, con una forma de pensar cuadriculada y capaz de resolver cualquier problema. Sin embargo, ahora, desde la distancia y viéndolo con perspectiva solo puedo pensar que ingenuo era.

Es cierto que voy a graduarme como ingeniero, pero como un ingeniero que ha aprendido a valorar a los compañeros, y lo importantes que son para sacar esta carrera; como un ingeniero que ha aprendido a base de experiencias a sacar las cosas, no importa cuántos ceros, cuatros o cuatros con nueve saques, todo se saca con esfuerzo; también salgo como un ingeniero que ha aprendido a tener fe, a pensar que por muy mal que te salga un examen puede que alguna fuerza divina te haga llegar al aprobado. Pero bromas aparte, salgo como un ingeniero que ha aprendido a ser mejor persona, a buscar los recursos necesarios según el problema y a afrontar la realidad tal y como es. Y es por esto por lo que me gustaría agradecerse a las personas que me han acompañado hasta ahora.

En primer lugar, a mi familia, novia y amigos, por haberme animado a entrar en esta carrera, y apoyarme y aguantarme en las épocas de exámenes, celebrando mis éxitos y levantándome en mis fracasos.

En siguiente lugar a los profesores que han hecho que mi paso por la ETSII sea una experiencia rica y llena de aprendizajes.

Por supuesto, me gustaría agradecer a Berta y a María Luisa por haberme dado la oportunidad de realizar este TFG, donde he podido descubrir intereses y herramientas nuevas muy interesantes y de gran utilidad.

Finalmente, me gustaría hacer una mención especial a Carlos, Juan, Miguel Alejandro y Pilar por hacer de esta aventura que es GIO una experiencia inolvidable.

RESUMEN

A lo largo del presente proyecto, se llevarán a cabo el despliegue de los conocimientos y recursos necesarios para la construcción de una máquina de ensayo a tracción para probetas de PLA de bajo coste. Esto, englobará, la parte bibliográfica de conocimientos previos a la construcción sobre los ensayos de tracción y la normativa que siguen, la ISO 5893, “Aparatos de ensayo para plásticos y caucho. Tipos para ensayos de tracción, flexión y compresión (a velocidad de desplazamiento constante)”. Además, se mostrarán los distintos diseños y alternativas propuestas para los sistemas de agarre y sujeción de la pieza, distinguiendo entre los materiales comprados de bajo coste y los diseñados para la impresión.

Por otro lado, se mostrará el ensamblaje de la máquina y el desarrollo del código encargado del control y de la recopilación de datos del ensayo, así como, el análisis de los mismos para la determinación de las propiedades mecánicas del PLA.

El ser humano ha tenido en gran consideración las propiedades de los distintos materiales para su supervivencia, distinguiendo entre elementos con mayor resistencia mecánica para utilizarlos en la caza, bien sea como arma o armadura, materiales más ligeros y flexibles para la construcción de los tejados de los primeros asentamientos etc. Y aunque inicialmente estas características se establecían por aprendizaje con experiencia, con el paso del tiempo se fue evolucionando en la metodología hasta llegar a los ensayos mecánicos.

Los ensayos mecánicos, tienen como fin poner a prueba materiales de cara a conocer las propiedades del mismo. De esta manera, la sociedad que vivía en pequeñas casas hechas con barro pasó a entender que existían otros materiales más resistentes y que permitirían mejorar la calidad de vida y seguir evolucionando. Así pues, se empezaron a testar materiales que con el paso del tiempo y el aumento del conocimiento se traducirían en mejores casas, automóviles, maquinaria ...

El estudio de los materiales no solo implica mejoras o invenciones, sino también ahorro y seguridad. Conocer las propiedades de los materiales se traducen en un diseño de forma basado en emplear la menor cantidad posible de un material cumpliendo siempre unas especificaciones de seguridad que eviten el acontecimiento de fallos mecánicos.

El conocimiento de estas propiedades mecánicas se califica de prioritario de cara a la realización de un diseño correcto. Para la estandarización del estudio de los elementos descritos existen una serie de ensayos normalizados. A nivel español concretamente, el organismo normalizador lleva por nombre Aenor, y la redacción de normas se denominan UNE (Una Norma Española).

Estos ensayos por tanto se aplican en materiales de construcción o de fabricación tradicionales y nuevos como el PA (Nylon), PC (Policarbonato), PLA (Ácido Poliláctico) ... Muchos de estos nuevos materiales son de gran utilidad en un método de fabricación que está acaparando cada vez más importancia entre los distintos mercados industriales. Esta tecnología es la impresión 3D.

Esta tecnología tiene la capacidad de transformar el consumismo. Al capacitar a las personas para que construyan sus productos, es posible una personalización sin precedentes y un cambio significativo en el poder de fabricación. La Impresión 3D ha llegado para quedarse y solo se volverá más común a medida que se siga perfeccionando.

Parte de esta mejora pasa por el mayor entendimiento de los distintos materiales utilizados en el desarrollo de la impresión tridimensional para poder descubrir nuevos usos de la

tecnología y mejorar los que ya se conocen. Para ser capaz de ampliar el conocimiento sobre estos materiales han de ser sometidos a los distintos ensayos de tracción, de resistencia mecánica, de resistencia al impacto, de fatiga, tecnológicos y no destructivos.

En le Fablab de la ETSII se está fabricando filamento de impresión 3D reciclado 100% partiendo de restos de piezas defectuosas de PLA principalmente. Este nuevo filamento reciclado 100% tiene unas propiedades materiales que difieren del PLA virgen. Además, se conoce que las propiedades mecánicas y químicas pueden mejorar si se añade material virgen. Para probar la resistencia a la tracción se construye esta máquina.

Además, una de las principales ventajas de esta tecnología es que es asequible y accesible por todo el mundo, por lo que el estudio de los materiales de fabricación debería de seguir el mismo principio.

Así pues, con aras de solucionar esta situación, se ha desarrollado una máquina capaz de realizar un ensayo para determinar las propiedades de los filamentos en sus diferentes grados de reciclabilidad que permiten su impresión. Concretamente, la máquina está programada para realizar el ensayo de tracción sobre PLA, aunque los principios desarrollados durante la elaboración del proyecto se podrían aplicar a distintos ensayos y sobre otros materiales.

El ensayo de tracción consiste en aplicar un esfuerzo axial a una probeta hasta su rotura. La velocidad de deformación aplicada para no distorsionar el resultado debe ser baja, durante el ensayo de tracción, se mide la fuerza y la extensión de la probeta.

La elección de este ensayo, así como del material no ha sido arbitraria, la principal razón se debe a que son ambos de gran importancia en el panorama industrial actual. El ensayo de tracción es uno de los más extendidos a nivel global y el PLA es el material más utilizado en cuanto a impresión 3D con máquinas de escritorio de tecnología FFD se refiere.

El desarrollo del proyecto consta de dos fases diferenciadas, una primera de estudio previo, de revisión bibliográfica sobre la metodología y sobre la normativa que engloba esta materia, en este caso del ensayo a tracción, las distintas mediciones que se pueden obtener a partir del mismo, qué formulas utilizar y qué normativa sigue. Y de la impresión 3 D características de los materiales y su utilidad.

La segunda fase estará compuesta por el diseño, en la que se seleccionan los distintos componentes que conforman la máquina y se realizará el diseño del conjunto a partir de Fusion 360 que cuenta con herramientas CAD, CAM, CAE y PCB 3D.

La construcción de la máquina, de cara a reducir los costes, está compuesta de elementos impresos en 3D, con sus respectivos planos y de materiales cotidianos y prefabricado fáciles de adquirir en cualquier ferretería o página web dedicada a la venta de materiales de esta índole. Concretamente, los materiales empleados son los mismos que los que se usan en máquinas de impresión 3D o de Control Numérico, y como se ha mencionado, se han elegido en función del coste y su utilidad. Dando lugar a un coste de mecánico de 90 euros y electrónico de 95 euros aproximadamente, muy bajo en comparación a los miles de euros que cuesta una máquina de ensayos convencional.

Finalmente, se realiza la programación, ensamblaje y testeo de la máquina a partir del diseño establecido en la fase anterior. Para el desarrollo del código se utilizará Arduino que permite el control de la máquina y obtener los resultados que determinarán las propiedades del material testado.

El ensamblaje y testeo dan lugar a la culminación al proyecto al estudiar los resultados obtenidos en el ensayo de tracción donde se compararán con ensayos externos de cara a la validación y comprobación de los resultados a través del Software de cálculo Excel.

En conclusión, la realización del presente proyecto deriva en un mayor conocimiento sobre las posibilidades de construcción de una máquina de ensayo a tracción de bajo presupuesto y sobre las principales propiedades mecánicas del PLA, desde su alargamiento a su módulo de Elasticidad o de Young, así como la fuerza y esfuerzos máximos a los que puede ser sometido el material antes de romperse. Dando por concluido exitosamente el proyecto.

Palabras clave: Ensayo de Tracción; Impresión 3D; Fusion 360; Excel; Alargamiento; Fuerza Máxima; Esfuerzo; Módulo de Young.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	10
2.- OBJETIVOS	13
PARTE I – ESTUDIO PREVIO	15
3.- ENSAYO DE TRACCIÓN	15
Deformación Elástica	17
Deformación Plástica	18
Ductilidad	19
Tenacidad	19
Resiliencia.....	19
3.1.- DEFINICIONES	20
3.2.- TIPOS DE FRACTURAS.....	21
3.3.- TIPOS DE PROBETA	22
3.4.- OBJETIVOS DEL ENSAYO PARA MATERIALES PLÁSTICOS.....	23
3.4.1 UNE-ISO 5893.....	24
PARTE II – DISEÑO Y DESARROLLO DE LA MÁQUINA DE TRACCIÓN.....	30
4.- ELEMENTOS DE LA MÁQUINA.....	30
4.1.- CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA	31
4.1.1 TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA	31
Diseño.....	31
Programación.....	31
4.2.- CONJUNTO	32
4.3.- DISEÑO DE COMPONENTES SOPORTE	35
4.4.- RESTO DE COMPONENTES	40
4.5.- PROBETAS	47
4.6.- ELECTRÓNICA	52
4.7.- PARÁMETROS	58
4.8.- CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA	60
4.4.- HERRAMIENTAS PARA EL MONTAJE.....	71
4.5.- PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	76
4.6.- PRUEBA REAL	84
5.- MODELOS FALLIDOS	88
6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	98

7.- CONCLUSIONES.....	102
7.1.- LÍNEAS FUTURAS	103
7.2.- IMPACTOS SOCIALES Y MEDIOAMBIENTALES	104
8.- BIBLIOGRAFÍA	106
9.- PLANIFICACIÓN TEMPORAL.....	110
9.1.- ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL PROYECTO (EDP)	110
9.2.- DIAGRAMA DE GANTT	110
10.- PRESUPUESTO	116
11.- ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	118
ANEXO I – PLANOS CONJUNTO Y DESPIECE DE PIEZAS DISEÑADAS	121

1.- INTRODUCCIÓN

En el mundo actual el desarrollo técnico-industrial sucede a un ritmo frenético. Esto ha generado la introducción de nuevos modelos industriales al mercado. Una de estas técnicas punteras que destaca sobre las demás es la impresión 3 D. El inicio de la impresión tuvo lugar en 1976, con la invención de la impresora de tinta por inyección. A comienzos de 1984, se realizan algunas mejoras sobre el proyecto de impresión de tinta, cambiando la tinta por diferentes materiales. Las impresoras 3d funcionan como las impresoras de chorro de tinta, en vez de tinta, las impresoras 3d depositan el material deseado en una serie de capas sucesivas para crear un objeto procedente de un formato digital. Existen, numerosas aplicaciones de la tecnología de impresión que se han desarrollado en las últimas décadas [1].

Algunos de los hitos más importantes que han marcado el camino de esta nueva tecnología son:

- Invención de la estereolitografía por Charles Hull, que permite la impresión en tres dimensiones a partir de datos digitales. A través de una imagen se logra crear un modelo 3D. Esto permite realizar prototipos de proyectos permitiendo reducir costes del proceso de diseño y fabricación.
- En 1992, tiene lugar el desarrollo de la primera máquina de impresión tridimensional del tipo estereolitográfico o SLA introducida en el mercado. Este hito llega de la mano de 3D Systems. Su novedad reside en la solidificación de un fotopolímero a través de un rayo UV, cuya viscosidad y conformación le permite ir fabricando capas tridimensionales. Tiene muchas imperfecciones que se irán corrigiendo con el paso del tiempo.
- En 1999 tiene lugar la creación del primer órgano por parte de un laboratorio implementado en seres humanos. Concretamente fue el aumento de la vejiga mediante el uso de un recubrimiento sintético de las células. Esto supone la introducción de esta tecnología al mundo sanitario.
- En 2002, con el objetivo de imprimir órganos y tejidos con técnicas de impresión 3D, el Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa desarrolló un riñón a escala completamente útil.
- En 2005, tiene lugar la fundación de RepRap, por la Universidad de Bath, que plantea la iniciativa de establecer código abierto para la construcción de una impresora 3D que sea capaz de imprimir sus propios recambios y partes propias.
- En 2006, se crea la máquina de Sintetización de láser selectivo o SLS viable. Este tipo de máquina puede fundir materiales mediante un láser en el proceso de impresión, lo que permite introducir esta herramienta en la personalización masiva y en la demanda industrial. Además, este mismo año Object diseña y desarrolla una máquina capaz de imprimir múltiples polímeros y elastómeros. Admite cambiar de densidades y de propiedades del material.
- En 2005, se da a conocer el proyecto Darwin, permitiendo así la impresión de una máquina capaz de generar la mayoría de sus propios componentes.
- En 2008, se sube una página web beta que ofrece un servicio de co-creación entre distintas comunidades. De esta manera, arquitectos y diseñadores, así como artistas pueden publicar sus diseños en 3D.

- En 2008, Hay un avance generalizado en prótesis, aconteciendo el hecho histórico de que una persona pueda andar mediante un prótesis impresa y funcional.
- En 2009, MarketBot comienza a vender kits de montaje de impresoras 3D.
- En 2009 además, tiene lugar la bioimpresión, siendo el primer ejercicio de la misma la impresión de un vaso sanguíneo.
- En 2011, se produce un bum en el sector transporte con el diseño e impresión del primer coche y avión generados por impresión 3D aportando mejoras a los respectivos vehículos y abaratando sus costes.
- En 2012, se produce el primer implante de mandíbula generada por impresión 3D.
- En 2017, hay un proceso de popularización y se incentiva la construcción por impresión 3D, en Dubai se plantea la construcción de un rascacielos con impresión 3D. Además, se comienza a implementar la impresión aditiva con metales y la introducción de esta tecnología a la Fórmula 1.
- En 2019, grandes corporaciones como Polaroid comienzan a generar sus productos a través de la tecnología de impresión.
- En 2020, con la pandemia global, la tecnología/industria 3D se moviliza y comienza a producir en masa dispositivos para hospitales, como protectores faciales o ventiladores, y más tarde, hisopos para las pruebas de COVID-19. Esto confirma su posición como agente de mercado no solo para la elaboración de prototipos, sino de productos finales. Por ello se generan nuevos Softwares para la lectura de archivos y a planificación de la producción [2].

Como se puede comprobar, la tecnología de impresión 3D está ya implantada casi en su totalidad y su futuro está destinado a la impresión de productos finales, útiles de uso diario, sometidos a estreses físicos que pueden dañar su consistencia y provocar fallos, que pueden dar lugar a accidentes o pérdidas económicas significante. Es debido a esto que estos materiales necesitan ser sometidos a algún tipo de prueba que determine las características del material, su durabilidad, tenacidad ...

A la hora de escoger un material industrial, este debe tener unas características determinadas. Para ello es imprescindible saber las características técnicas y físicas del material a estudiar, se necesita conocer a qué clases de esfuerzos y cargas va a estar sometido.

Desde los materiales que conforman los utensilios del día a día a los materiales utilizados en fábricas son sometidos a ensayos. Conocer por tanto las capacidades de resistencia, elasticidad, tracción y ductilidad es de suma importancia para saber las capacidades físicas del material a utilizar.

Estos procedimientos han de cumplir la normativa internacional que define los parámetros para tener en cuenta de cara a considerar el producto seguro y de calidad. Mediante el cumplimiento de estas normas el usuario del producto además accede a distintas ventajas como [3]:

- **Seguridad:** las exigencias en los cálculos, pruebas y ensayos a los que se someten los materiales empleados y el control en la fabricación y el montaje se ven reflejados en una mayor protección en las instalaciones, la mercancía y, sobre todo, para las personas que trabajan en los almacenes.
- **Normalización:** cumplir la normativa internacional constituye un factor de valoración positiva para la instalación y la empresa, en especial, en sus relaciones con las

compañías aseguradoras y en el caso de que se demanden responsabilidades referentes a la seguridad y salud en el trabajo.

- **Garantía:** los productos que cumplen los objetivos en materia de seguridad en todos los países de la Unión Europea generan confianza en el usuario.

Pero ¿por qué realizar ensayos?

Predecir el comportamiento estructural de un material es muy complicado debido a la particularidad de sus elementos. Es por ello, que se necesita de la modelación para poder descubrir las características mecánicas del material a estudiar.

Los laboratorios de ensayos mecánicos realizan evaluaciones estructurales, físicas y mecánicas para materiales y productos. Todas las pruebas se han de realizar bajo condiciones controladas para asegurar que los materiales y productos cumplen con las especificaciones y con su propósito de diseño. Con los ensayos mecánicos se logran proporcionan los siguientes servicios [4]:

- Hallar la Resistencia a la tracción
- Hallar la Resistencia a la flexión y a la
- Estimar la compresión
- Hallar la Resistencia al impacto
- Hallar la Resistencia al estallido y al rasgado
- Hallar la Resistencia de uniones
- Estimar la Resistencia mecánica
- Hallar la Resistencia a la abrasión
- Estimar el Punto de ablandamiento y de fusión
- Estimar Expansión térmica
- Hallar la Densidad
- Conocer la Resistencia al calor y a la humedad
- Estimar la Viscosidad
- Conocer la Tensión superficial
- Etc.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que este tipo de ensayos no son precisamente baratos. Debido a la precisión requerida, la maquinaria tiene que contar con instrumentación de último nivel. Los precios de estas máquinas rondan entre los 2.000 hasta 30.000 dólares [5], aunque pueden ser superiores según el tipo de ensayo. En gran parte, el precio viene condicionado por la fuerza aplicable necesaria para deformar el material a testar. Por tanto, encontrar una solución más asequible, que cumpla los parámetros necesarios por la ley para que el ensayo sea considerado viable es una línea de trabajo con futuro y con posibilidad de irrupción en un sector que necesita de un cambio.

2.- OBJETIVOS

Como se ha mencionado en el punto anterior, los ensayos son de suma importancia para conocer las propiedades mecánicas del material. En este proyecto se va a abordar por tanto esto, enfocado más concretamente en los ensayos de tracción en plásticos utilizados en impresión 3D. Si bien la maquinaria utilizada para los ensayos generales es cara, no tiene sentido utilizarla para testar materiales de una resistencia mecánica “inferior”. Para elementos plásticos en este caso ajustar la fuerza necesaria a la deformación del material supone una reducción considerable del presupuesto. Si a esto se le suma que una vez cambiado el motor y su tamaño, toda la máquina se puede rediseñar para que su tamaño sea inferior y su coste menor dando lugar a nuevas opciones de diseño y desarrollo.

De esta manera, este trabajo plantea el diseño, montaje y testeo de una Máquina de Ensayo a Tracción de Bajo Presupuesto. El presente proyecto consta de tres partes concretas, una primera parte de análisis y definición del ensayo de tracción y más concretamente del ensayo de tracción en plásticos. La segunda parte consta del diseño de una máquina de ensayo a tracción que combine piezas de impresión 3D y material ya existente. En tercer lugar, se llevará a cabo su montaje y seguidamente su programación a través de Arduino. Finalmente, se pondrá en funcionamiento la máquina y se harán los ensayos correspondientes.

Partiendo de estas intenciones, los principales objetivos del trabajo se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Estudio previo sobre los Ensayos, por y para qué se utilizan, más concretamente sobre los ensayos de tracción, qué son capaces de medir y qué normativa tienen que seguir para que el ensayo cuente como válido.
- Aprender a manipular tecnologías capaces de solucionar el problema planteado. Para ello se tiene que ser capaz de asimilar conceptos relacionados con Software 3D, Fusion 360, la programación, Arduino, y la mecánica de montaje e interpretación de datos.
- Definir qué elementos constituirán la máquina, desde tornillos a cableado pasando por estructura Hardware. Además, se identificarán las piezas que se necesitan imprimir en 3 D para lograr que la máquina funcione. Hay que tener presente que tiene que ser de bajo presupuesto.
- Diseñar, en Autodesk-Fusion 360, los elementos necesarios para que la máquina opere correctamente e imprimirlos para continuar con su montaje.
- Desarrollar el código en Arduino capaz de hacer de la máquina un dispositivo fiable a nivel de mediciones y seguro en su uso.
- Diseño e impresión de probetas para su futuro testeo según la norma ISO establecida.
- Ensamblaje de la máquina y puesta a punto para los distintos experimentos a realizar sobre la misma.
- Testeo mediante distintos ensayos, recopilación de datos, así como el estudio y análisis de los mismos.
- Mostrar que este tipo de proyectos y que esta tecnología cuenta con una línea futura muy potente con gran peso a nivel educativo e industrial.

PARTE I – ESTUDIO PREVIO

3.-ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción se caracteriza por ser un ensayo a temperatura y velocidad de deformación constante. Permite obtener medidas de fuerza, alargamiento y estricción del material. Las propiedades que se obtienen del material son, el módulo de elasticidad, el límite de fluencia, el límite de resistencia, tensión de ruptura, alargamiento total y uniforme, límite elástico.

Es por tanto un ensayo estático, en el que se somete a la probeta a un esfuerzo de tracción creciente, en su dirección axial. De esta manera se requiere de una máquina capaz de

- Lograr conseguir la fuerza necesaria para lograr la fuerza suficiente para romper el material testado.
- Ser capaz de controlar la velocidad mientras se aumenta la fuerza.
- Registrar la fuerza y el alargamiento del material.

Una máquina de ensayo a tracción está formada por:

- Celda de carga.
- Controladores del equipo.
- Probeta.
- Mordazas: Móvil y fija.

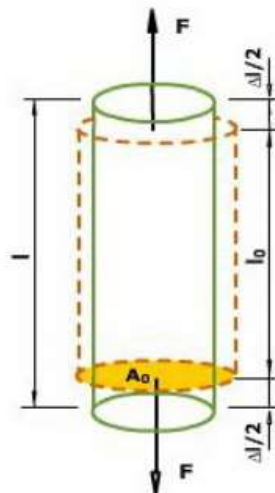


Figura 1: Representación esquemática de una carga sometida a un esfuerzo de tracción [6]

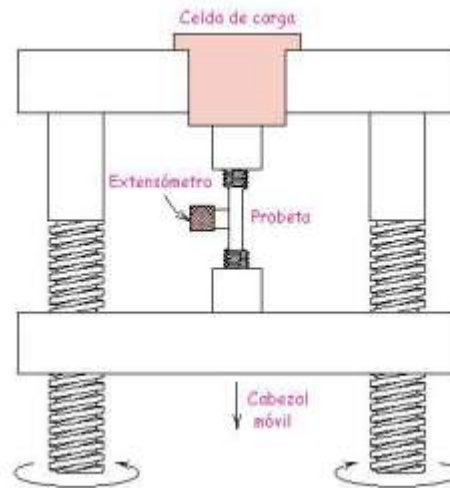


Figura 1: Máquina de Ensayo de Tracción [6]

Tal como se ha mencionado previamente, la máquina para el ensayo a tracción (figura 2) desarrolla la deformación mediante el desplazamiento de la mordaza móvil a una velocidad controlada. La célula de carga, capaz de medir la fuerza que se está empleando, se conecta a la mordaza. La máquina se conecta a un ordenador que recoge los datos y los analiza para calcular la deformación sufrida. La curva de la carga frente al desplazamiento se presenta de la siguiente manera.

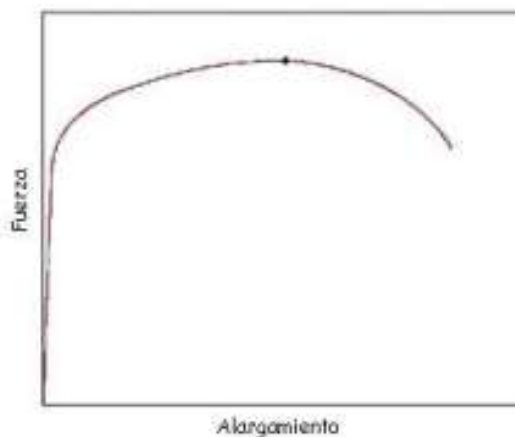


Figura 2: Fuerza – Alargamiento []

El ensayo parte de que el material a testar (forma predeterminada por la norma llamada Probeta) se sostiene por sus extremos a la mordaza móvil y fija. Estas deben mantenerse de forma consistente durante todo el ensayo, evitando el desplazamiento. Es importante mencionar que la rotura no debe verse influenciada por tensiones ajenas. Otro aspecto a tener en cuenta es el hecho de que para considerar el ensayo como válido, la rotura tiene que suceder en la longitud calibrada en la parte central de la probeta [7].

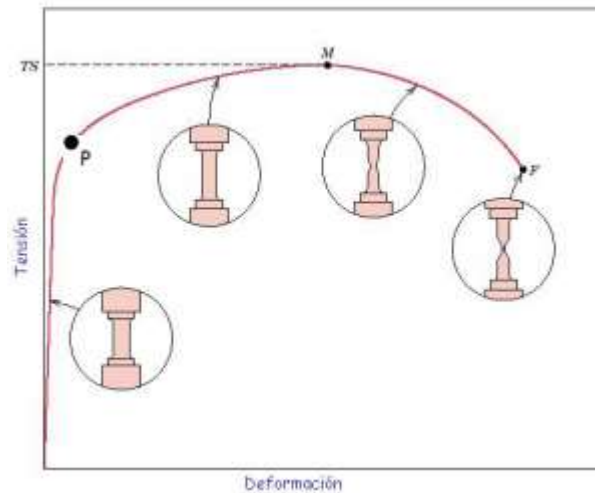


Figura 3: Curva de tracción típica hasta el punto de rotura. La resistencia a la tracción se representa con M [7]

Partiendo de la figura 4, se pueden observar dos regiones del material. La zona elástica, con baja deformación y que engloba desde el inicio de la curva hasta el punto P y donde la Ley de Hooke se cumple:

$$(\sigma = E \cdot \epsilon)$$

Siendo:

- σ : La tensión en N/mm^2
- E : El Módulo de Young N/mm^2
- ϵ : La deformación

Por otro lado, se halla la zona plástica, tras el punto P, el comportamiento lineal desaparece, es por tanto el Límite de Elasticidad del material.

La segunda región para estudiar es a partir del límite elástico, es decir la región plástica en su totalidad. Como se puede apreciar la tensión aumenta hasta llegar al máximo M (Resistencia a la tracción). A partir de ese punto, disminuye la tensión necesaria para deformar el material hasta el punto F de fractura. La Resistencia a Tracción es la máxima tensión que puede ser soportada por el material a tracción, en caso de aplicar y mantener dicha tensión en el tiempo tendrá lugar la rotura del elemento. Aunque la deformación sea uniforme a lo largo de la región estrecha de la probeta, cuando se alcanza M se genera una disminución más localizada en la sección transversal en algún punto de la probeta. A esto se le denomina estricción, toda deformación posterior a su aparición estará acotada por esta área. La fractura tiene lugar en la estricción y corresponderá con la Tensión de Fractura [7].

Deformación Elástica

La deformación elástica es la propiedad del material que hace desaparecer las deformaciones generadas por la aplicación de una fuerza cuando esta cesa. Es decir, un cuerpo completamente elástico sería aquel capaz de recuperar completamente su forma y dimensiones previas a la aplicación de la fuerza.[8]

La magnitud de la que depende la deformación es la tensión impartida (figura 5). Para algunos materiales sometidos a esfuerzos relativamente pequeños, tanto la deformación como la tensión son proporcionales y cumplen la Ley de Hooke mencionada anteriormente. La constante de proporcionalidad (E -MPa) es el módulo de elasticidad o módulo de Young.

$$\sigma = E\varepsilon$$

En caso de que la deformación sea proporcional la deformación será elástica y la relación entre tensión y deformación será lineal.



Figura 4: Relación Tensión-Deformación [8]

Donde la pendiente es equivalente al módulo de elasticidad. El módulo representa la rigidez, o la resistencia de un material a la deformación elástica. Cuanto mayor es el módulo, más rígido es el material, es decir, menor es la deformación elástica que se origina cuando se aplica una determinada tensión.

Deformación Plástica

La plasticidad es la propiedad que permite al material soportar una deformación permanente sin fracturarse. Al aplicar fuerza sobre un cuerpo este tiende a deformarse en la dirección de la fuerza. En el caso del ensayo de tracción, la fuerza se aplica en dirección del eje de la probeta y de ahí su nombre, axial, la probeta se alarga en dirección de su longitud y se encoge en el sentido o plano perpendicular. Aunque el esfuerzo y la deformación ocurren simultáneamente en el ensayo, los dos conceptos son completamente distintos.

Una vez sobrepasado el límite elástico, la tensión deja de ser proporcional a la deformación dando lugar a la deformación plástica, esta se caracteriza por ser permanente. A continuación, se muestra el comportamiento en la región plástica de un metal tipo (figura 6).

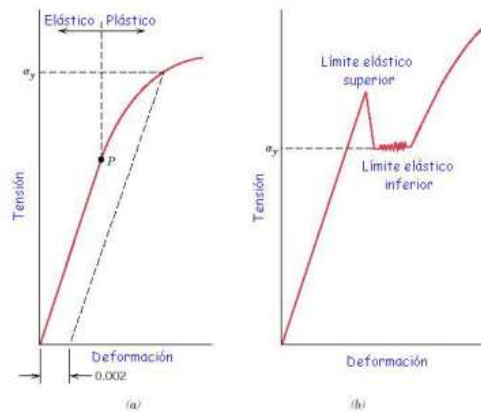


Figura 5: Curva tracción metal tipo y acero con discontinuidad de fluencia.[8]

Ductilidad

Permite conocer el grado de deformación (figura 8) plástica que puede aguantar hasta la rotura del material. Si la deformación sufrida es mínima se considera frágil. La ductilidad se representa con el alargamiento relativo porcentual. Este indica el porcentaje de deformación plástica a rotura.

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) * 100$$

Donde l_f es equivalente a la longitud en la fractura y l_o , la longitud original.

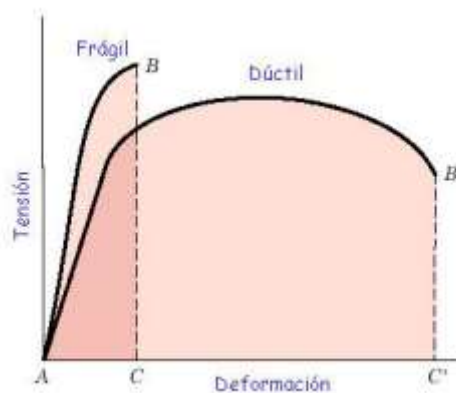


Figura 6: Relación Tensión-Deformación [8]

Tenacidad

Mide la capacidad que tiene un material de absorber energía previamente a su fractura. Esto tiene muchas implicaciones en la geometría de la probeta y en la forma de ejercer las cargas.

Resiliencia

Mide la capacidad del material para absorber energía elástica antes de la deformación plástica.

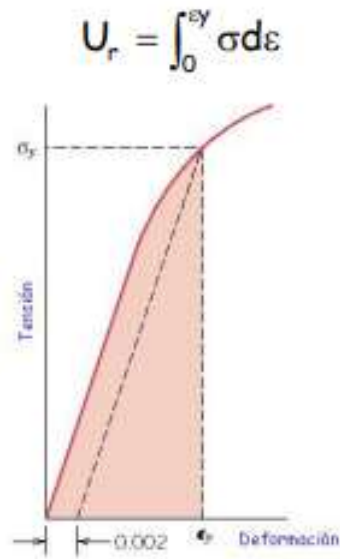


Figura 7: Relación Tensión-Deformación para el cálculo de la resiliencia [8]

3.1.- DEFINICIONES

- **Probeta:** Material a testar
- **Lo:** Longitud original
- **Lf:** Longitud final tras el ensayo
- **D:** Diámetro de la sección (diámetro circunscrito más pequeño que contiene el contorno de la sección)
- **So:** Sección de la probeta previamente al ensayo
- **S:** Sección mínima de la probeta tras el ensayo
- **Probeta normal:** So y Lo fijas
- **Probeta proporcional:** muestra con relación con el objetivo de normalizarla
- **Qm:** Carga máxima que aguanta la probeta durante el ensayo
- **Qf:** Carga final en el momento de la fractura
- **δ :** Tensión, $\frac{Q}{S_0}$
- **Δl :** Alargamiento, deformación longitudinal del cuerpo
- **$\emptyset$:** Estricción, máxima reducción de la sección transversal

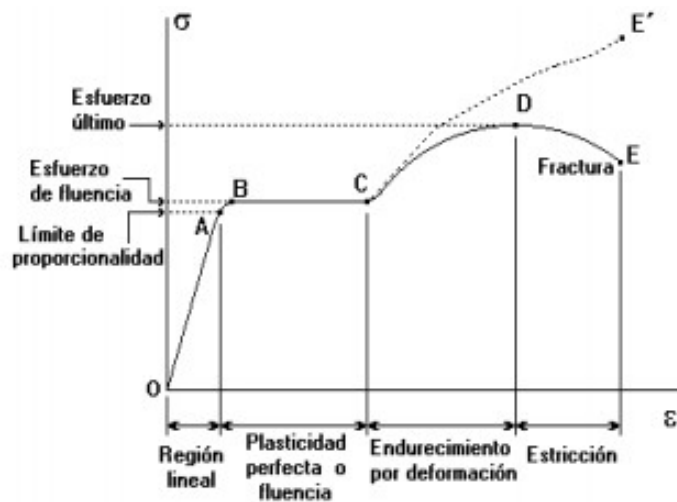


Figura 8 Gráfico Ensayo de Tracción Aceros [8]

O: Inicio del Ensayo
A: Límite de proporcionalidad
B: Límite Elástico Aparente
C: Incremento de la carga por endurecimiento
D: Carga Máxima de Rotura
E: Rotura

- **O-A:** Periodo Elástico:
 - Recta que indica la proporcionalidad entre la carga aplicada y el alargamiento (Ley de Hooke).
- **A-B:** Alargamiento Pseudoelástico:
 - Suma de los alargamientos elásticos y deformación (Recuperable). Límite Elástico Aparente.
- **B-C:** Fluencia:
 - Deformación permanente del material debido a oscilaciones. Tiene lugar al incrementar en pocas unidades la carga. No se produce simultáneamente en todo el material.
- **C-D:** Alargamiento Homogéneo:
 - Tiene lugar tras la fluencia. Debido a la deformación del material se produce un efecto de endurecimiento conocido como Acritud. Máxima capacidad de Carga D. Y se produce una concentración de cargas (Estricción)
- **D-E:** Estricción:
 - Subsiste la acritud, pero no compensa la disminución rápida de la sección transversal, por lo que la carga descende hasta la fractura.

3.2.- TIPOS DE FRACTURAS

Anteriormente, se ha mencionado la aparición de fracturas una vez se llega al límite en la zona plástica del material. Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen distintos tipos de fracturas según el tipo de material. Como se ha mencionado la ductilidad muestra la capacidad que tiene un material a ser deformado previamente a romperse y una vez sobrepasado el límite elástico. Se distinguía entre material frágil y dúctil y esto se puede apreciar según las características de la rotura [9].

- **Fractura dúctil:** La superficie de la fractura presenta una parte plana y un labio de corte. Forma 45° con la dirección de la carga (figura 9).

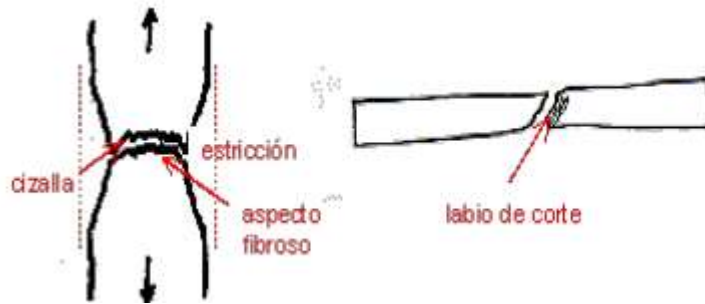


Figura 9 Fractura Dúctil [9]

- **Fractura frágil:** No muestra deformación plástica ni estricción. Forma ángulos específicos según las direcciones de las cargas máximas (figura 10).

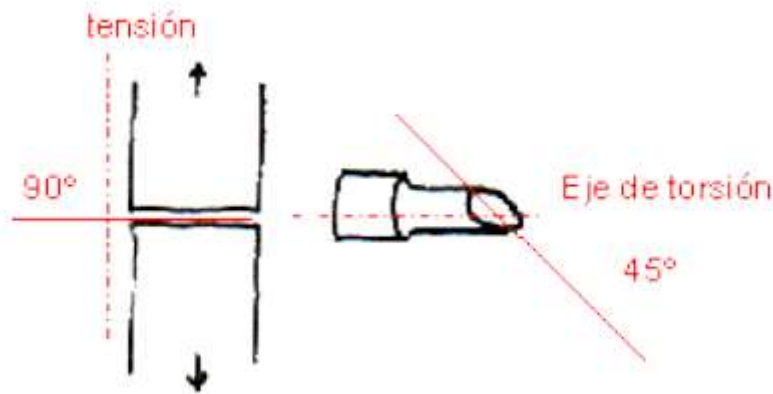


Figura 10 Fractura Frágil [9]

3.3.- TIPOS DE PROBETA

Una de las partes fundamentales del ensayo son las probetas, estas se pueden identificar según si han sido o no mecanizadas. Además, hay una tercera forma de distinguir las probetas que son según si son o no proporcionales. Más concretamente los tipos son:

- **Industriales:** Material sin mecanizar
- **Normalizadas:** Mecanizadas de acuerdo con la norma (SAE, DIN, IRAM, JIS, A.S.T.M)
- **Proporcionales:** Razones dimensionales

Las probetas de ensayo, generalmente se obtienen por mecanizado en el caso de los materiales metálicos. En el caso de que sean materiales con una sección constante, como barras o perfiles, o de barras por moldeo, se pueden utilizar como probetas, las muestras sin mecanizar. La sección puede ser rectangular, cuadrada o rectangular.

En el caso de materiales no metálicos, se pueden preparar por prensado, por inyección, impresión o por arranque de viruta mediante corte de planchas. Generalizando hay tres tipos de probetas:

- Plásticos rígidos y semirrígidos:

Las probetas, se forman según la figura 12. La muestra M-I se utilizará cuando haya material suficiente con un espesor menor o igual que 10mm.

El tipo M-III se usa cuando el material a ensayar tiene un espesor de 4mm o menor y el M-II se utilizará cuando se necesiten comparaciones directas entre materiales con diferente rigidez (semirrígido y no rígido).

- Plásticos no rígidos:

Se utilizará el tipo M-II con espesores iguales o menores a 4mm. El tipo M-I para los espesores comprendidos entre 4 y 10mm. (figura 11)

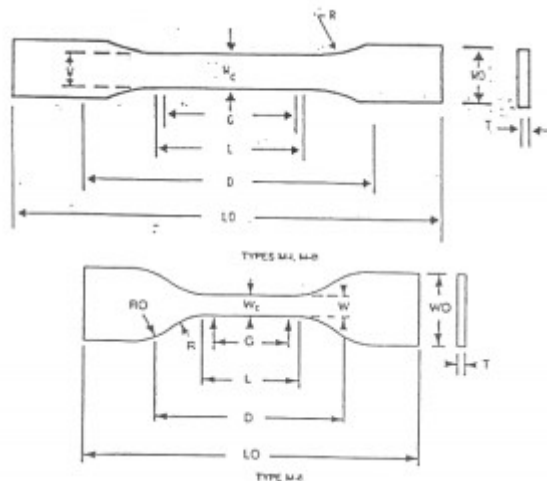


Figura 11 Tipos de probetas empleadas en los ensayos de tracción de plásticos M-I y M-III respectivamente (de arriba abajo)

- Materiales compuestos reforzados:

Se utilizará el tipo de probeta M-I en aquellos casos en los que la probeta tenga un espesor máximo de 10mm. Deben carecer de defectos visibles, arañazos o imperfecciones. Las marcas correspondientes al mecanizado tienen que ser eliminadas. El acabado final será en dirección paralela al eje largo de la probeta.

En el caso de realizar marcas para las mordazas, se utilizarán pinturas de cera o tinta china. Cuando se sospecha que hay anisotropía, es decir, variaciones de las propiedades del material según la dirección de examinación, se realizarán probetas de idénticas dimensiones teniendo sus ejes largos paralelos y perpendiculares a la dirección sospechada de anisotropía [10].

3.4.- OBJETIVOS DEL ENSAYO PARA MATERIALES PLÁSTICOS

Según la normativa ISO 5893, "Aparatos de ensayo para plásticos y caucho. Tipos para ensayos de tracción, flexión y compresión (a velocidad de desplazamiento constante) ".El ensayo de tracción determina las principales propiedades mecánicas de materiales plásticos. Los resultados se utilizarán de modo comparativo generalmente.

Los valores característicos son:

- Tensión de tracción: Fuerza referida a la sección inicial de la probeta
- Deformación: Variación de la longitud de medición referida a Longitud inicial
- Módulo de tracción: Gradiente de la curva en el diagrama de tensión-deformación

- Punto de fluencia: Tensión y deformación en el punto de la curva donde el gradiente es cero
- Punto de rotura: Tensión y deformación en el momento de rotura de la probeta
- Coeficiente de Poisson: relación negativa de deformación transversal respecto a extensión longitudinal

A la hora de comparar los ensayos de tracción, hay que tener en cuenta el tipo de norma bajo el que se hace. La ISO 5893 o la ASTM D 638. Aunque técnicamente sean equivalentes, no ofrecen resultados comparables debido a la geometría de las probetas, a las velocidades de ensayo y a la forma de obtener distintos resultados.

En el ensayo de tracción estandarizado se muestran los datos de velocidad de extracción en función del cuerpo de la probeta. No obstante, en un componente en uso las cargas pueden distribuirse en un baremo muy amplio de velocidades de deformación. Debido a las características del polímero (viscoelásticos), las propiedades mecánicas en una probeta estandarizada varían en función de la velocidad de deformación.

Este ensayo, permite partir de una buena base para establecer una representación fiable de la variación de valores característicos mecánicos de un polímero de acuerdo con el envejecimiento (exposición a la intemperie o al calor). Es por esto, que los valores característicos del ensayo se encuentran en un estado próximo a la inyección, y teniendo en cuenta a los tiempos de envejecimiento y de exposición a la intemperie.

3.4.1 UNE-ISO 5893

Los ensayos tal y como se ha visto anteriormente han de cumplir una normativa muy estricta para poder dar por válido el mismo. Distintos tipos de normas pueden ser utilizadas según el tipo de material, su composición, estructura etc. Las más comunes sin embargo son los siguientes:

UNE-ISO 5893: Aparatos de ensayo para plásticos y caucho. Tipos para ensayos de tracción, flexión y compresión (a velocidad de desplazamiento constante). Especificaciones [11].

El objetivo de esta norma es especificar los requisitos que deben cumplir los sistemas para ensayos de tracción con velocidad de desplazamiento constante, en ensayos de plásticos, cauchos y adhesivos.

En esta norma, además, se establecen las siguientes definiciones:

- Sistema de ensayo a tracción:
Máquina compuesta por una parte fija y otra móvil, a las que pueden adaptarse mordazas o cabezales para la fijación de una probeta.
- Fuerza aplicada:
Fuerza que produce la distorsión en la probeta, medida a lo largo del eje de deformación de la máquina.
- Alargamiento:
Incremento de la longitud de referencia de una probeta sometida a una fuerza de tracción.

Por otro lado, se realiza una designación de las clases de máquinas, las cuales se clasifican en función de la exactitud de la medición según la fuerza (clases 0,5, 1, 2 o 3 -Norma ISO 7500-1) y el alargamiento (clase A, B, C, D o E). Hay que tener cuidado con exponer a la máquina a corrientes de aire o calor radiante.

En cuanto a las características de diseño, el tamaño y construcción de la máquina debe ser tal que sea capaz de ensayar todos los materiales para los que pretende ser utilizada. El recorrido del cabezal móvil debe ser capaz de recorrer una distancia suficiente para adaptarse al alargamiento máximo de la probeta.

La alineación axial supone que el acoplamiento entre el sistema de medición de la fuerza, las mordazas o sistema de sujeción de la probeta debe estar alineada con el eje de deformación. Cuando la probeta se instala en su lugar, también debe estar exactamente alineada con el eje de deformación y el eje de ensayo de la probeta debe coincidir con la dirección de la fuerza aplicada.

Para ensayar materiales flexibles con probetas de tracción con forma de halterio, rectangular o similar, la máquina debe ir provista de un tipo de mordazas que cierren automáticamente, según se incrementa la tensión y que ejerzan una presión uniforme en toda la anchura de la probeta. Para materiales rígidos, se pueden utilizar de acción de tornillo. La probeta debe sujetarse evitando el deslizamiento de la probeta.

Para ensayar probetas anulares, se tiene que hacer con poleas que puedan girar libremente de forma que una de ellas gire automáticamente con la máquina a una velocidad uniforme entre 3 rpm y 50 rpm. Las poleas deben ser de 25mm de diámetro para anillos grandes y 4,5mm de diámetro para anillos pequeños.

Por su parte, el cabezal móvil de la máquina tiene que moverse suavemente a todas las velocidades de ensayo y tener el sistema motoriz exento de holguras.

Para realizar una medición correcta, se debe proporcionar una indicación de la fuerza aplicada a la probeta (registro automático y fuerza máxima).

Las máquinas para ensayos de tracción, provistas de dispositivos electrónicos para la medición de la fuerza. Esto no es aplicable, necesariamente, a los registradores electrónicos utilizados normalmente con ellas y, en muchos casos, la falta de exactitud dinámica de los registradores excede considerablemente de la estática. Todos los registradores electromecánicos sufren errores dinámicos que proceden normalmente de errores de aceleración debidos a la inercia del dispositivo y errores de retraso de la velocidad, debidos a efectos de rozamiento mecánico y electrostático. La medición de la exactitud dinámica del registrador se realiza comprobando el nivel de la señal de error durante el ensayo. Esta última medición no afecta a la respuesta del instrumento, pero es difícil de realizar técnicamente. De momento en esta norma no se considera viable especificar los límites y el procedimiento de calibración para la determinación de la exactitud dinámica. Se recomienda que el usuario obtenga del fabricante de la máquina de ensayo, los valores de la exactitud dinámica del registrador, con lo que puede calcular el error probable de medición y evaluar si es, o no, significativo. En el caso de que lo sea, o se reduce la velocidad de ensayo, o se aumenta a escala de medida, con el objetivo de reducir los niveles de aceleración y velocidad.

Como guía para los requisitos del registrador, el tiempo de respuesta para el recorrido hasta el fondo de escala, debería ser considerablemente menor que el tiempo de aumento de la fuerza, si los errores dinámicos son comparables con la falta de exactitud estática. Por lo tanto, se recomienda que la velocidad máxima de la plumilla, V_D , debería ser menor que la velocidad máxima posible de ésta, v_x , en un factor que depende del grado de la máquina, de acuerdo con las siguientes formulas:

$$v_D \leq \frac{v_{\max}}{10}, \text{ para máquinas de clase 0,5 y 1}$$

$$v_D \leq \frac{v_{\max}}{5}, \text{ para máquinas de clase 2 y 3}$$

Si solo se conoce el tiempo de respuesta T , entonces $v_{\max}$, puede calcularse, aproximadamente, mediante la siguiente ecuación:

$$v_{\max} = \frac{R}{T}$$

Siendo R el desplazamiento hasta el fondo de escala del registrador.

El alargamiento de probetas de caucho y plástico puede medirse, en función de los métodos de ensayos, utilizando:

- a) la separación entre las mordazas;
- b) extensómetros en contacto con la probeta;
- c) extensómetros ópticos o no (sin contacto con la probeta).

Cuando se mide el alargamiento debe darse una indicación continua del alargamiento, preferiblemente registrada gráficamente en forma de una curva fuerza-alargamiento y una indicación permanente del alargamiento máximo.

Cuando se utiliza un extensómetro sujeto a la probeta, no deben existir signos de distorsión o daño de la misma, ni tampoco deslizamiento entre las mordazas del extensómetro y la probeta, ya que afectaría significativamente a los resultados del ensayo.

Cuando se especifica la exactitud del extensómetro, se reconocen cinco clases A, B, C, D y E. La graduación de las escalas de cada dispositivo de medición depende del error máximo medido al verificar el extensómetro.

Clase	Tanto por ciento de alargamiento (flexión) máximo ΔL aproximado con respecto a la longitud de referencia L	Error máximo permitido %	Exactitud del dispositivo de verificación %
A	5% sobre 25 mm ($\Delta L = 1,25$ mm)	± 2	$\pm 0,5$
B	10% sobre 25 mm ($\Delta L = 2,5$ mm)	± 2	$\pm 0,5$
C	50% sobre 25 mm ($\Delta L = 12,5$ mm)	± 2	$\pm 0,5$
D	1 200% sobre 20 mm ($\Delta L = 240$ mm)	± 2	$\pm 0,5$
E	1 200% sobre 10 mm ($\Delta L = 120$ mm)	± 2	$\pm 0,5$

Figura 12 Clases de exactitud para la medición del alargamiento

La máquina de ensayo será accionada por un motor y debe ser capaz de funcionar a una o varias de las siguientes velocidades de separación de la mordaza móvil:

1 mm/min $\pm$ 0,2 mm/min	50 mm/min $\pm$ 5 mm/min
2 mm/min $\pm$ 0,4 mm/min	100 mm/min $\pm$ 10 mm/min
5 mm/min $\pm$ 1 mm/min	200 mm/min $\pm$ 20 mm/min
10 mm/min $\pm$ 2 mm/min	250 mm/min $\pm$ 25 mm/min
20 mm/min $\pm$ 2,5 mm/min	500 mm/min $\pm$ 50 mm/min
25 mm/min $\pm$ 2,5 mm/min	

Una vez ajustada, la velocidad no debe variar en más del $\pm 5\%$ de la velocidad media durante el ensayo o series de ensayos y debe permanecer dentro de los límites indicados en la lista anterior. La verificación de la exactitud de la velocidad de la mordaza móvil debe realizarse mientras la carga aumenta uniformemente desde cero hasta un cierto valor máximo, dentro de la capacidad de fuerza de la máquina. A menos que se indique lo contrario, éste máximo debe ser la capacidad de la fuerza normal máxima de la máquina. La comprobación puede realizarse obteniendo un gráfico desplazamiento/ tiempo. Para realizar una evaluación adecuada de la velocidad de desplazamiento de la mordaza móvil, el desplazamiento de ésta, durante el ensayo de verificación, debe ser, al menos, de 10 mm y la duración de dicho ensayo, debe ser, al menos, de 1,0 min.

La rigidez de la máquina (también se conoce como resistencia mecánica) es la relación entre la fuerza y la deformación estructural del sistema de ensayo. Esto incluye el bastidor de la máquina, el mecanismo que produce la deformación, el dispositivo de medición de la fuerza y las mordazas y fijaciones que sujetan las probetas.

La estabilidad a largo plazo de las máquinas electrónicas de ensayo, está afectada por una serie de factores, entre los más importantes hay que destacar la temperatura, la histéresis mecánica del transductor de fuerza, la sensibilidad ante cambios de tensión de red y los cambios en los valores de los componentes electrónicos.

Los fabricantes deben publicar en sus especificaciones y en manuales de instrucción, los requisitos que puedan ser necesarios para mantener la exactitud indicada de la máquina, entre los que hay que destacar:

- a) el intervalo de temperatura en el que se garantiza la exactitud de la máquina;
- b) la variación de la tensión de la red dentro de la cual la exactitud de la máquina está garantizada;
- c) la frecuencia de ajuste de los controles manuales, por ejemplo, puesta a cero/escala

Cuando una máquina de ensayo ha sido verificada de acuerdo con esta norma, la autoridad que realiza la verificación debe emitir un certificado indicando lo siguiente:

- a) La identidad de la máquina y fecha de la verificación;
- b) El intervalo certificado y el grado de cada escala de fuerza o desplazamiento;
- c) El método de verificación utilizado y la identificación de todos los dispositivos de calibración empleados;
- d) La temperatura ambiente en el momento de la verificación.
- e) La exactitud en el reglaje de la velocidad;

- f) La referencia a esta norma internacional, es decir, ISO 5893.

La máquina de ensayo debe verificarse periódicamente para asegurar que continúa teniendo la(s) clase(s) designada(s), según esta norma. La frecuencia de la verificación depende del tipo de máquina, el nivel de mantenimiento y el uso de la misma. Normalmente, se recomienda que las verificaciones se ejecuten en intervalos que no excedan de 12 meses. Sin embargo, una máquina debe verificarse de nuevo si se desplaza a otro lugar, si es desmontada o bien si se la somete a reparaciones o ajustes importantes.

PARTE II – DISEÑO Y DESARROLLO DE LA MÁQUINA DE TRACCIÓN

4.- ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

Lo más importante para definir la máquina a construir es identificar los distintos componentes que conformarán la máquina de ensayo a tracción.

- **Mecánicos:**

- 2x MGN12H Carriages - Bloques deslizantes
- 2x MGNR12 Rails - Raíles
- 1x 8mm to 12mm Coupler - Acoplador
- 1x 550mm 2060 European Standard Aluminum Extrusion - Extrusión de perfiles de Aluminio
- 1x 400mm T12 Lead Screw, 8mm lead, 4 starts - Husillo
- 2x T12 Flanged Brass Nuts - Tuercas de latón con bridas
- 1x 3201/5201 -zz/-2rs Angular Contact Ball Bearings - Rodamientos
- 1x 6001zz/2rs Deep Groove Ball Bearings - Rodamientos
- 1x S-Shaped Load Cell rated for 1T - Célula de carga

- **Electrónico:**

- 1x Breadboard - Placa de pruebas
- Some Breadboard Jumpers - Cables
- 1x 12-24V Power Supply - Fuente de energía
- 1x Arduino Uno
- 1x HX711 Load Cell Amplifier Board - Amplificador célula de carga
- 1x Allegro A4988 Stepper Motor Driver - Driver motor
- 1x NEMA 23 Planetary Geared Stepper Motor - Motor de paso

- **Tornillos, Tuercas ...:**

- 4x M8x40 Thumb Screws - Tornillo de mariposa
- 20x M5x20 Button Head Screws - Tornillos de botón
- 20x M3x8 Socket Head Screws4x - Tornillo Allen
- M3x22 Socket Head Screws4x - Tornillo Allen
- M3 nyloc nuts (regular nuts work too) - Tuerca de nylon
- 2x M16x25 Hexagon Screws - Tornillo Hexagonal

- 20x M5 T Nuts (2020 extrusion type) - Tuercas en T
- 20xM3 T Nuts(2020extrusion type) - Tuercas en T
- **Misceláneo:**
 - Some 40 Grit Sandpaper - Lija
 - A 3D printer - Impresora 3D
 - A spool of PLA/ABS/Polycarbonate Filament - Filamento para la impresora
 - Screwdrivers, allen keys, needle nosed pliers, etc. - Herramientas varias

4.1.- CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

4.1.1 TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA

Una vez distinguidos los distintos componentes, hay que establecer los distintos programas necesarios para completar la máquina. Al tener en cuenta la tecnología a implementar hay que distinguir entre distintos aspectos, por un lado, hay una parte de diseño y por otro una parte de programación. Partiendo de esto se encuentran:

Diseño

El programa seleccionado para el diseño de las piezas que serán impresas será Autodesk Fusion 360 [12], esta plataforma permite el desarrollo de productos a través de la nube. Permite avanzar más profundamente que las herramientas tradicionales de CAD, CAM, simulación y en la gestión de datos, unificando todo en una sola plataforma.

La herramienta es capaz de diseñar y enviar a través de un formato específico a la impresora 3D (. STL y .OBJ). Fusion 360 permite realizar bocetos, modelados paramétricos, modelado directo, modelado de forma libre, modelado de superficie, chapa, modelado de malla, ensamblajes e integraciones de diseño de PC. Como se ha mencionado anteriormente, uno de los beneficios de esta plataforma es que está basado en la nube, esto permite desarrollar el proceso de forma unificada entre distintos ingenieros y diseñadores.

Programación

El desarrollo del código necesario se ha decidido realizar mediante Arduino [13]. Que es una plataforma de creación de electrónica mediante código abierto, se basa en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. La plataforma facilita la posibilidad de crear distintos tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. Funciona a través de Hardware y Software libre.

El hardware libre lo conforman los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de acceso público, de manera que cualquiera puede replicarlos. Esto quiere decir que Arduino ofrece las bases para que cualquier otra persona o empresa pueda crear sus propias placas, pudiendo ser diferentes entre ellas, pero igualmente funcionales al partir de la misma base.

El software libre son los programas informáticos con código accesible para cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino establece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), como entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades.

4.2.- CONJUNTO

La máquina está formada en su conjunto por piezas en impresión 3D y por piezas compradas a bajo coste. La idea es desarrollar una máquina de bajo precio capaz de realizar un ensayo a tracción fiable y que respete la normativa mencionada anteriormente en este documento en probetas de plástico impresas.

A continuación, se muestra el diseño final de la máquina de tracción sobre el que se desarrollará el proyecto. A grandes rasgos, el conjunto se conforma de varios componentes que se desglosarán más adelante. Estos serían, material comprado, soporte, piezas impresas y electrónica.:

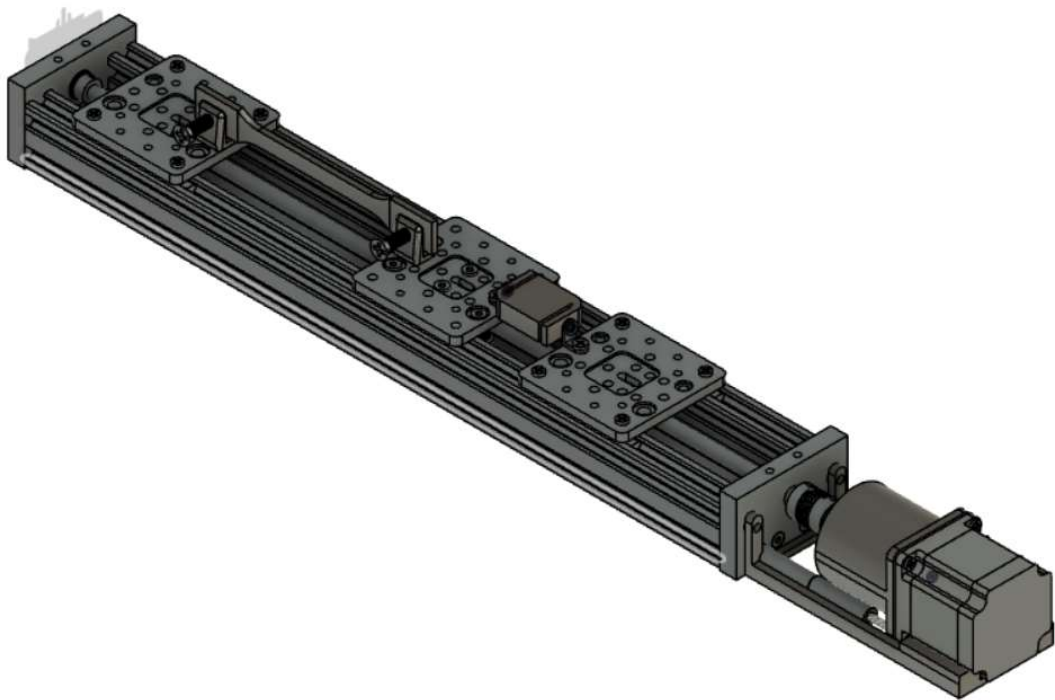


Figura 13: Diseño Máquina De Ensayo A Tracción

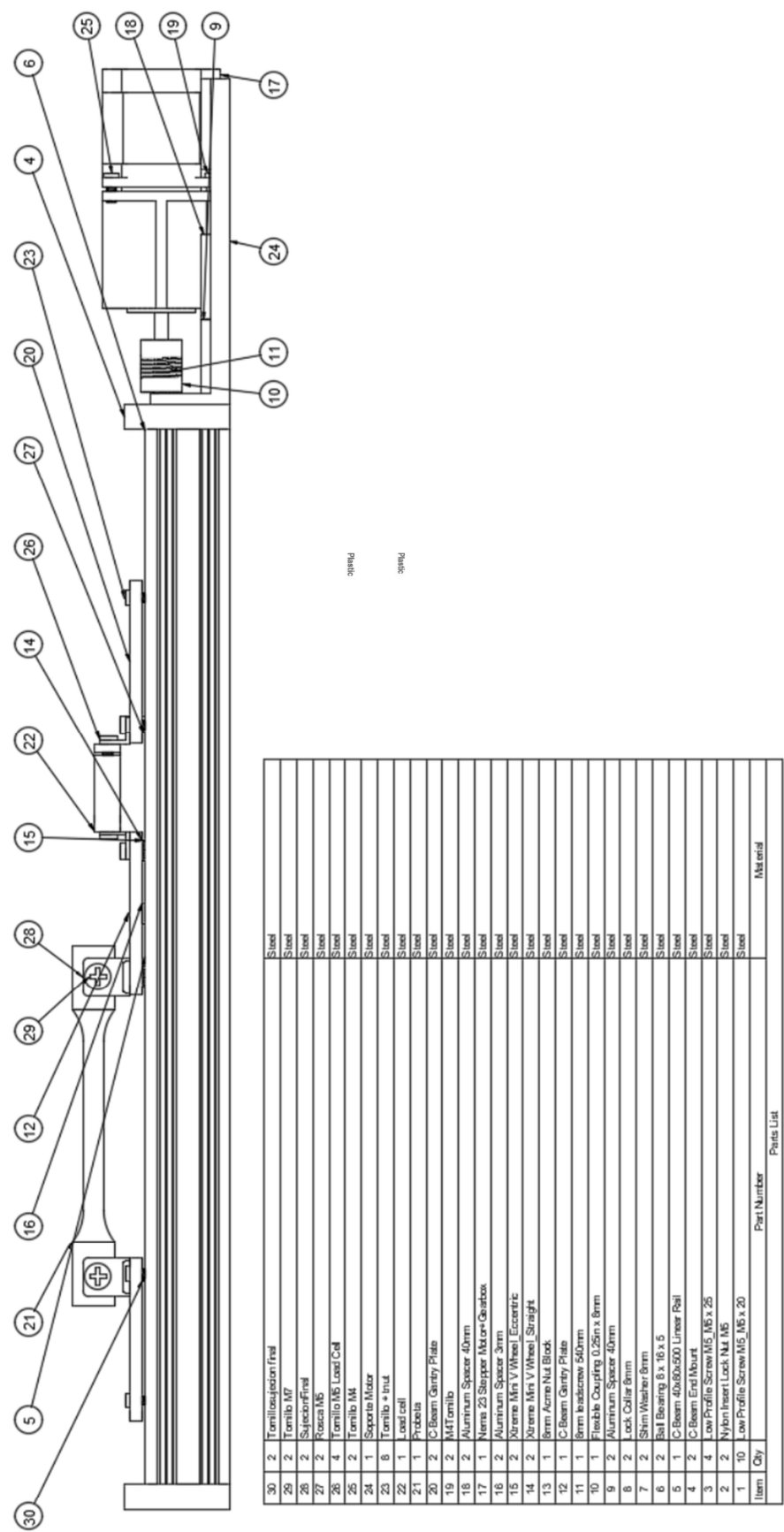


Figura 14: Plano conjunto

Como se puede apreciar en la figura 17 está formada por un motor Nema 23 con reductor, que ofrece el suficiente par motor como para poder romper mediante esfuerzo a tracción las probetas. Acoplado a este, se encuentra un husillo que permitirá transmitir el par y dirección establecido en el motor.

Los motores reductores son mecanismos que regulan la velocidad de motores eléctricos, haciéndoles funcionar a un determinado ritmo. Están formados por una serie de engranajes que conforman la cadena cinemática, que son los que funcionan sobre las piezas giratorias.

Su principal objetivo es ayudar a que se pueda pasar de una velocidad inicial elevada a otra menor, sin que el mecanismo se resienta. Además de este ajuste, un reductor de motor es el sistema encargado de ajustar la potencia mecánica de un sistema.

En este caso es un reductor planetario. Este tipo de motores están organizados por etapas, y cada una tiene la siguiente estructura:

- Sol, que es el engranaje central. Gira sobre el eje central del sistema
- Porta planetas, que sujeta hasta 3 engranajes, que se engrana con el sol
- Corona o anillo exterior, que se encaja con los satélites

El eje central también puede usarse como centro de giro, para ayudar a cambiar la dirección sin problemas.

Este tipo de motores reductores es muy fiable. Por esta razón, lo usan muchas transmisiones automáticas. Además, es muy versátil, por lo que encaja en numerosos sectores, desde la automatización industrial a la robótica.

Entre las ventajas de los motores reductores planetarios, destacan:

- Su gran estabilidad angular rotativa y, por lo tanto, su muy elevado nivel de precisión.
- Sus pocas vibraciones a diferentes cargas.
- Sus capacidades de transmisión uniforme proporcionan una mayor repetibilidad.

También hay que tener en cuenta que estas reductoras para motores tienen una mayor superficie de contacto. Por lo tanto, su rodadura es más suave y genera un bajo nivel de ruido.

Esta mejor rodadura y una buena rigidez de torsión hacen que este tipo de reductores presenten una mayor durabilidad.

La máquina, se sustenta sobre un C-Beam 40x80x500 Linear Rail. A este se le han añadido tres platos Grant, dos de ellos fijos y uno de ellos móvil conectado al husillo a través de ruedas en contacto con el mismo. Partiendo de izquierda a derecha en la figura 11, encontramos en primer lugar un plato fijo unido al móvil por una célula de carga. Dicha célula permitirá conocer la fuerza ejercida en el momento de rotura de la probeta.

La segunda placa, la móvil, cuenta con un adaptador con dos mordazas para sujetar la probeta y así evitar movimientos de la misma durante la experimentación. Este adaptador, se une al plato mediante cuatro tornillos M5 y diferentes salientes capaces de adaptarse al plato otorgando así una gran estabilidad.

Finalmente, encontramos en el extremo el plato fijo con un adaptador igual al de la placa móvil. Cabe mencionar que los platos fijos se amarran al rail mediante adaptadores que imposibilitan su movimiento. El adaptador móvil se conecta al fijo mediante la probeta.

4.3.- DISEÑO DE COMPONENTES SOPORTE

A continuación, se procede con la enumeración y descripción de piezas a imprimir de cara a la finalización de la construcción de la máquina.

Pieza de sujeción: Se engancha a la placa a través de un tornillo M5, así como, y una rosca con tope para restringir el movimiento. Además, cuenta con una apertura por donde entra la probeta. Por otro lado, tienen un agujero M7 por donde se introduce el tornillo que se adapta a la mordaza que sujeta la probeta.



Figura 15: Pieza Sujeción x 2

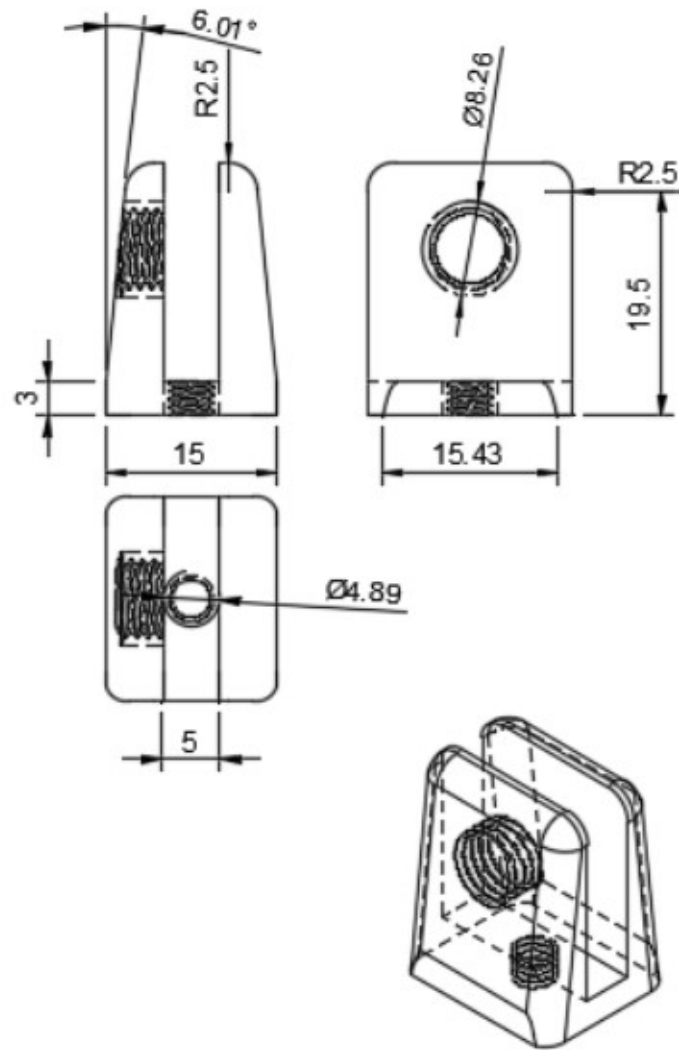


Figura 16: Medida de la pieza de sujeción en mm Escala 1:2



Figura 17: Pieza de sujeción vista superior

Mordaza: Está en contacto con la pieza a testar ejerciendo una fuerza perpendicular a la misma que permite restringir su movimiento durante el ensayo de tracción. Se ajusta mediante el uso de un destornillador de estrella.



Figura 18: Mordaza x 4

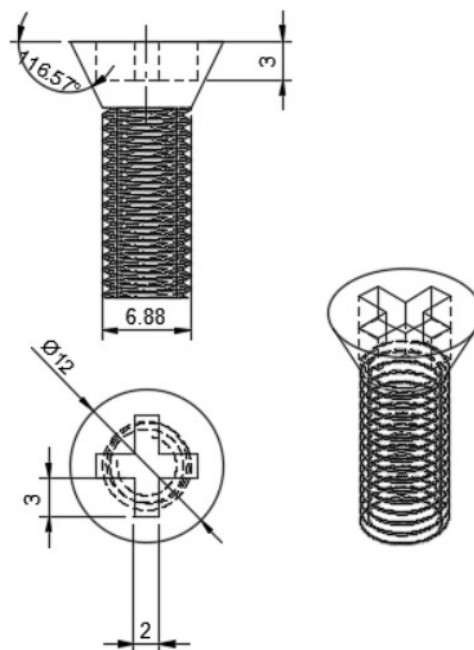


Figura 19: Medidas de las Mordazas en mm Escala 1:1



Figura 20: Mordaza + Sujeción

Soporte Motor: Pieza sólida sobre la que descansa el motor y el reducto para distribuir las cargas entre los tornillos de sujeción y el soporte.

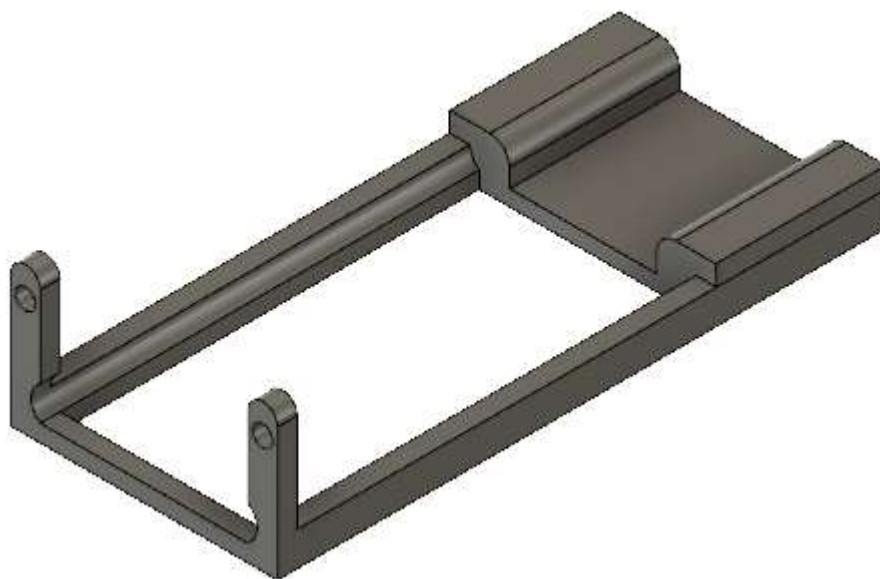


Figura 21: Soporte Motor

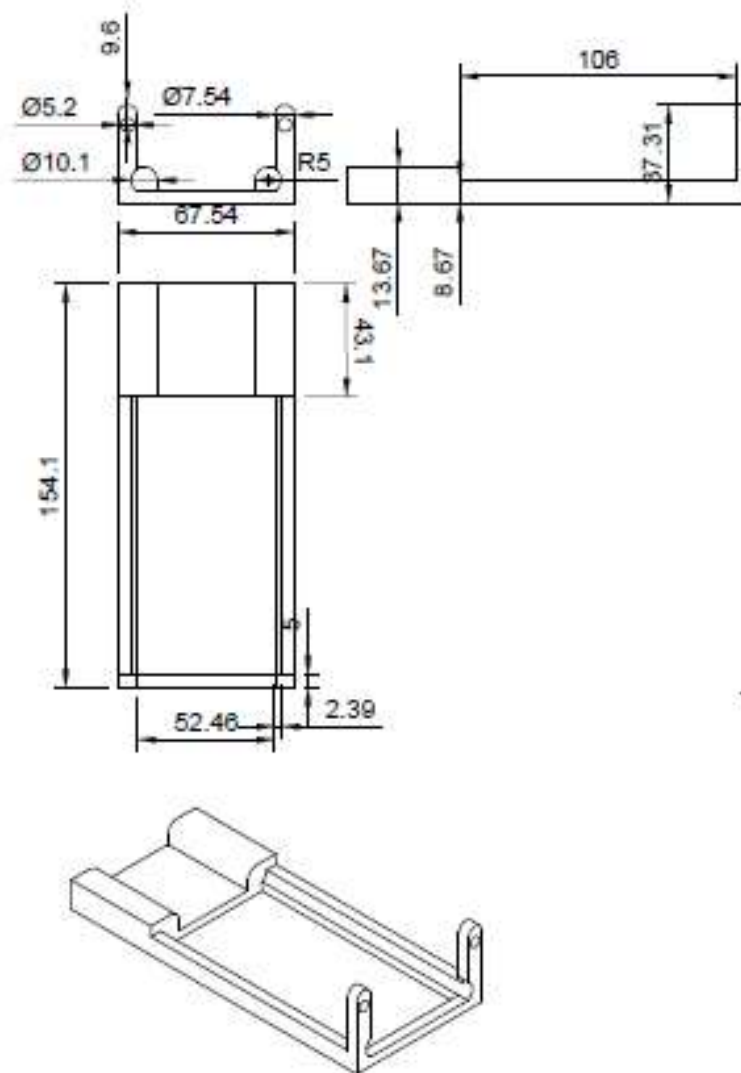


Figura 22: Medidas del soporte del motor en mm Escala 1:4

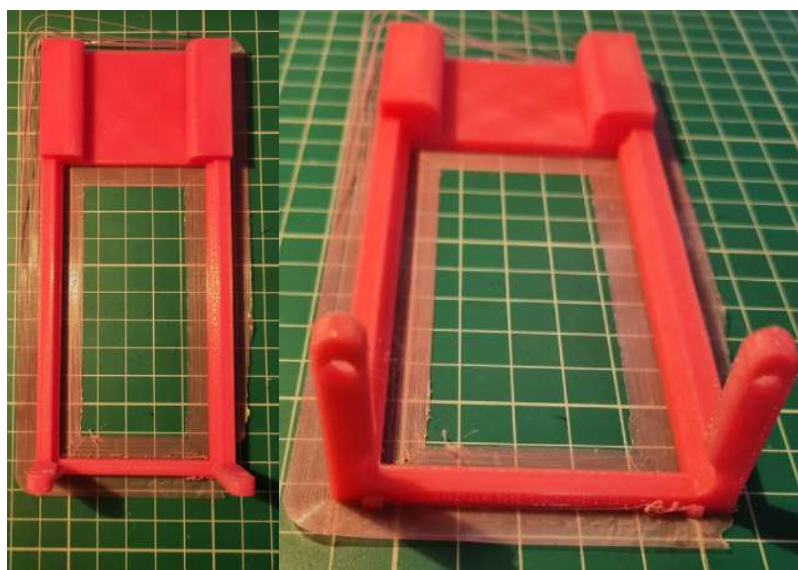


Figura 23: Soporte del motor Impreso

4.4.- RESTO DE COMPONENTES

A continuación, se va a proceder a la enumeración de las piezas que se han comprado y que son necesarias para el correcto funcionamiento de la máquina de ensayo a tracción.

Célula de carga 50 kg: Es adecuado para báscula de grúa, escala de conversión mecánica, Escala de tolva y otros dispositivos electrónicos de pesaje. Es posible realizar el diseño del haz, la tensión y/o la carga de compresión, instalación fácil. [15]



Figura 24: DYLY-106-Sensor de fuerza de tracción, célula de carga tipo rayo S, tamaño Micro de compresión y tensión, 50 KG

Nema 23: Motor paso a paso Extrusora motor de engranajes. Se encarga de ejercer la rotación sobre el husillo aplicando el par necesario. [16]

Nombre del producto	23HS5628S-PG
Tamaño	57 * 57 * 56MM (nivel de relación 3 opcional)
Fase	2
Ángulo de paso	1.8 °
Eje	"D" 6,35 MM o 8 MM
Camino de salida	Línea de enchufe "4"
Color	negro



Figura 25: Nema23 23HS5628-PG

Placa de pórtico: Gantry plate adaptado para viga en c más kit de mini ruedas delrin. Sirven de sujeción para el soporte de la probeta y la célula de carga. Se utilizan tres, una móvil y dos fijas. [17]



Figura 26: Placa de pórtico con viga en c + kit de mini ruedas delrin

Carril de revestimiento de aluminio: 500 mm Anodizado plateado largo Ranura en Aluminio 6063 T-5. Riel de revestimiento de viga C. Es el soporte de toda la máquina, incluye el husillo y se le acoplan las placas gantry mencionadas anteriormente.[18]

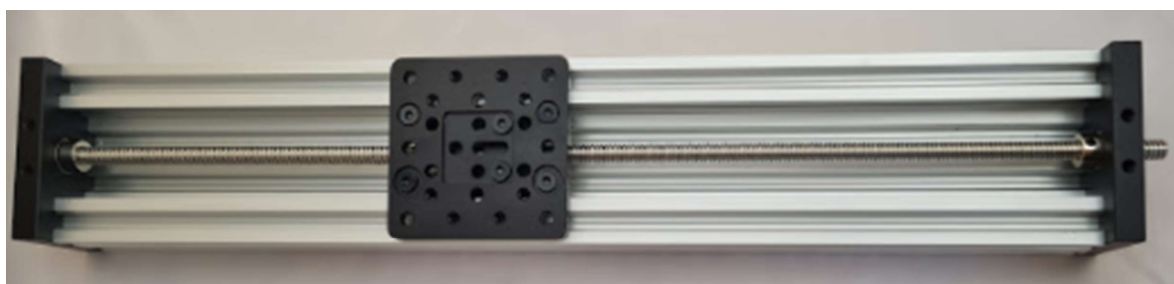


Figura 27: Carril de revestimiento de Aluminio

Arduino Uno: Es una placa de microcontrolador basada en ATmega328 hoja de datos). Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. [19]



Figura 28: Arduino Uno

Controlador: TopDirect TB6600 Controlador de Motor Paso a Paso 4A 9-42V 2/4 fase Hybrid Stepper Motor Driver.[20]

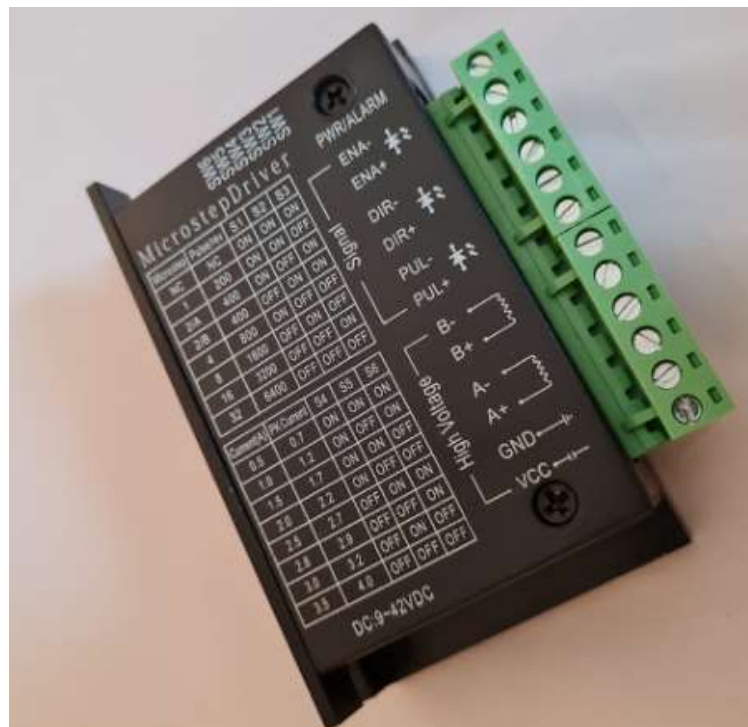


Figura 29: Stepper Motor Driver

HX711: Es un transmisor entre las celdas de carga y un microcontrolador como Arduino, permitiendo leer el peso en la celda de manera sencilla. Es compatible con las celdas de carga de 1kg, 5kg, 20kg y 50kg. Utilizado en sistemas de medición automatizada. [21]

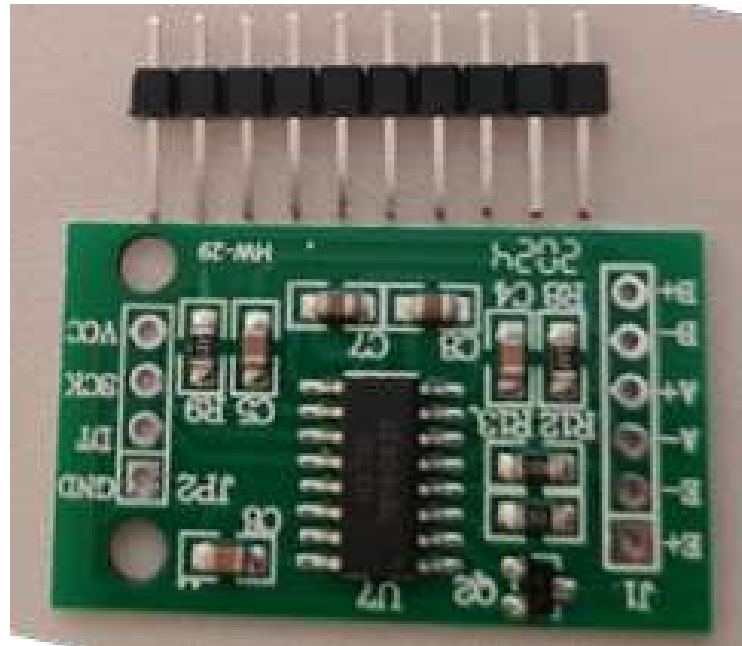


Figura 30: HX711

Cables Dupont: Es un cable con un conector en cada punta, que se usa normalmente para interconectar entre sí los componentes en una placa de pruebas. Se utilizan de forma general para transferir señales eléctricas de cualquier parte de la placa de prototipos. [22]

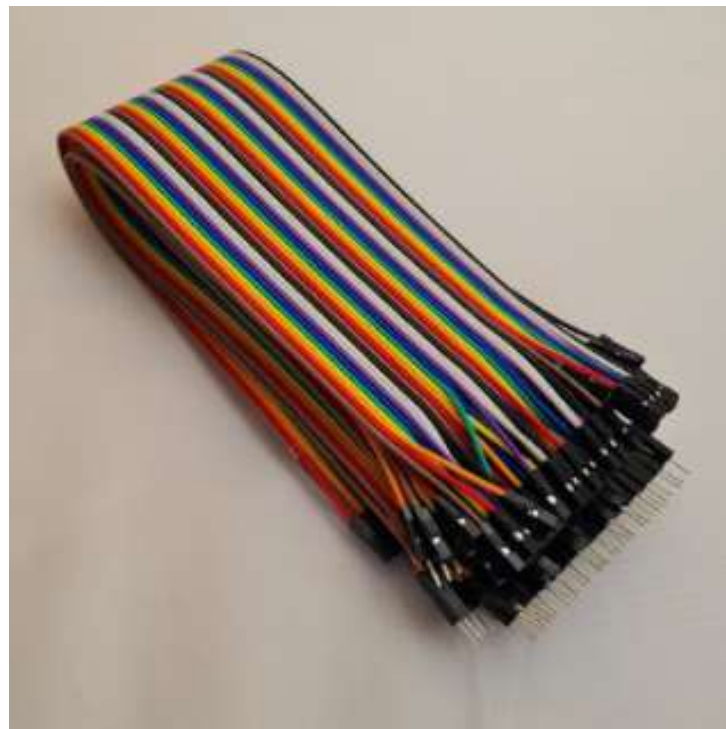


Figura 31: Cables Dupont

Anilla plana:



Figura 32: Anilla plana

Tuercas de ranura en T: Tuercas M5 T Extrusiones de aluminio Ranura en T delgada
Tuerca de sujeción para perfil de aluminio.



Figura 32.5: Tuerca de Ranura en T

Tornillo M5:



Figura 33: Tornillo M5

Tornillo M5:



Figura 34: Tornillo M5

Tuerca M5:



Figura 35: Tuerca M5

Cilindro de protección: Para evitar deformidades en el tornillo que junta motor y actuador.



Figura 36: Cilindro de protección:

Anilla de ajuste: Fija el husillo.



Figura 37: Anilla de Ajuste

Acoplamiento motor paso a paso: Acoplamiento 12x8 mm que permite unir el motor al accionador.



Figura 38: Acoplamiento motor paso a paso

4.5.- PROBETAS

A lo largo de la primera parte, se ha incidido en la importancia de la geometría de la probeta para poder dar el ensayo por válido. Es de suma importancia por tanto seguir metódicamente las instrucciones y normas de la normativa ISO correspondiente.

Durante el presente apartado, se van a dar las características del material a testar. Es decir, el elemento del que se obtendrán los parámetros de estudio que concluirán el éxito o fracaso del experimento.

Partiendo de esto, el material utilizado será PLA. Por muchas razones, pero sobre todo por ser el material más utilizado en la impresión FDM (Fused Deposition Modeling) doméstica, significa Fused Deposition Modeling. Hoy en día es la única tecnología que puede fabricar termoplásticos de alta ingeniería y alto impacto sin necesidad de post procesos al material. Una de sus grandes ventajas es que la temperatura de extrusión es baja, entre 180°C y 210°C; aunque se recomienda utilizar una cama caliente de alrededor de 60°C para imprimir.

Las piezas impresas con PLA tienden a tener un peor acabado superficial y peor. Las propiedades mecánicas no son mejores entre los materiales de impresión, pero los acabados son brillantes y alcanzan mejores terminaciones en la esquina. No es flexible y se rompe fácilmente debido a su alta rigidez. Soporta tensiones medias. Por otro lado, dado que es un biopolímero biodegradable procedente del almidón del maíz, generalmente tienen una vida útil más corta.

Otra razón por la que se ha convertido en el material más utilizado es por los diversos aditivos que admite: partículas fluorescentes (filamento fluorescente), astillas de madera (filamento aspecto madera), aditivos de cualquier color e incluso existen filamentos transparentes y filamentos que cambian de color con la temperatura, conductores eléctricos...

Entre las propiedades del PLA destacan las siguientes[23]:

Densidad	1.24 e3 – 1.27 e3 kg/m ³
Temperatura de fusión	160 – 177 °C
Temperatura de transición vítrea	56 – 58 °C
Módulo de Young	3.3 – 3.6 GPa
Límite elástico	55 – 72 MPa
Tensión de rotura (Tracción)	47 – 70 MPa
Coeficiente de Poisson	0.38 – 0.4
Esfuerzo de compresión	66 – 86 MPa
Dureza (Vickers)	17 – 22 HV
Conductividad térmica	0.13 – 0.16 W/m·°C
Calor específico	1.18 e3 – 1.21 e3 J/kg·°C

Tabla 1: Propiedades PLA [23]

Siguiendo con las probetas para ensayo de tracción se han diseñado en función de la norma ISO 527-2:2012. La norma establecida para la realización de ensayos de este tipo es la 1A. Sin embargo, también se puede utilizar la probeta del tipo 5A de menor tamaño que la 1A.

Para la ejecución del ensayo a tracción se han diseñado probetas en forma de halterio con las siguientes dimensiones:

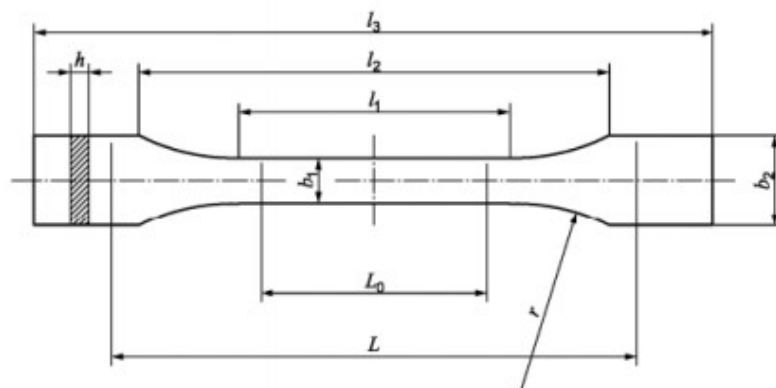


Figura 39: Probeta 1A y 1B para Ensayo a Tracción.

Medidas en milímetros

	Tipo de probetas	1A	1B
l_3	Longitud total ^a	170	≥ 150
l_1	Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r	radio	24 ± 1	$60 \pm 0,5$
l_2	Distancia entre las partes anchas de caras paralelas ^b	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
b_2	Anchura en los extremos	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	Anchura de la parte estrecha	$10,0 \pm 0,2$	
h	Espesor recomendado	$4,0 \pm 0,2$	
L_0	Longitud de referencia (recomendada) Longitud de referencia (aceptable si se requiere para el control de calidad o cuando se especifique)	$75,0 \pm 0,5$ $50,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,5$
L	Distancia inicial entre las mordazas	115 ± 1	115 ± 1

^a La longitud total recomendada de 170 mm para el tipo 1A concuerda con las Normas ISO 294-1 e ISO 10724-1. Para algunos materiales, puede ser necesario alargar la longitud de los extremos (por ejemplo $l_3 = 200$ mm) para evitar la rotura o el deslizamiento en las mordazas de la máquina de ensayo.

^b $l_2 = l_1 + [4r(b_2 - b_1) - (b_2 - b_1)^2]^{1/2}$, que resulta de l_1 , r , b_1 y b_2 , pero dentro de las tolerancias indicadas.

Figura 40: Medida Probeta

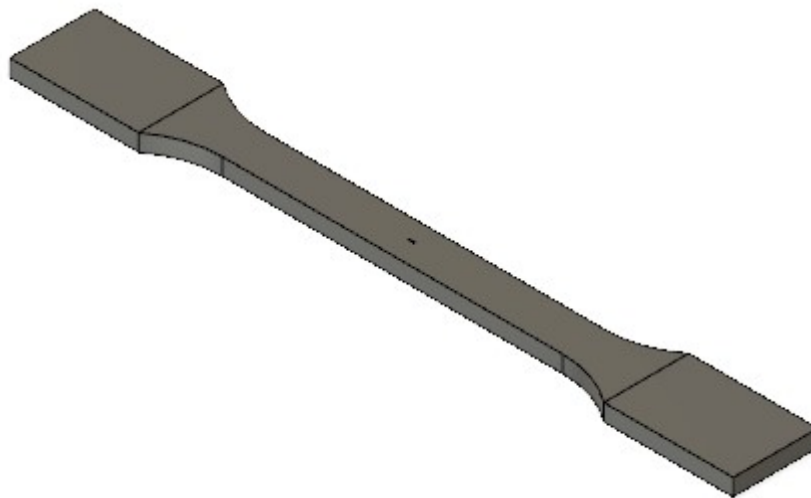


Figura 41: Probeta 1A

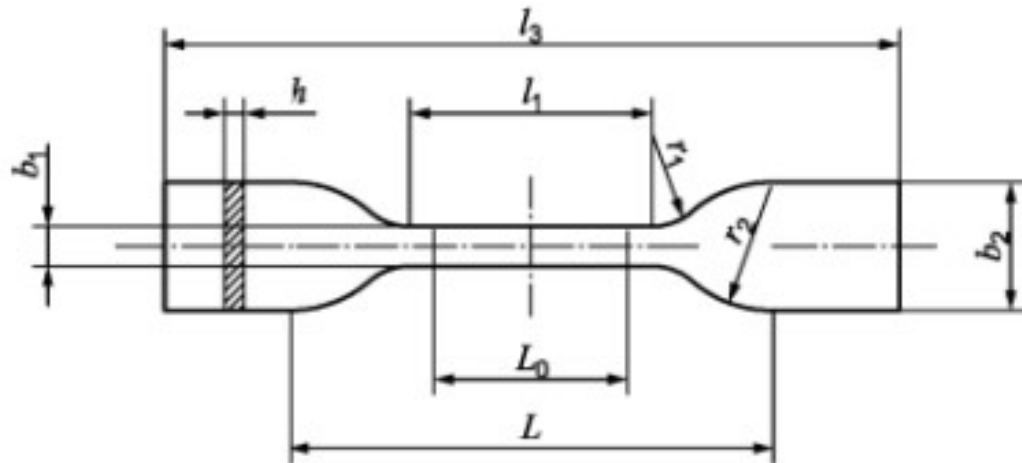


Figura 42: Probeta 5A y 5B para Ensayo a Tracción

Medidas en milímetros

	Tipo de probetas	5A	5B
l_3	Longitud total	≥ 75	≥ 35
b_2	Anchura en los extremos	$12,5 \pm 1$	$6 \pm 0,5$
l_1	Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	25 ± 1	$12 \pm 0,5$
b_1	Anchura de la parte estrecha	$4 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$
r_1	Radio pequeño	$8 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$
r_2	Radio grande	$12,5 \pm 1$	$3 \pm 0,1$
L	Distancia inicial entre las mordazas	50 ± 2	20 ± 2
L_0	Longitud de referencia	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$
h	Espesor	$2 \pm 0,2$	$1 \pm 0,1$

NOTA Los tipos de probetas 5A y 5B son similares al tipo 5 de la Norma ISO 527-3 y representan, respectivamente, los tipos 2 y 4 de la Norma ISO 37.

Figura 43: Medida Probeta

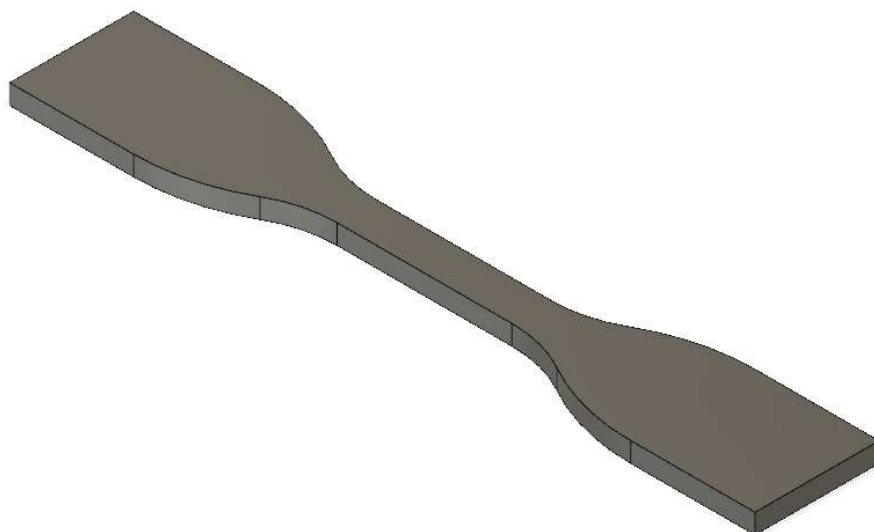


Figura 44: Probeta 5A

Dos aspectos a tener en cuenta a la hora de tratar el ensayo de la probeta son:

- **Cómo ha sido impreso:** Según la posición en la que la probeta es impresa el ensayo puede variar. Por ello se considera interesante alternar entre probetas impresas en posición horizontal y vertical, de canto. De esta manera, la visualización de anisotropías será más sencilla.
- **El tipo de material:** El material a utilizar será plástico PLA. Es el material más empleado y típico de la impresión 3D [24].

4.6.- ELECTRÓNICA

La parte electrónica de la máquina de ensayo a tracción consta de un circuito experimental sobre el que se ensamblarán los principales componentes del circuito de manera no soldada. Por otro lado, la máquina recibirá la fuerza de un motor Nemma 23, este generará la fuerza necesaria para la rotura de la probeta. Junto a este motor se añadirá un controlador TB660. Se utilizará una placa de Arduino uno y una célula de carga. Esta utilizará un chip HX711 ADC que se encargará de las lecturas de la célula de carga.

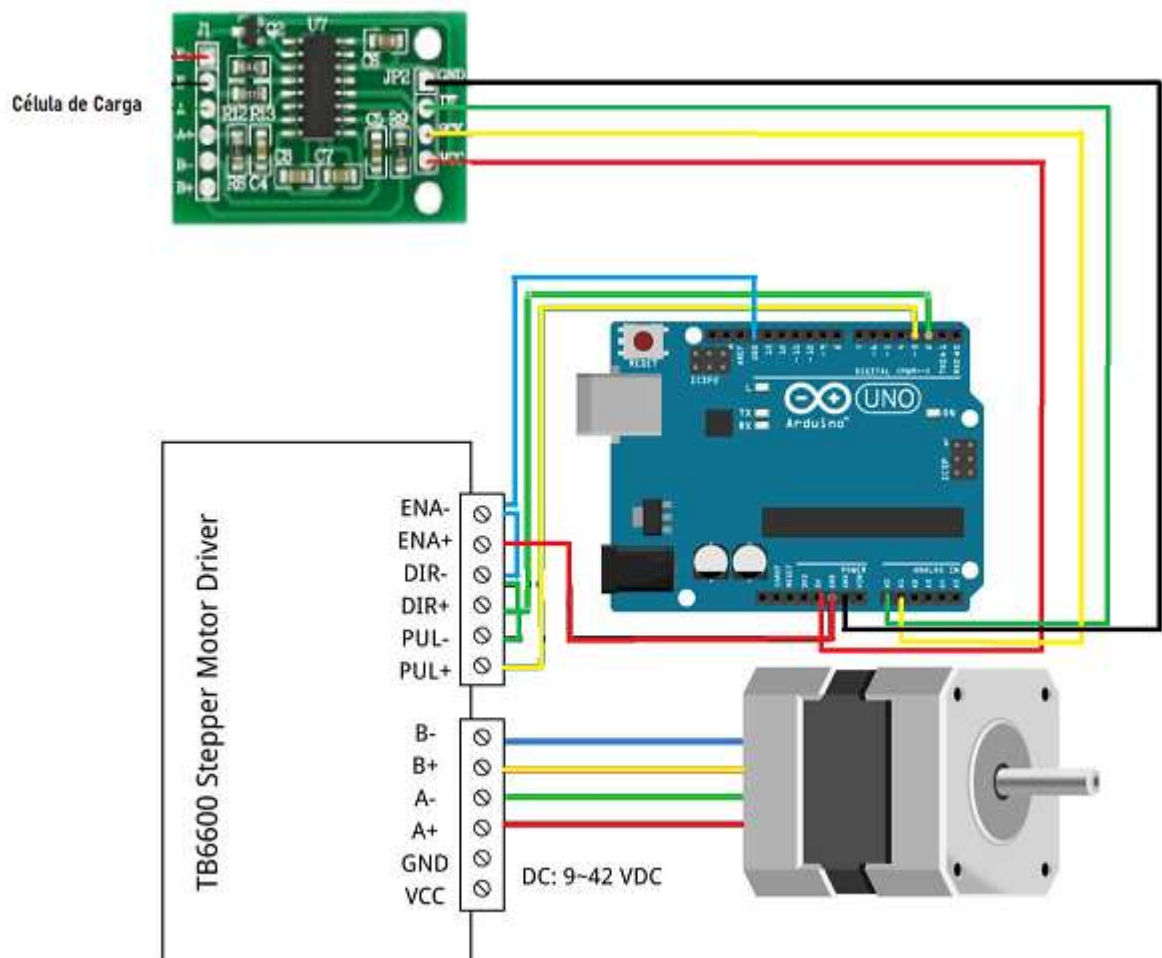


Figura 45 Esquema circuito

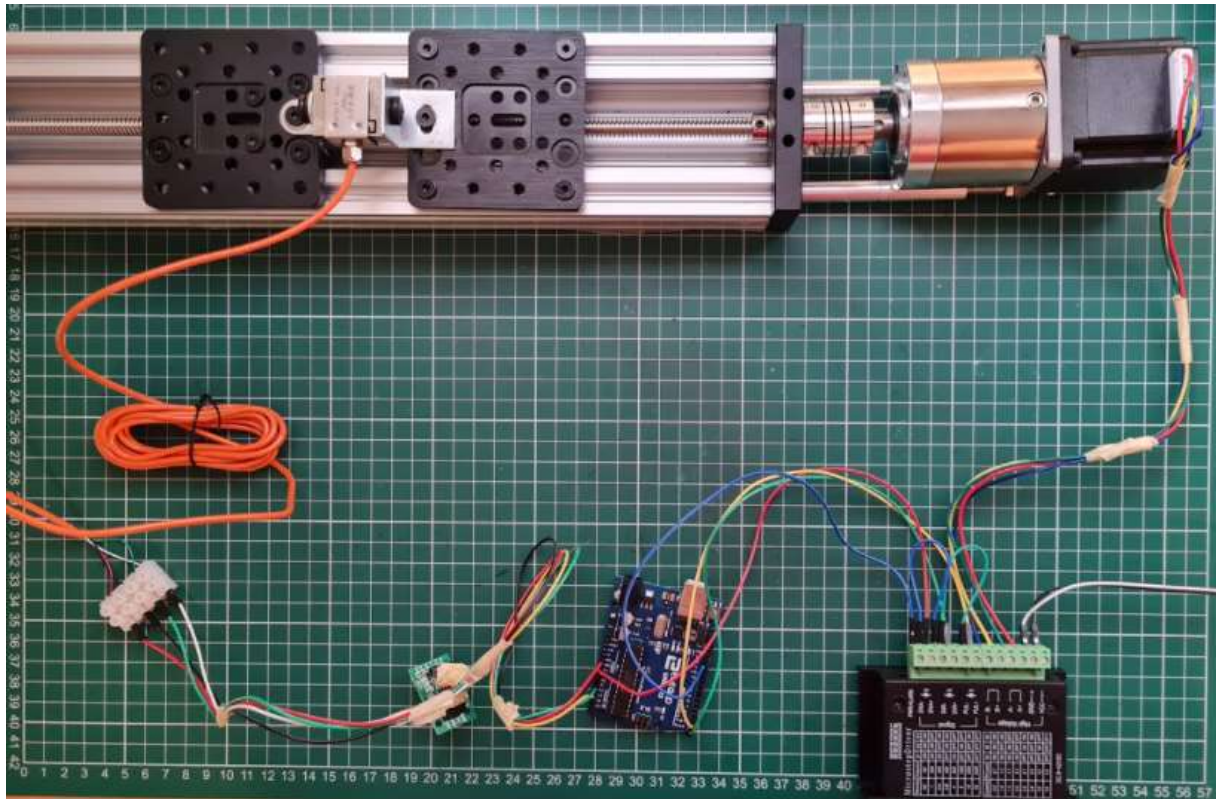


Figura 46: Circuito de la máquina de ensayo a tracción

Todo esto se controlará a través del siguiente código [14]:

- **Primera parte:** Definición de los pins. Se establecerán cuatro, los dos primeros para el step o paso del motor y otro para la dirección del mismo. Los dos siguientes serán pines analógicos que se conectarán con el chip HX711 para realizar la lectura de la célula de carga.

```
#include <HX711.h>

//Definición de los pins

const int stepPin = 3;
const int dirPin = 2;
const int DTPin = A0;
const int SCKPin = A1;
```

- **Segunda parte:** Se declaran los procesos de calibración, de la relación de transmisión, del husillo y del multiplicador de velocidad. Todos estos podrán ser modificados en función de las necesidades del experimento.

```
//Calibrado de la célula de carga

#define calibration

#define gearRatio 100//Relacion de Transmision

#define leadScrewPitch 8//Paso del Husillo
```

```
#define speedMultiplier 1//Multiplicador de Velocidad, aumentar en caso de buscar mayor velocidad
```

- **Tercera parte:** Declaración de los parámetros.

```
//Parámetros
bool testStart = false;
bool moveStepper = false;
float fastSpeed = 1.3219 * speedMultiplier;
const float slowMeasurementDelay = 1 * 1000000;
const float fastMeasurementDelay = 0.15 * 1000000;
float measurementDelay = slowMeasurementDelay;
unsigned long lastMeasurement = 0;
unsigned long lastStep = 0;
HX711 scale;
```

- **Cuarta parte:** Comienzo del programa, se declaran los pines según su funcionalidad, y el tipo, entrada o salida. Además, se termina el proceso de calibrado a través de unos pesos conocidos.

```
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("INITIALIZING");
    scale.begin(DTPin, SCKPin);
    #ifndef calibration
    scale.set_scale(2280.f);//431.61 El factor de calibracion se consigue a través del uso de pesos conocidos
    #endif
    pinMode(dirPin, OUTPUT);
    pinMode(stepPin, OUTPUT);
    digitalWrite(dirPin, LOW);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    Serial.println("Inicialización completada ");
}
```

- **Quinta parte:** Programa principal.

```
void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
String inputString;
bool serialAvailable = false;
while (Serial.available())
{
    serialAvailable = true;
    inputString = Serial.readString();
    inputString.toLowerCase();
}
if (serialAvailable)
{
    if (inputString == "start")
    {
        startTest();
    }
    else if (inputString == "stop")
    {
        stopTest();
    }
    else if (inputString == "tarar")
    {
        Serial.println();
        Serial.println("-SCALE TARE-");
        Serial.println();
        scale.tare(20);
    }
    else if (inputString == "up")
    {
        Serial.println();
        Serial.println("-MOVING UP-");
        Serial.println();
        moveStepper = true;
        digitalWrite(dirPin, LOW);
    }
    else if (inputString == "down")
```

```
{
    Serial.println();
    Serial.println("-MOVING DOWN-");
    Serial.println();
    moveStepper = true;
    digitalWrite(dirPin, HIGH);
}
else
{
    Serial.println("Unknown Command");
}
}
if ((micros() - lastMeasurement) >= measurementDelay)
{
    float measurement = scale.get_units();
    Serial.println( measurement );
    lastMeasurement = micros();

}
if (moveStepper)
{
    if ((micros() - lastStep) >= 1000000. / fastSpeed)
    {
        digitalWrite(stepPin, HIGH);
        delayMicroseconds(10);
        digitalWrite(stepPin, LOW);
        delayMicroseconds(10);
        lastStep = micros();
    }
}
}

void startTest()
{
    Serial.println();
```

```
Serial.println("-Empieza el Test-");  
Serial.println();  
digitalWrite(dirPin, LOW);  
measurementDelay = fastMeasurementDelay;  
moveStepper = true;  
}  
void stopTest()  
{  
    Serial.println();  
    Serial.println("-STOP-");  
    Serial.println();  
    measurementDelay = slowMeasurementDelay;  
    moveStepper = false;  
}
```

4.7.- PARÁMETROS

A continuación, se establecerán los parámetros de la máquina que definirán el ensayo a realizar.

Velocidad: La velocidad se establece en mm/min tal y como menciona la norma ISO seguida. Se aplicará una velocidad de 100 mm/min para las probetas 1A y 5A. Lo que supone 1,32 rpm.

Tiempo: El tiempo se establecerá una vez comenzado el experimento hasta su parada. Para ello se tendrá en cuenta el tiempo de toma de medida que coincida con el último registro de la célula de carga en el programa de Arduino. Las mediciones tienen entre mitad y medida 0,15 segundos.

Microcontrolador: Está ajustado para 1,5 Amperios y 3200 pasos por revolución, para ello el display se coloca en off-off-on-on-on-off.



Figura 47: Ajuste del microcontrolador

Alargamiento: El cálculo del alargamiento se realizará a través del cálculo de las revoluciones por segundo o rps, multiplicado por el tiempo de ensayo hasta la rotura de la probeta y por el desplazamiento por revolución del husillo. Siendo las unidades los milímetros y teniendo en cuenta el paso del motor.

Para permitir una optimización en el cálculo y visualización de la fuerza respecto al tiempo, así como del alargamiento final de la pieza, se va a utilizar la herramienta de cálculo Excel. A continuación, se muestra una captura del mismo:

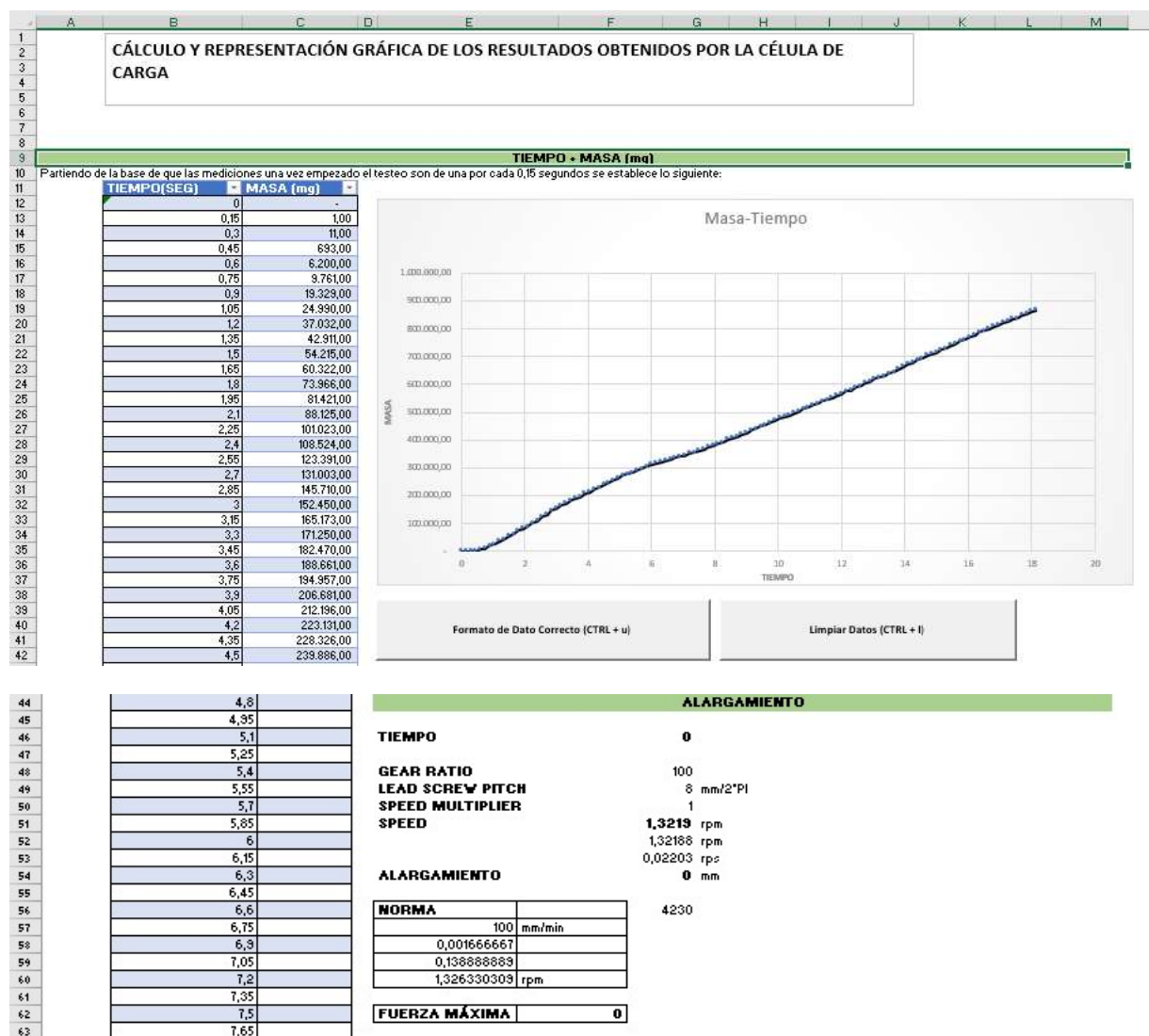


Figura 48: Ejemplo del uso de Excel en la experimentación

Este Excel está compuesto de tres apartados distintos. En primer lugar, se encuentra a tabla de datos, que toma como registro del peso en gramos soportado por la célula de carga (se ha añadido un botón con su macro correspondiente para ajustar los datos a un formato reconocible por Excel). En segundo plano tenemos el gráfico de dispersión que enfrenta el peso soportado según el tiempo. Y finalmente, el cálculo del alargamiento, para ello se utiliza la siguiente expresión.[25]

=INDICE(B12:B2014;COINCIDIR(DESREF(Tabla1[[#Encabezados];[GRAMOS]];CONTA
RA(C12:C2014);0);C12:C2014;0))

Esta fórmula recoge la última medida tomada y señala el tiempo asignado a la misma. Esto permite tal y como se ha comentado anteriormente calcular el alargamiento en mm de la pieza.

Además, se calcula la fuerza máxima del ensayo mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$= \text{MAX}(\text{Tabla1}[\text{MASA}]) * 9,81 * 0,000015$$

Este cálculo, nos permite obtener además nuevos parámetros como son el Modulo de Young, el esfuerzo y la deformación unitaria.

En primer lugar, el Esfuerzo se calcula como: (*Fuerza Máxima Aplicada (N)*) / (*Área de la Sección de la Probeta (mm²)*). A continuación, a partir de la longitud inicial o *Lo* de la pieza y el alargamiento, se calcula la Deformación Unitaria: *Alargamiento (mm)* / *Lo (mm)*.

Con estos parámetros se calcula el Módulo de Young: *Esfuerzo(N/mm²)* / *Deformación Unitaria*.

ALARGAMIENTO

3,09319 mm

NORMA	
100	mm/min
0,001666667	
0,138888889	
1,326330309	rpm

FUERZA MÁXIMA (N)	23,81727717
--------------------------	--------------------

Seleccinar tipo de Probeta

1A

ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL INICIAL (mm²)	40
---	-----------

ESFUERZO (N/mm²)	0,595431929
------------------------------------	--------------------

Lo (mm)	170
----------------	------------

DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	1,820%
---------------------------------	---------------

MÓDULO DE YOUNG (N/mm²)	32,72463372
---	--------------------

Figura 49: Cálculo parámetros

4.8.- CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Una vez definidas las piezas y los parámetros, así como el código que hace de la misma un elemento funcional, se va a proceder a la construcción de la máquina mediante la unión de todas las piezas comentadas anteriormente.

A continuación, se van a enumerar los distintos procesos de construcción:

- **Desarrollo del circuito:**

- Enganche del Arduino Uno, Fuente de Tensión y el Motor paso a paso con el microcontrolador.

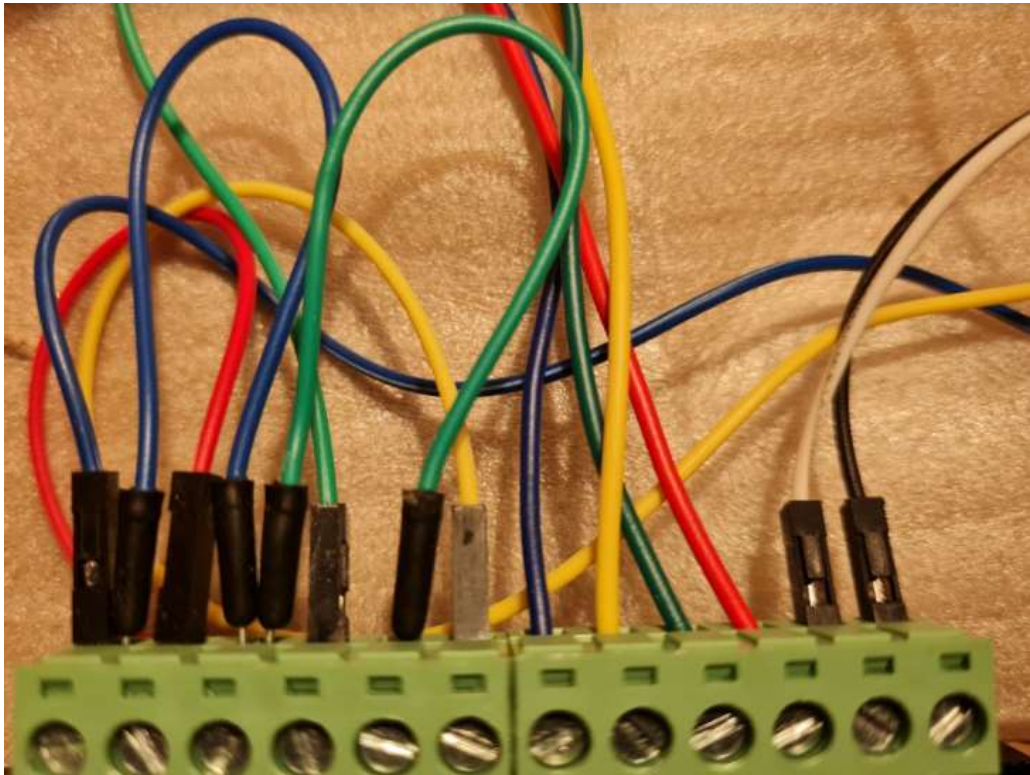


Figura 50: Enganche al controlador

- Empalme de la Célula de Carga con Amplificador HX711.

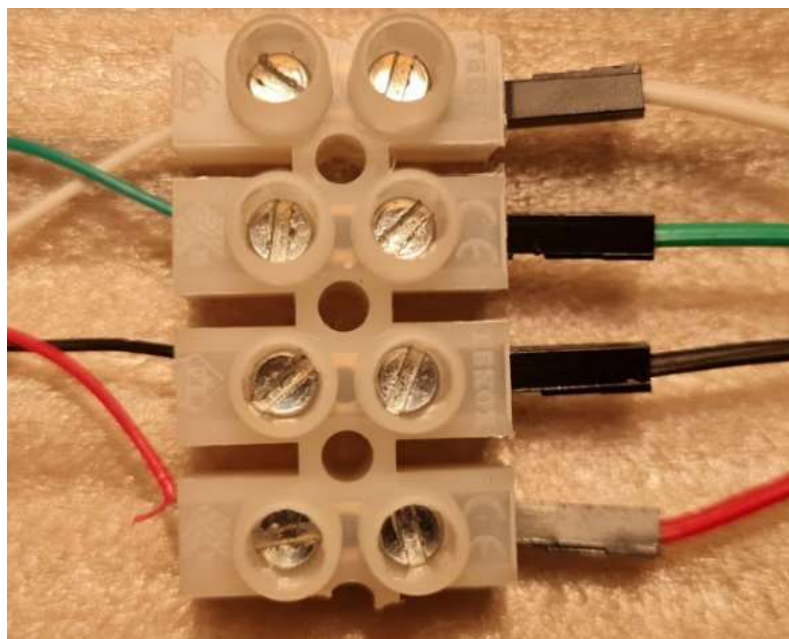


Figura 51: Empalme célula de carga y Arduino Uno

- Enganche Amplificador HX711 con el empalme.

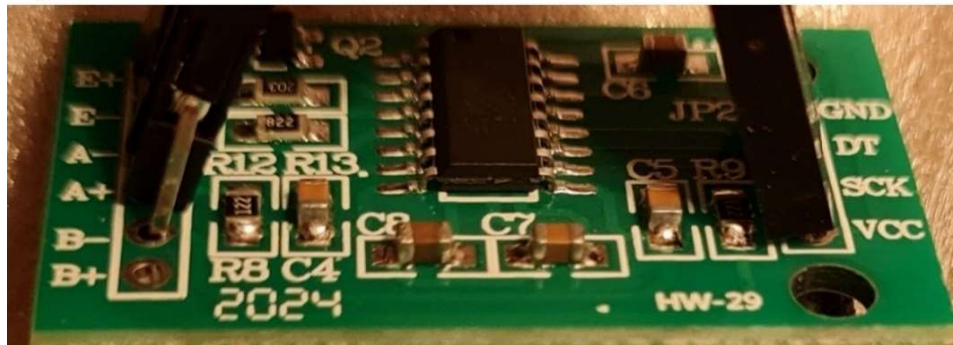


Figura 52: Enganche al Amplificador HX711

- Fuente de Voltaje.



Figura 53: Fuente de Voltaje

- Enganche Arduino Uno con el controlador y con el Amplificador HX711.

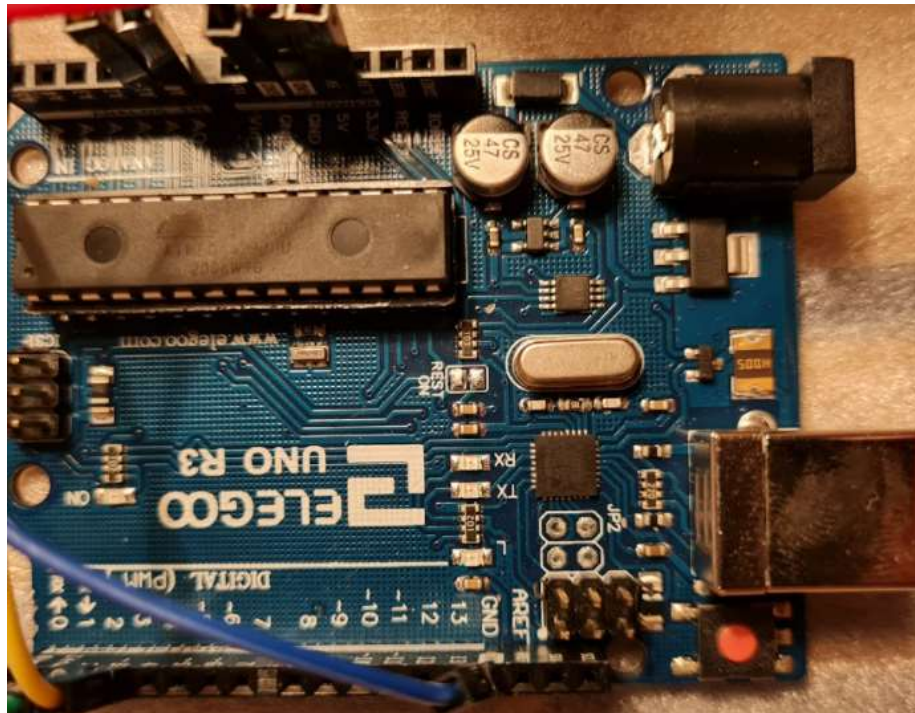


Figura 54: Enganche Arduino Uno

- Conjunto circuito organizado de cara a la seguridad y calidad de trabajo.

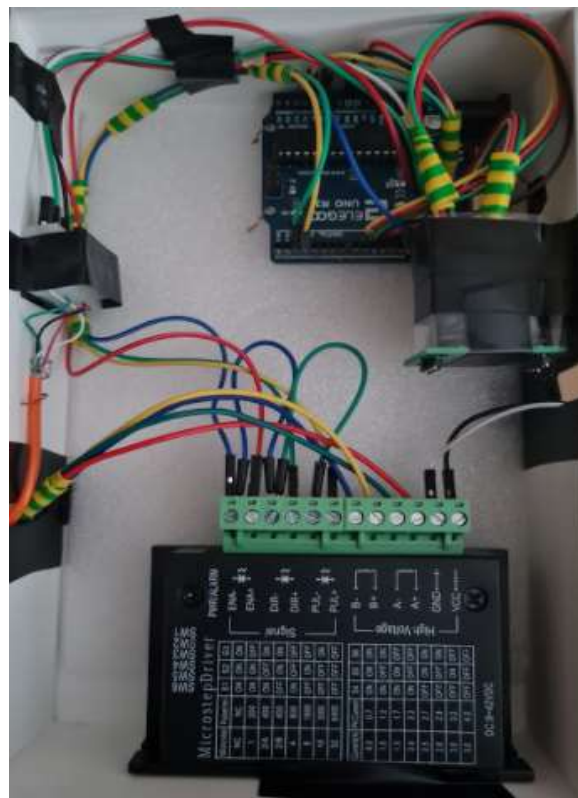


Figura 55: Conjunto circuito

- **Ensamblaje de las placas:**

- Ajuste de la Placa Fija al Actuador con tuercas en T y anillas de sujeción.



Figura 56: Fijación de las Placas

- Ajuste de la Placa Móvil con el Husillo.

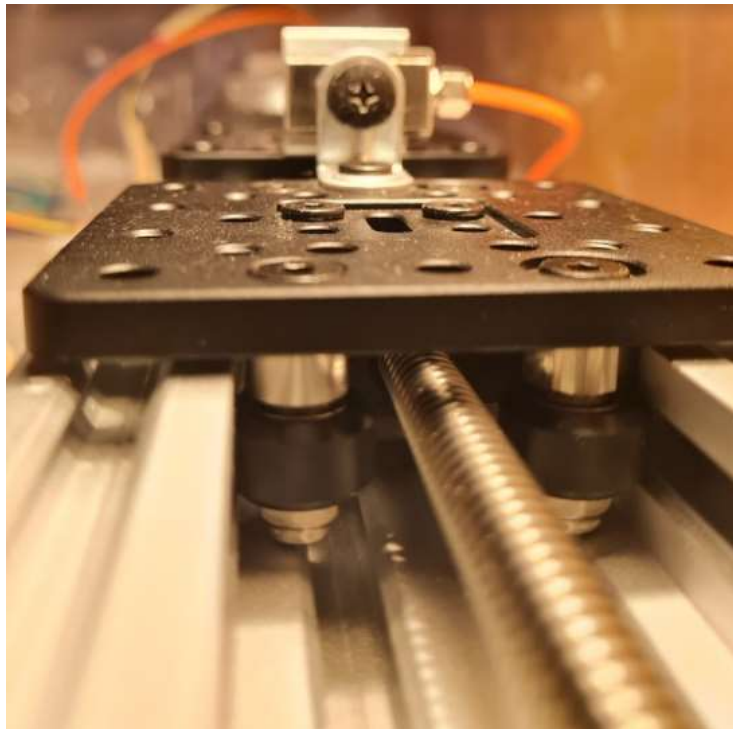


Figura 57: Fijación de la Placa Móvil al Husillo

- **Anclaje de la célula de carga:**
 - Ajuste de la Célula de Carga a la placa Fija y a la placa Móvil.

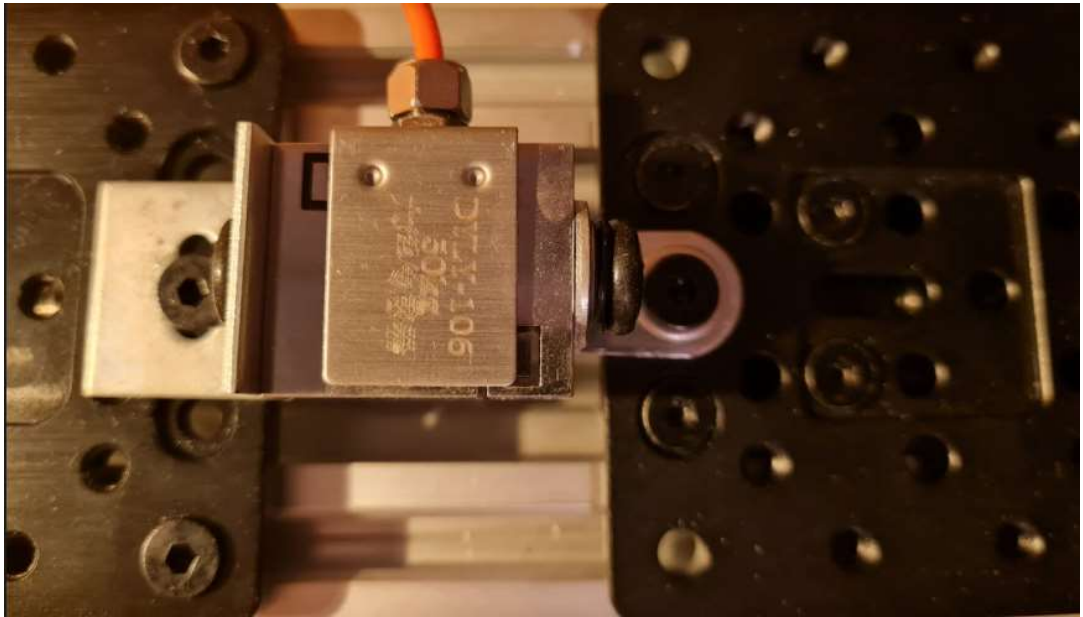


Figura 58: Fijación de la Célula de Carga



Figura 59: Fijación de la Célula de Carga

- **Unión del motor con el actuador:**

- Conjunto de Unión del Motor Paso a Paso con el Husillo.



Figura 60: Vista Conjunto Motor

- Acoplamiento entre el Motor Paso a Paso (12 mm) y Husillo (8 mm) que se soportará sobre el soporte del motor.

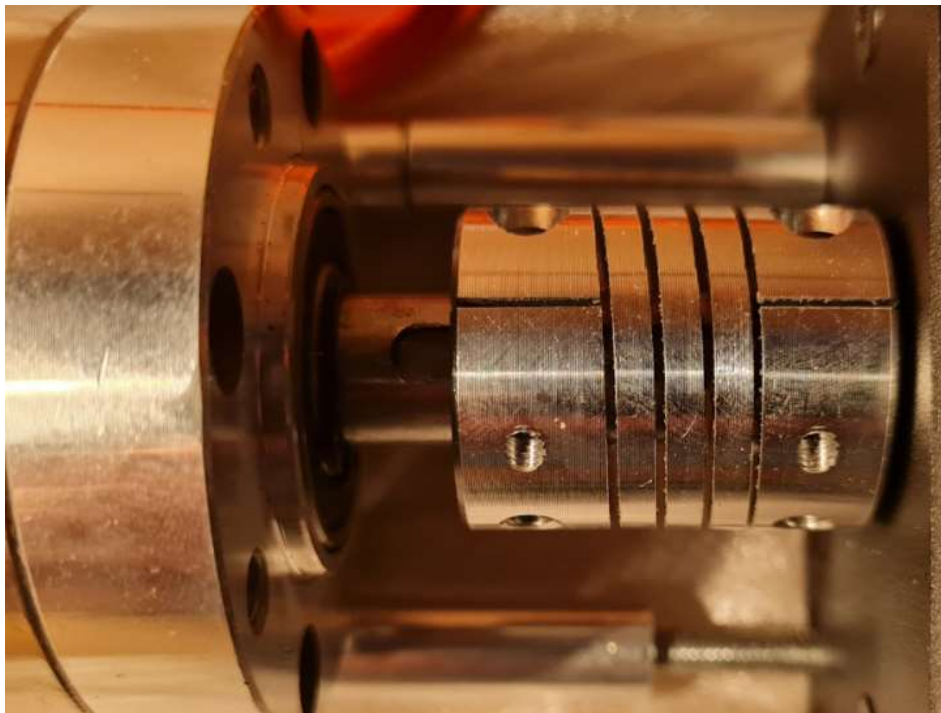


Figura 61: Acoplamiento Motor Paso a Paso y Actuador

- Soporte para el motor, de esta forma se evita la deformación del motor.



Figura 62.5: Soporte del Motor

- Anilla de Ajuste al Husillo.

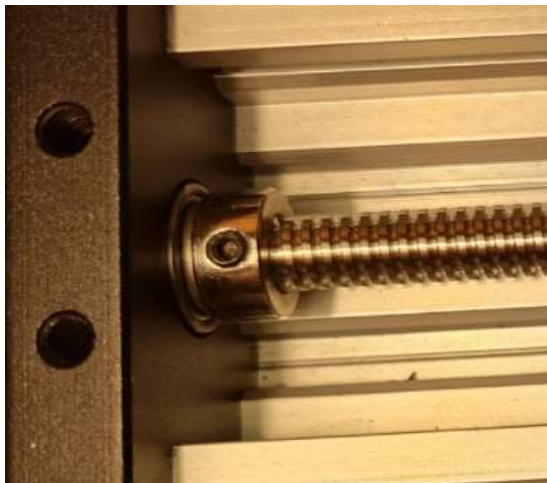


Figura 62: Anilla de Fijación

- **Preparación de la pieza de sujeción:**
 - Preparación de la mordaza enganche del tornillo M7 con la pieza de sujeción sobre la que irá colocada la probeta.



Figura 63: Mordaza con lija

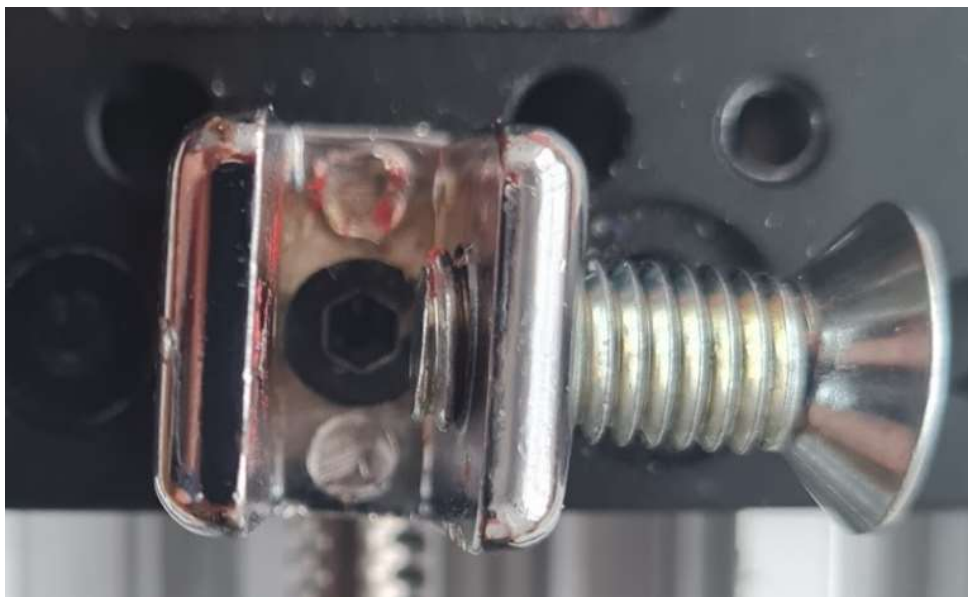


Figura 64: Acoplamiento de la mordaza

- Anclaje de la placa de sujeción a la placa a través de roscado y una tuerca de fijación y que tiene cierta holgura con el husillo. Sirve de elemento de sujeción para la mordaza y la probeta.



Figura 65: Anclaje pieza de sujeción

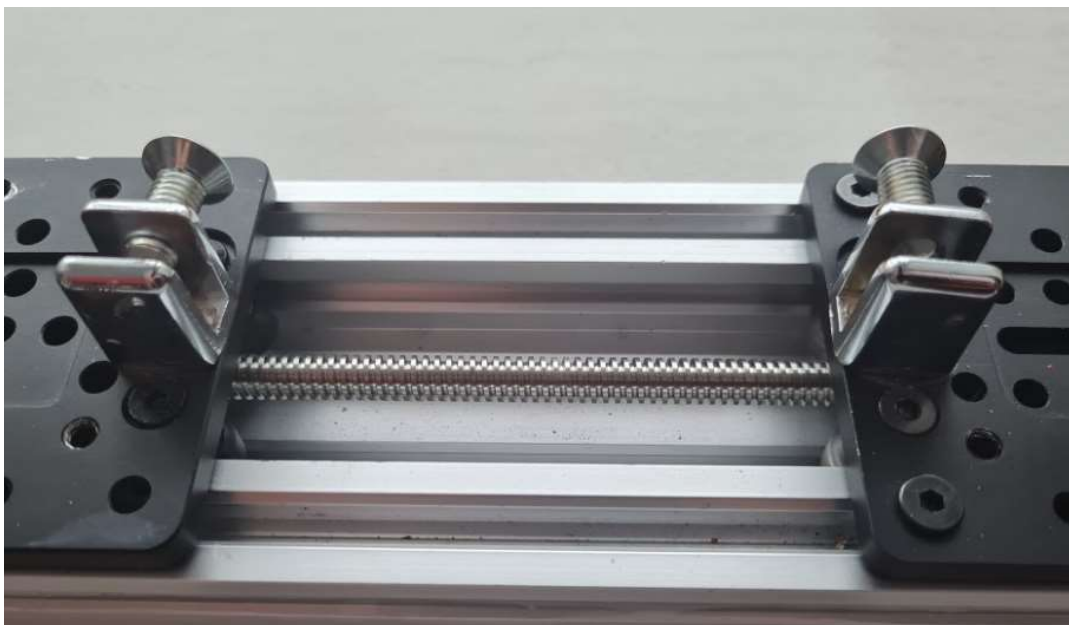


Figura 66: Piezas de Sujeción

- **Conjunto:**
 - Montaje completo de la máquina.

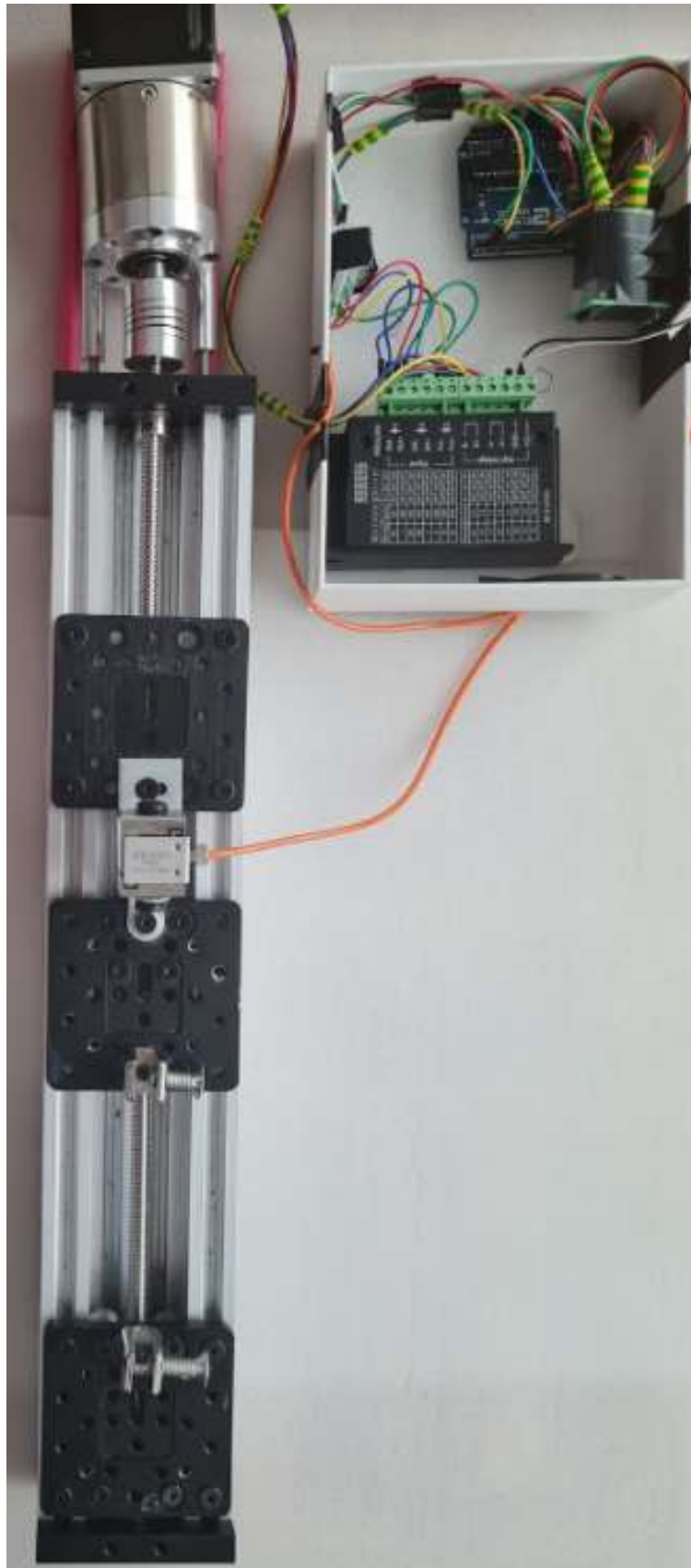


Figura 67: Máquina construida

4.4.- HERRAMIENTAS PARA EL MONTAJE

Para el montaje anteriormente mostrado se ha hecho uso de las siguientes herramientas. Todas ellas son comunes y se pueden adquirir en cualquier tienda de ferretería:

- **Multiherramienta tipo Dremel 135W:** Se necesita para el lijado y ajuste de piezas de cara a tener un resultado óptimo (opcional) [26].



Figura 68: Dremel 135W

- **Alicates punta redonda:** Se necesita para el manejo de cables. En el sector eléctrico también se utilizan para la manipulación de cables. Por ejemplo, para doblar el conector y enrollarlo al terminal. [26]



Figura 69: Alicates punta redonda

- **Alicates de punta o cigüeña:** Los alicates de punta o de cigüeña se caracterizan por tener las pinzas ligeramente más largas y delgadas que los alicates universales. Por contra, no disponen de sección cortante.

Esta longitud y forma plana de las mordazas hacen de este tipo de alicates los idóneos para sujetar piezas de tamaño pequeño o para llegar a sitios de difícil acceso. En este caso se utilizan para la fijación de la mordaza a la viga.[27]



Figura 70: Alicates de punta

- **Lima metálica de grano fino:** Permite limar aspereas de las piezas para permitir un paso más fácil de tornillos, por ejemplo. En este caso, se ha utilizado para deshacerse de las impurezas de las piezas impresas.



Figura 71: Lima metálica de grano fino

- **Destornillador punta en cruz:** Para ajustar tornillos de métrica 5 de la placa, y del motor.

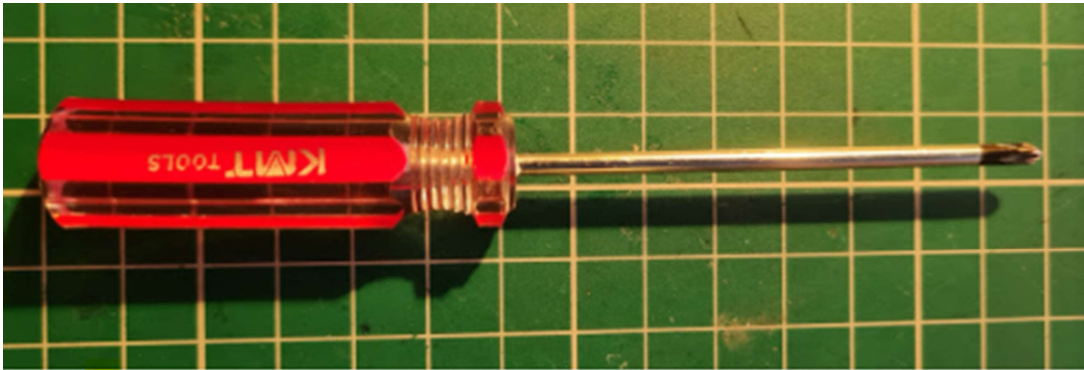


Figura 72: Tornillo punta en cruz

- **Destornillador punta plana:** Permite ajustar los cables del driver y de la célula de carga.



Figura 73: Destornillador punta plana

- **Llave Allen Estrella M5:** Permite ajustar el adaptador CNC al motor. Es una herramienta cuyo uso básico es atornillar o desatornillar tuercas con cabeza interior hexagonal.



Figura 74: Llave Allen en L M5

- **Llave Allen Estrella M3:** Ídem al anterior.

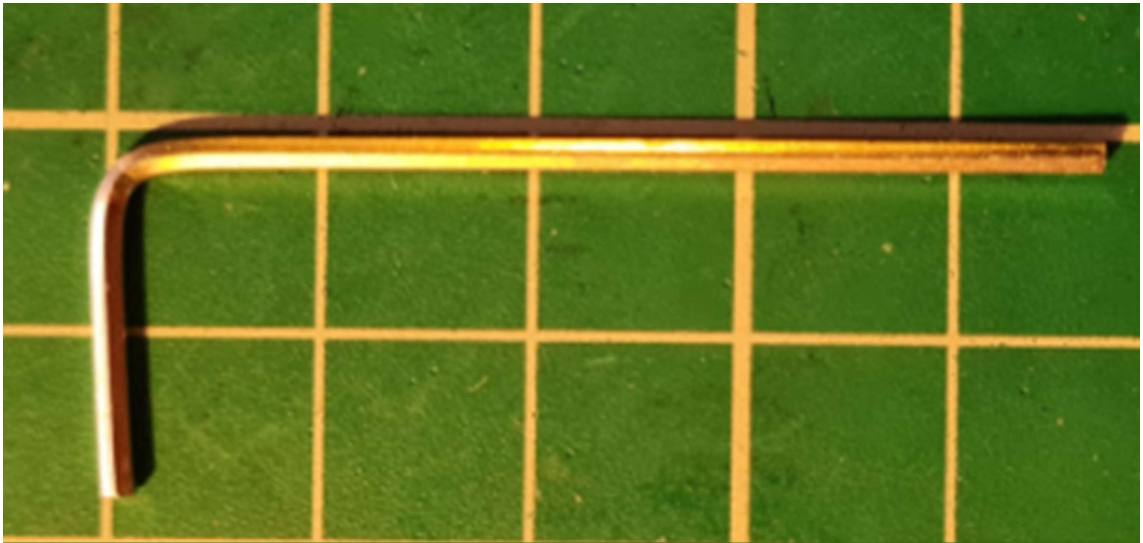


Figura 75: Llave Allen en L M3

- **Cinta Aislante:** Cinta aislante para mantener el cableado de forma segura.



Figura 76: Cinta aislante [28]

- **Pegamento B-7000:** Adhesivo multiusos de resina epoxi para bricolaje manualidades, pegamento de pantalla táctil. ... cuero, PE, PP, PVC, ABS, nailon, esponja, película, textiles, componentes electrónicos, plásticos, goma, fibra, ... En este caso, se ha utilizado en un diseño fallido que juntaba papel lija a la mordaza.



Figura 77: Pegamento Epoxi B-7000

- **Papel de lija:** Papel de lija con grano fino para el lijado de piezas (opcional).



Figura 78: Papel de lija grano fino [29]

4.5.- PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Con el fin de comprobar si tanto el montaje como el código funciona correctamente se va a realizar un ensayo. Este primer ensayo se va a realizar sin probeta ya que servirá para evaluar si el mecanismo sigue las directrices impuestas en el código de Arduino.

Es importante mencionar previamente las distintas funcionalidades del código. Es decir, cómo se ha de proceder para comenzar el experimento.

Esta máquina está diseñada originalmente para utilizar muestras ISO 527-2 1A, pero también se pueden utilizar otras compatibles como la 5A. Hay que tener en cuenta que con materiales de mayor resistencia como PLA con relleno 100% o policarbonato, es recomendable usar una muestra de prueba de menor tamaño para evitar empujar más allá de los límites de la máquina en los que el acoplador se deslizará. Hay una versión modificada de la muestra ISO 527-2 1A que puede ser más adecuada para esta máquina. Esta versión modificada tiene un tamaño de agarre extendido, lo que le permite engancharse a la estructura de soporte sin necesidad de agarre. Esto significa que si está en un apuro y las empuñaduras de alguna manera no funcionan, simplemente puede cambiar la muestra y el resultado debería ser el mismo. Para cargar la muestra de prueba de tracción, alinee los dos extremos y colóquela entre los agarres del agarre móvil y el agarre fijo. Luego apriete los tornillos.

Para iniciar la máquina, se debe conectar el riel de potencia inferior de la placa de pruebas (conectado al pin VMOT) del controlador del motor paso a paso a 12-24V. Luego se debe conectar el puerto USB del Arduino Nano a una computadora. Abra el monitor serial en Arduino IDE como se muestra en la siguiente imagen y debe comenzar la inicialización.



Figura 79: Apertura monitor serial

Una vez pulsado el botón indicado en la imagen se desplegará una ventana en blanco donde irán apareciendo las distintas fases del experimento. Para comenzar con el mismo, se pulsará el botón de subir archivo.



Figura 80: Subir archivo

Al subir el archivo en el monitor serie si se ha subido correctamente el programa, aparecerá un mensaje: “*Inicialización completada*”. Tras esto, se mostrarán por pantalla una serie de valores en miligramos que representan la fuerza ejercida sobre la célula de carga.

```

INITIALIZING
Inicialización completada
2822720.00
2822778.00
2822785.00
2822748.00
2822707.00
2822755.00
2822670.00

```

Figura 81: Inicialización

Para poder comenzar el experimento primero habrá que tarar la célula que previamente ha sido calibrada mediante el uso de pesos conocidos y la introducción del factor de carga asociado. Para tarar se escribirá el comando *Tarar* y se pulsará Enter, que pondrá la medida de la célula de carga a cero (Cabe mencionar que no mostrará un valor de 0 exacto, pero sí muy próximo con variaciones del 1% respecto a los kilogramos). Para la opción de tarado, el comando puede escribirse en mayúsculas o minúsculas indistintamente, al estar codificado para pasar todo texto introducido a minúsculas.

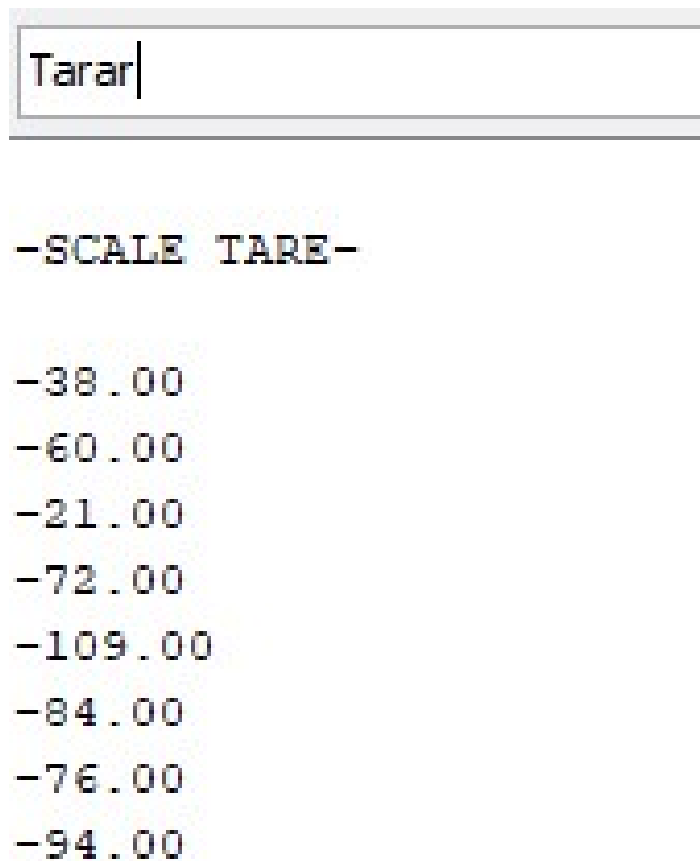


Figura 82: Tarado

Tras el proceso de tarado, el experimento continuará con la puesta en marcha del motor. Para ello se introducirá el comando *Start* se pulsa Enter y si se ha introducido correctamente se mostrará un mensaje por pantalla *Empieza el Test*, al igual que en comando anterior es indiferente el uso de mayúsculas o minúsculas. Con esto el motor paso a paso comienza a girar accionando el mecanismo y hace avanzar la placa con la mordaza en la dirección de la célula de carga lo que ejerce una fuerza de compresión sobre la célula de carga. Esta fuerza creciente se mostrará por pantalla cada 0,15 segundos.

```
Start
-Empieza el Test-
-85.00
-110.00
-1064.00
-3465.00
-14526.00
-63915.00
-91052.00
-145634.00
-172213.00
-224360.00
-250011.00
```

Figura 83: Comienzo de la prueba

Esta acción se mantendrá hasta que se rompa la probeta, en ese momento se introducirá el comando *Stop* y se detendrá el test. Es decir, el motor se detiene en la última posición marcada.

```
Stop
-2313262.00
-2321456.00
-2338063.00
-2346390.00
-2362956.00
-2371066.00
-2387195.00
-2395445.00
-2411857.00
-2419911.00
-2427857.00
-STOP-
```

Figura 84: Fin de la prueba

Antes de analizar los resultados de la prueba hay que mencionar que aparte de los comandos mencionados existen dos más para recolocar la placa en la posición inicial *Up* y *Down* que cambia el sentido de giro del motor.

```
Up|
```

```
-MOVING UP-
```

```
-2446557.00  
-2509034.00  
-2581138.00  
-2637582.00  
-2678411.00  
-2710627.00  
-2732394.00  
-2757452.00  
-2779739.00
```

Figura 85: Cambio de sentido a derechas

```
Down|
```

```
-MOVING DOWN-
```

```
-2789195.00  
-2766670.00  
-2745921.00  
-2731993.00  
-2716094.00  
-2666676.00  
-2584863.00  
-2515512.00
```

Figura 86: Cambio de sentido a izquierdas

Para analizar los resultados obtenidos, se seleccionarán los datos desde el comienzo del ensayo (*start*) hasta el final (*stop*), se copiarán y se pegarán en la tabla destinada para albergar los datos. En caso de haber datos previos en la tabla, se pulsará el botón de limpiar o el comando Ctrl + I.



Figura 87: Introducir datos en Excel

Como se puede observar, el formato de dato no es el adecuado para Excel España 2016 debido al uso del punto como delimitador del número entero. Para solucionar este problema se ha desarrollado una macro que sustituye dichos puntos por comas y ajusta el formato de dato de tal forma que su lectura sea más simple.

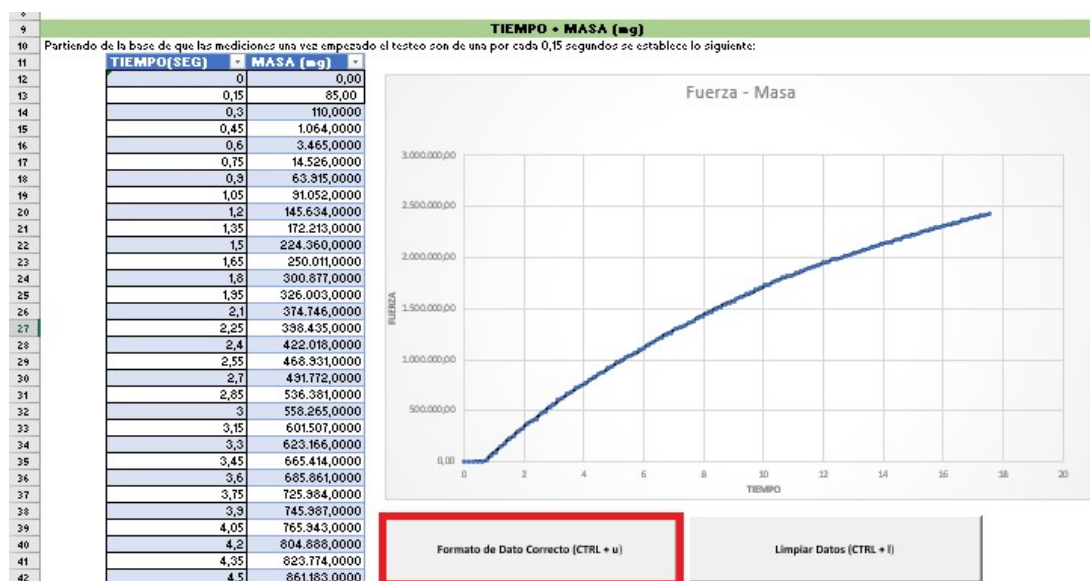


Figura 88: Ajustar el formato de dato

Cuando se ha formateado los datos el programa automáticamente calcula el alargamiento, así como la fuerza máxima aplicada en la probeta.

ALARGAMIENTO	
TIEMPO	17,55
GEAR RATIO	100
LEAD SCREW PITCH	8 mm/2*PI
SPEED MULTIPLIER	1
SPEED	1,3219 rpm
	1,32188 rpm
	0,02203 rps
ALARGAMIENTO	3,0932 mm

NORMA	
100	mm/min
0,001666667	
0,138888889	
1,326330303	rpm

FUERZA MÁXIMA (N)	23817277,2
--------------------------	-------------------

Figura 89: Cálculo del alargamiento y de la fuerza máxima

Para obtener los parámetros restantes mencionados anteriormente, se seleccionará el tipo de probeta 1A o 5A que se haya implementado en el experimento.

FUERZA MÁXIMA (N)	23,81727717
--------------------------	--------------------

Seleccinar tipo de Probeta

1A	▼
1A	
5A	

ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL INICIAL (mm²)	40
---	-----------

Figura 90: Selección de probeta

Según la selección, cambia tanto el área de la sección transversal y la longitud inicial.

ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL INICIAL			Lo	
1A	40	mm ²	170	mm
5A	8	mm ²	75	mm

Figura 91: Parámetros de la probeta

Una vez seleccionada el tipo de material a ensayar, se obtendrán tanto el esfuerzo como la deformación unitaria y el módulo de Young dando por concluido el ensayo.

ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL INICIAL (mm²)	40
ESFUERZO (N/mm²)	0.595431929
Lo (mm)	170
DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	1,820%
MÓDULO DE YOUNG (N/mm²)	32,72463372

Figura 92: Características del ensayo

Finalmente, hay que mencionar que, de cara al uso seguro de la máquina, es conveniente no dejar la máquina desatendida cuando está funcionando; no usarla como ensayo de compresión; es importante el uso de gafas protectoras para evitar lesiones por el salto de piezas.

4.6.- PRUEBA REAL

A continuación, se presenta a la última fase del Trabajo de Fin de Grado, para ello se hará una simulación real con la pieza cargada en el mecanismo. Como se ha mencionado anteriormente, se trabajará con la ISO 527-2 5A.

Al igual que en el apartado anterior, se procede con la colocación de la probeta. Para ello se situarán sus extremos entre las mordazas, previamente colocadas en la posición óptima para realizar el ensayo a través de los comandos *Up* y *Down*. Y se girarán los tornillos hasta que sean capaz de mantener inmóvil a la pieza de forma que no se produzcan desplazamientos por parte del material a testar.

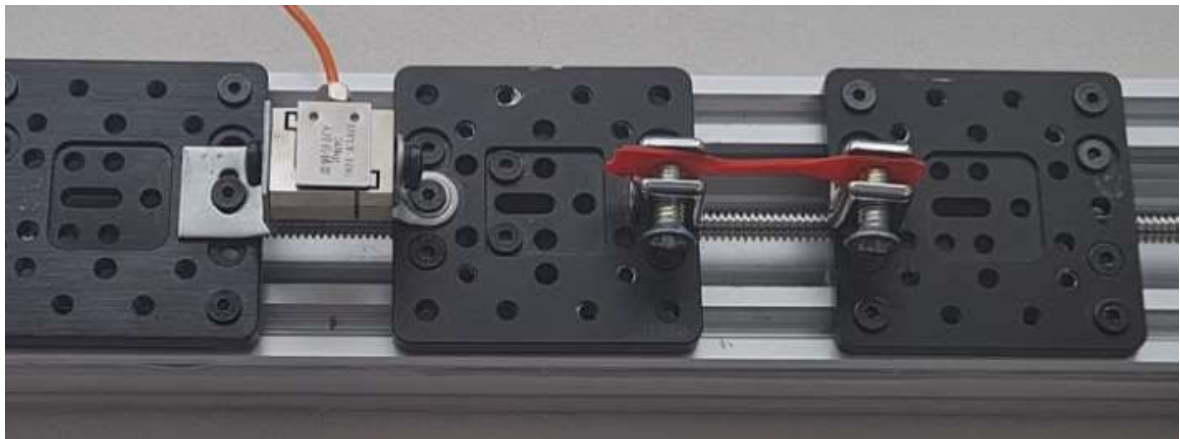


Figura 93: Colocación de la probeta 5A

Tras la colocación de la misma, como se puede apreciar en la imagen, se conecta el aparato a la fuente de tensión que abastecerá de la energía suficiente para mover el motor. En este momento, se hace la comprobación de seguridad (gafas protectoras).

Una vez realizado esto, se carga el código en la placa de Arduino Uno, se comprueba que la lectura es correcta, se abre el monitor serie, tiene que aparecer por pantalla el mensaje *Inicialización completada* y a partir de este momento se procede con el ensayo.

En primer lugar, como se vio en el apartado anterior, tendremos que tarar la célula de carga y poner el valor a cero o próximo a cero.

Continuando con la experimentación, tras el mensaje de tarado (*Scale tare*), se escribe el comando *Start* y el motor comenzará a girar traccionando la pieza comprimiendo la célula de carga y mostrando por pantalla el valor en miligramos.

Esta acción continuará hasta la rotura de la pieza, cuando esta ocurre se detiene el ensayo y se procede con la selección de los números generados en el periodo de tiempo entre el inicio (momento que se envía el comando *start*) y fin del experimento (momento en el que se escribe el comando *Stop*). Y se introducen estos datos en el programa Excel que indicará el alargamiento y la fuerza máxima, así como el resto de parámetros.

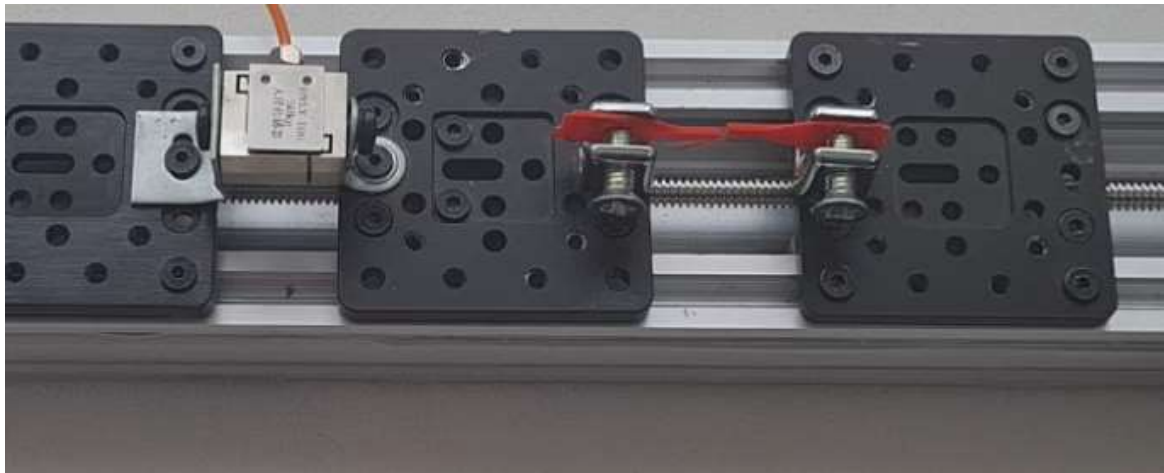


Figura 94: Rotura de la probeta

El ensayo duró un total de 51 segundos, con una velocidad de 1,321875 revoluciones por minuto. Esto se traduce en un alargamiento de 8,99 milímetros en la pieza. El momento en el que se produjo la rotura, la fuerza máxima era de 18198,177 N. La gráfica Masa-Tiempo es la siguiente:

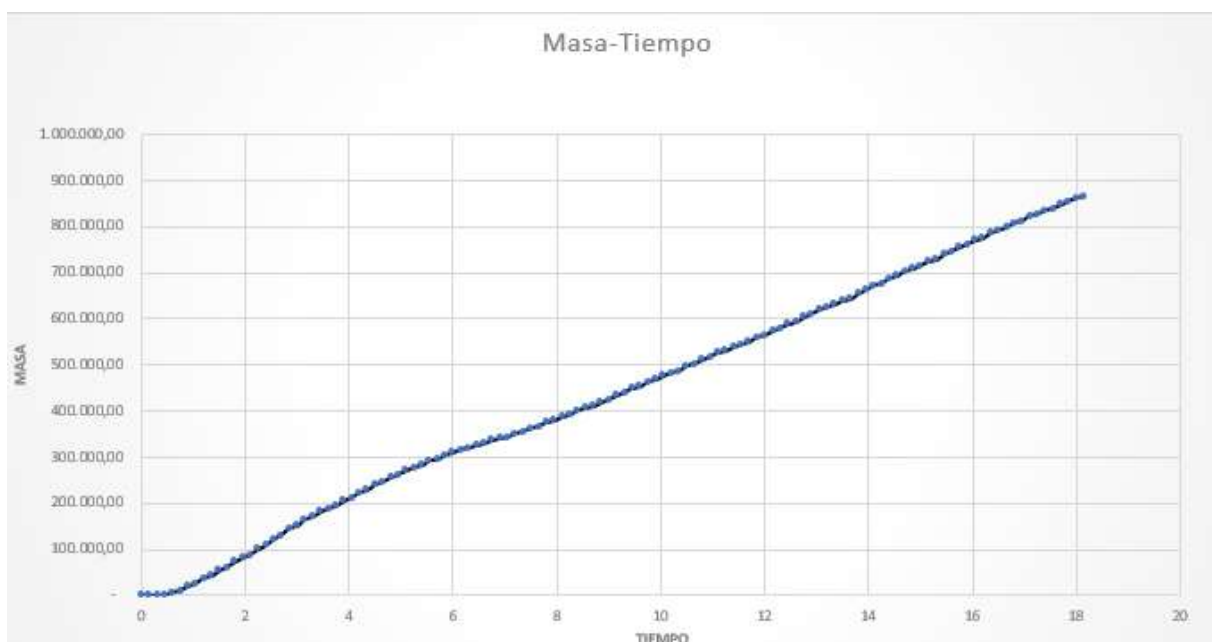


Figura 95: Gráfica Masa-Tiempo

Con esto, y a través de la selección del tipo de probeta, 5A, en este caso, se calcula el área de la sección transversal inicial de 8 milímetros cuadrados y el esfuerzo de 272,97 Newton milímetros cuadrados. Además, a partir de la longitud inicial de la probeta de 75 milímetros se puede calcular la deformación unitaria que es de un 1,43% aproximadamente y el módulo de Young, en este tipo de probetas 2372,52 Newton por milímetro cuadrado.

ALARGAMIENTO	
TIEMPO	51
GEAR RATIO	100
LEAD SCREW PITCH	8 mm/2"PI
SPEED MULTIPLIER	1
SPEED	1,32188 rpm
	1,321875 rpm
	0,0220313 rps
ALARGAMIENTO	1,07865 mm

NORMA	
100	mm/min
0,001666667	
0,138888889	
1,326330309	rpm

FUERZA MÁXIMA (N)	272,9726676
-------------------	-------------

Seleccionar tipo de Probeta

ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL INICIAL (mm ²)	8
--	---

ESFUERZO (N/mm ²)	34,12158345
-------------------------------	-------------

Lo (mm)	75
---------	----

DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	1,438%
--------------------------	--------

MÓDULO DE YOUNG (N/mm ²)	2372,520056
--------------------------------------	-------------

Figura 96: Parámetros del Ensayo

En aras de que el procedimiento sea más ilustrativo, en el siguiente enlace se podrá acceder al video de la prueba:

<https://www.youtube.com/watch?v=WylsKGJmoyc>

5.- MODELOS FALLIDOS

A lo largo del diseño y desarrollo de la pieza de sujeción ha habido una serie de inconvenientes. Desde fallos con la impresión 3 D que daban lugar a piezas incompletas y a cambios de diseño, como a roturas durante el ensayo que han derivado en optar por la solución mostrada anteriormente, con un material más rígido como pieza de sujeción.

- **Diseños fallidos de la mordaza:**

- Inicialmente, se planteó el diseño de una mordaza de PLA. Para mejorar el agarre se logra mediante el pegado (resina epoxi) de una lija de grano fino a la pieza y evitar desplazamientos en la pieza a testar.

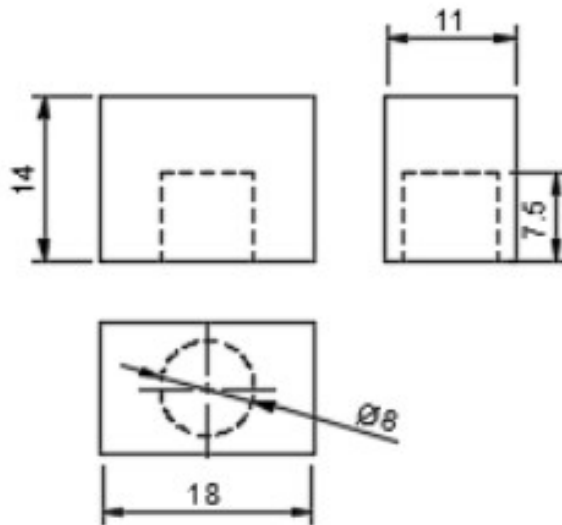


Figura 97: Diseño de la Mordaza

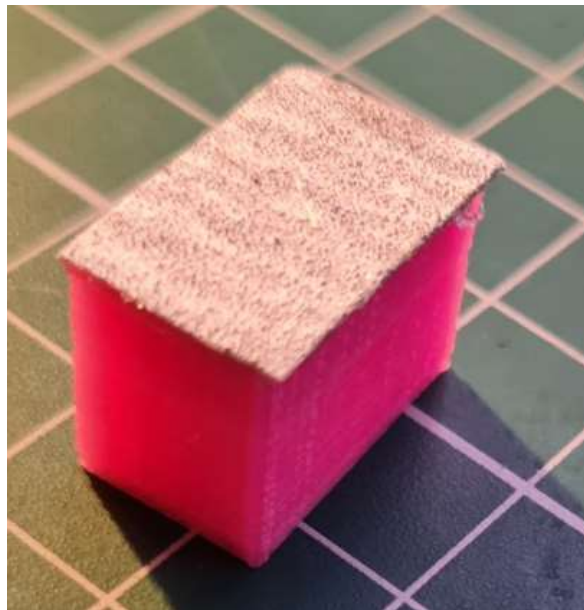


Figura 98: Mordaza con lija

- Además, cuenta con un acoplamiento de turca de métrica 5 al agujero sobre la mordaza con el fin de poder atornillar el tornillo y así controlar el movimiento de la mordaza.



Figura 99: Acoplamiento de la mordaza

- El principal fallo de este tipo de mordazas es, su deformación al ejercerse presión sobre las mismas, agrietándose y perforándose por la parte central por donde se introduciría el tornillo M5 que ejerce la fuerza de empuje.

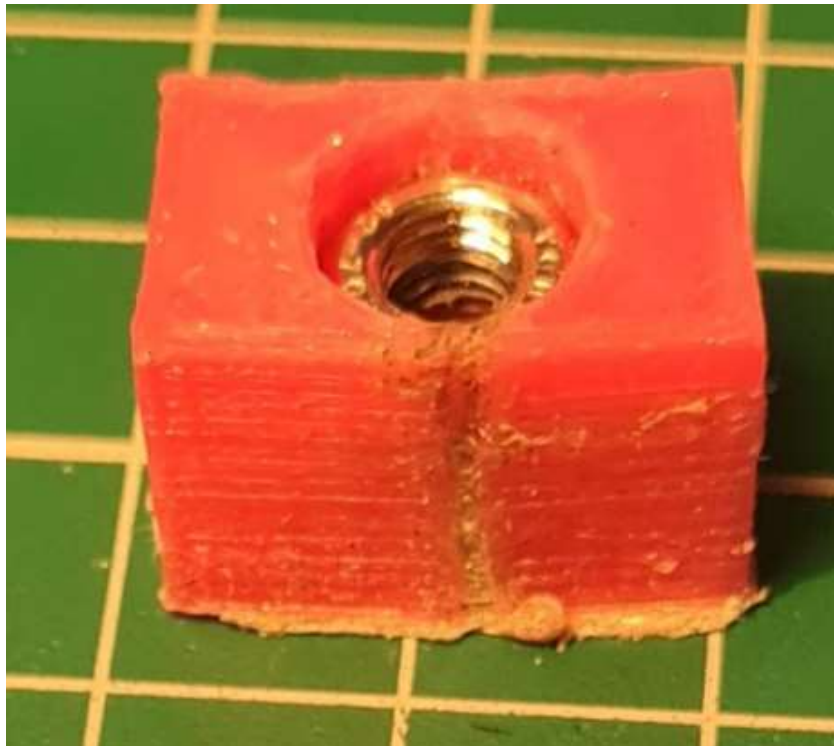


Figura 100: Rotura de la Mordaza

- **Diseños fallidos de la pieza de sujeción:**

- Inicialmente, se planteó un diseño basada en la combinación de agujeros para sujeción a la placa y tetones para un mejor agarre. Además, cuenta con una serie de estructuras, similares a un arbotante, para dar mayor rigidez a la estructura en el momento de tracción.

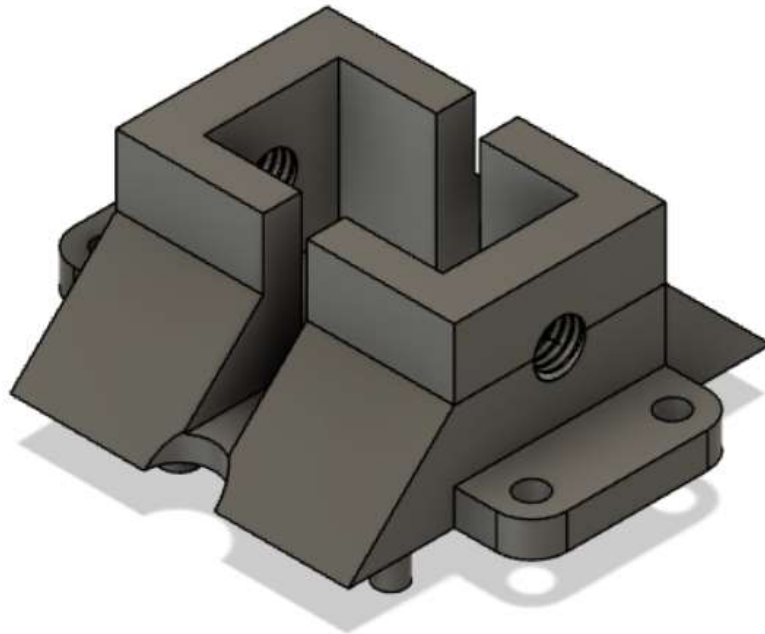


Figura 101: Diseño Inicial de la Pieza de Sujeción

- Sin embargo, su impresión resultó imposible debido a los propios tetones de la pieza que impedían crear una estructura óptima sobre la que poder imprimir dando por inviable este diseño.

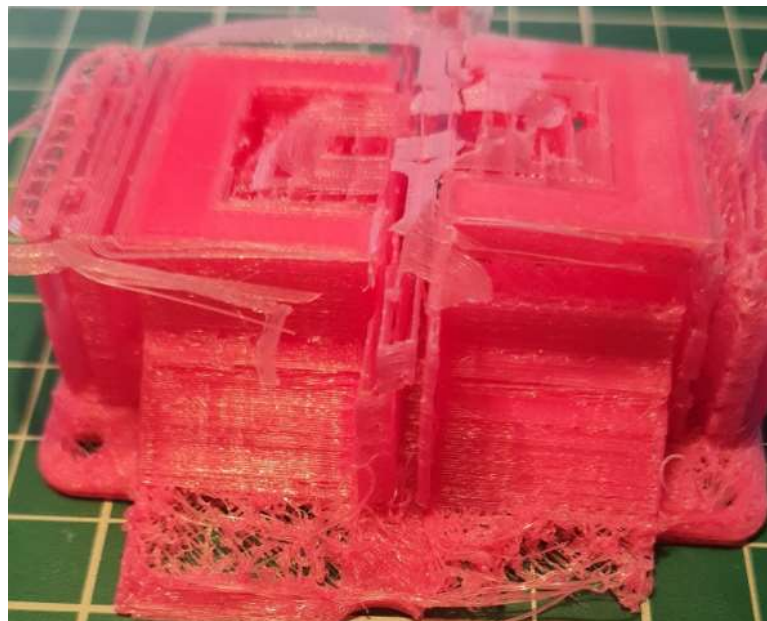


Figura 102: Fallo en la impresión de la Pieza de Sujeción inicial

- Tras el fracaso del modelo anterior, se opta por un diseño sin tetones y como sustituto de lo mismo se optan por agujeros atravesados por tornillos que realizan la misma función.

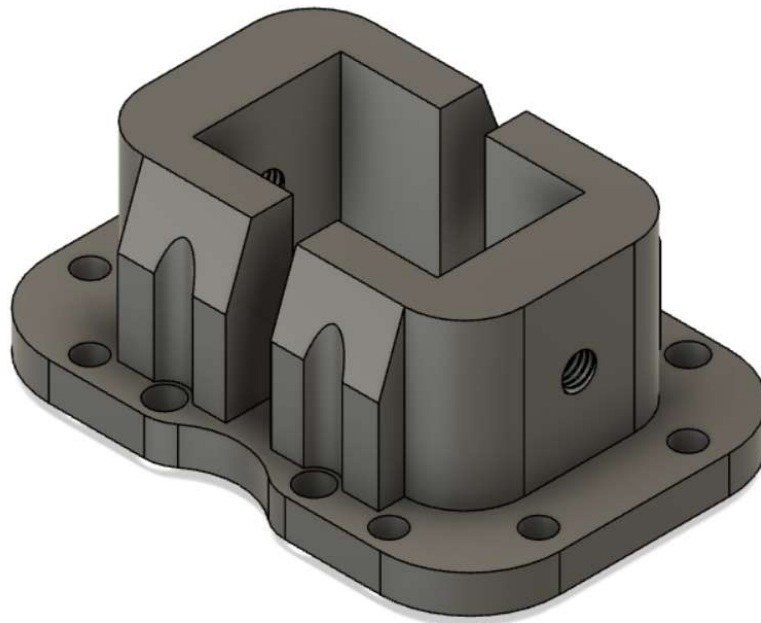


Figura 103: Segundo diseño de la pieza de Sujeción

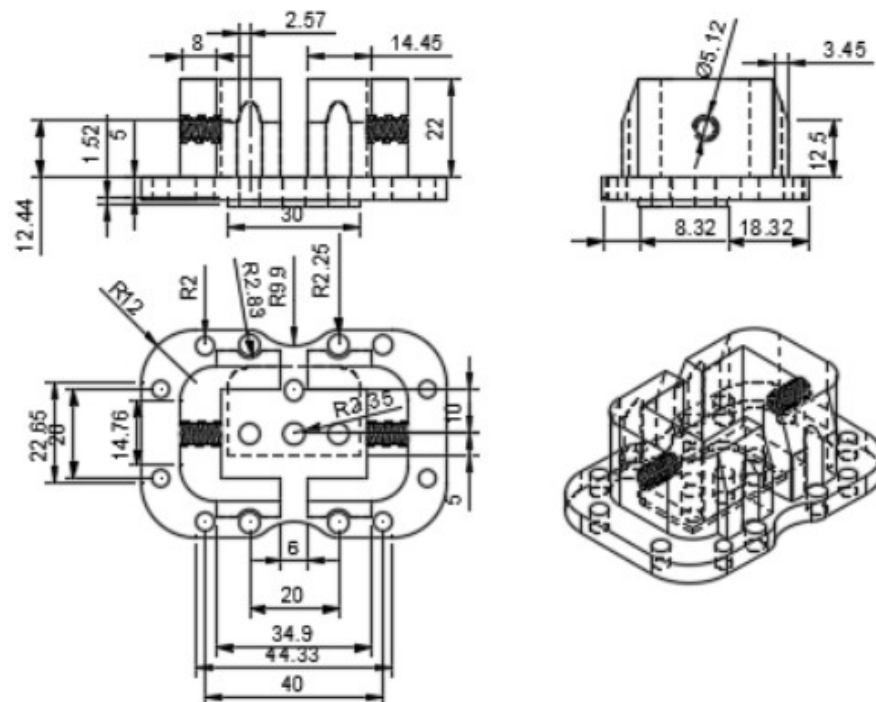


Figura 104: Diseño de la pieza de Sujeción segunda

- La impresión en este caso fue correcta, la ausencia de tetones permite una mejora sustancial del proceso.

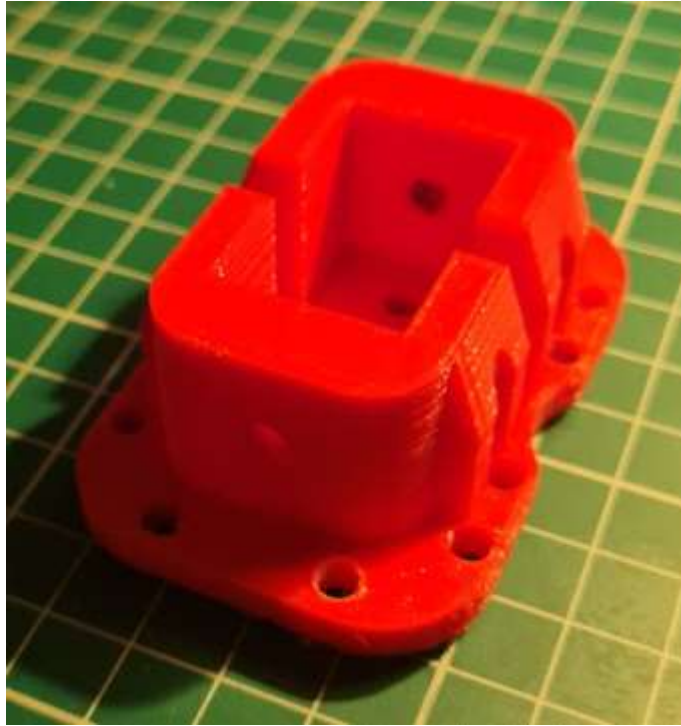


Figura 105: Impresión de la pieza de Sujeción, segundo modelo

- Continuando con el montaje de este diseño, se ancla a la placa de sujeción y sirve de elemento de unión para la mordaza y la probeta.

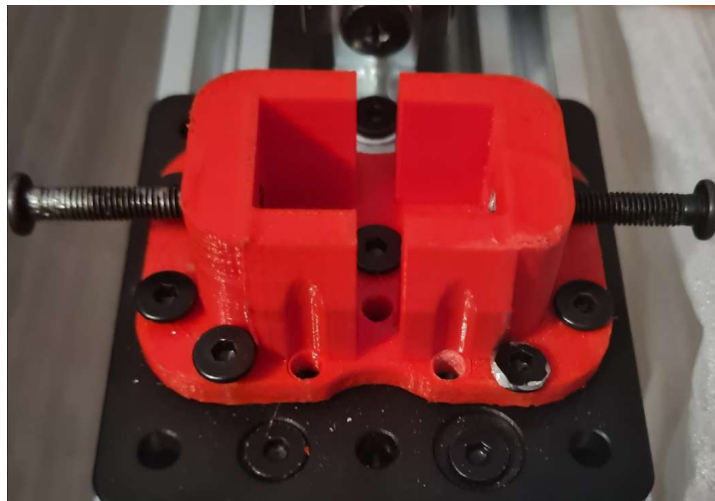


Figura 106: Anclaje pieza de Sujeción

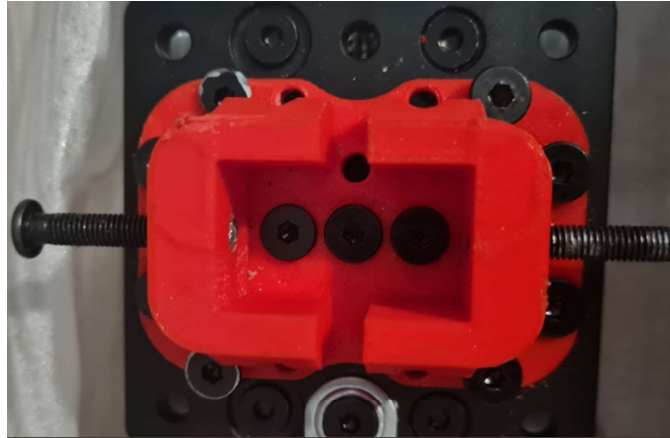


Figura 107: Anclaje a placa Gantry

- Colocación de las mordazas en la pieza de sujeción a través de tornillos de métrica 5.

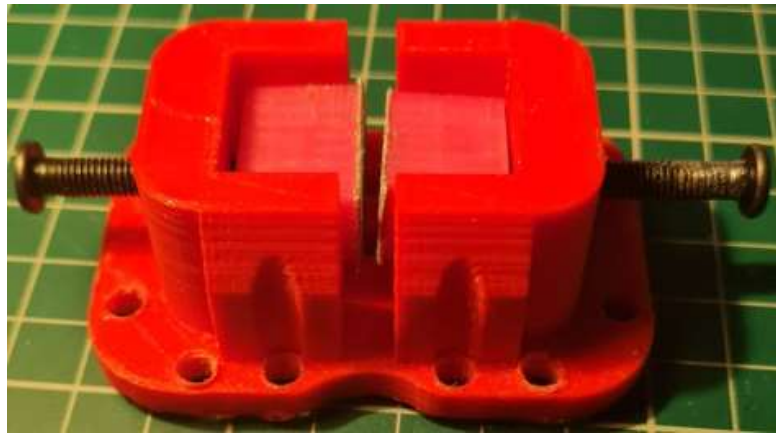


Figura 108: Colocación de las mordazas en la pieza de sujeción

- Sujeción de la probeta con las mordazas y por la pieza de sujeción. Durante los primeros ensayos, el agarre era bastante fuerte. No obstante, con el paso del tiempo este se fue debilitando.

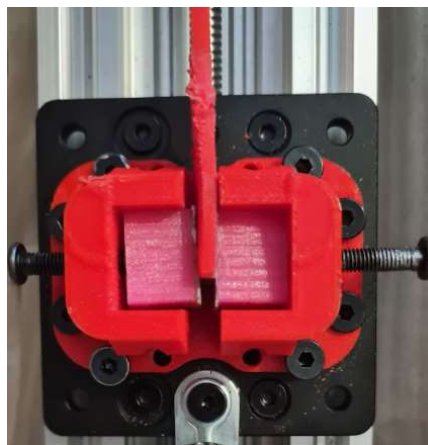


Figura 109: Sujeción de la probeta

- Se fija la distancia entre las placas y tras esto comienzan los ensayos de tracción para comprobar el correcto funcionamiento de la máquina.



Figura 110: Colocación de la probeta 1A

- Sin embargo, como ya se anticipaba anteriormente, el diseño fracasó debido a que el PLA es un material poco resistente y fácilmente deformable. De esta manera, la rosca que permitía empujar la mordaza se fue debilitando hasta perder su agarre por completo.

Además, el conjunto de la pieza de sujeción se empezó a agrietar por la esquina inferior, debido principalmente a las tensiones generadas por la tracción y el agarre de las mordazas. La amplitud de esta grieta fue aumentando según el avance del ensayo hasta desprenderse por completo una de las paredes de la pieza de sujeción. De esta manera, este segundo conjunto fracasa.

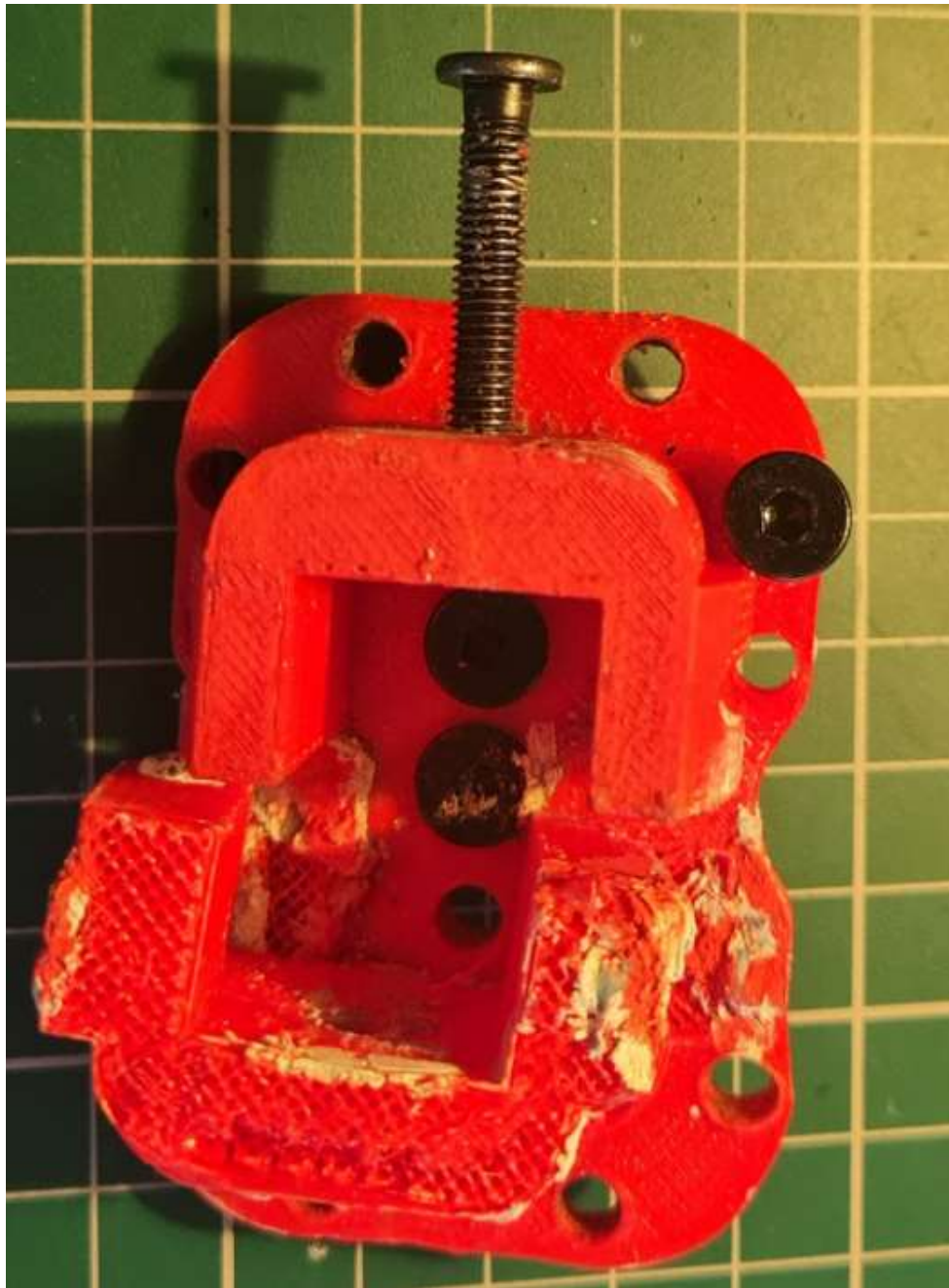


Figura 111: Rotura de la pieza de Sujeción impresa

Part Number			Material	
Item	Qty			
1	10	Low Profile Screw M5, M5 x 20	Steel	
2	2	Nylon Insert Lock Nut M5	Steel	
3	4	Low Profile Screw M5, M5 x 25	Steel	
4	2	C-Beam End Mount	Steel	
5	1	C-Beam 4080x500 Linear Rail	Steel	
6	2	Ball Bearing B x 18 x 5	Steel	
7	2	Spin Washer 8mm	Steel	
8	2	Lock Washer 8mm	Steel	
9	2	Alum Run Spacer 40mm	Steel	
10	1	Flexible Coupler 0.25in x 8mm	Steel	
11	1	8mm ladderway 1540mm	Steel	
12	1	C-Beam Gantry Plate	Steel	
13	1	8mm Alum 6 Nut Block	Steel	
14	2	Xtreme Mini V Wheel 804016	Steel	
15	2	Xtreme Mini V Wheel 804016	Steel	
16	2	Alum Run Spacer 30mm	Steel	
17	1	Xtreme 23 Stopper Motor Gear Box	Steel	
18	2	Alum Run Spacer 40mm	Steel	
19	2	MAF Conilo	Steel	
20	2	C-Beam Gantry Plate	Steel	
21	2	Brakeless	Steel	
22	1	Probleta	Steel	
23	4	Motor 24	Steel	
24	1	Lead rail	Steel	
25	8	Torillo + Nut	Steel	
26	10	Torillo M4	Steel	
27	1	Scope Motor	Steel	
28	4	Torillo M5 Load Cell	Steel	
29	2	Probleta M5	Steel	

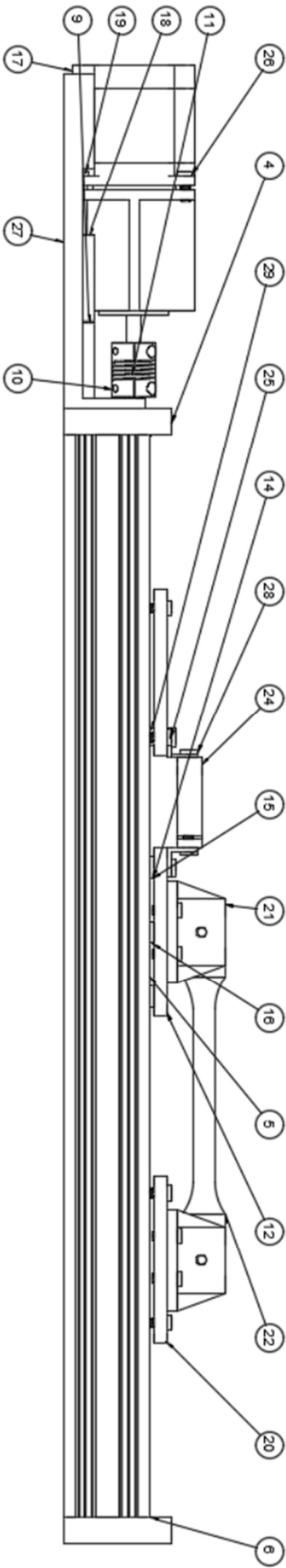


Figura 112: Plano conjunto Diseño Fallido

6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez completado el primer ensayo, se proceden a realizar una serie de ensayos complementarios para confirmar la efectividad de la máquina. Se testean tanto las probetas 5A como las probetas 1A.

Dando valores máximos de Fuerza y de alargamiento similar en todos los ensayos se confirma que la máquina funciona de forma óptima y fiablemente.

5A	Alargamiento (mm)	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Módulo de Young (N/mm ²)
1	1,43%	272,97	34,12	2372,52
2	1,56%	212,64	26,54	2514,18

Tabla 2: Ensayos Probetas 5A

1A	Alargamiento (mm)	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Módulo de Young (N/mm ²)
1	1,4%	727,6	28,31	2541,75
2	1,38%	727,92	28,56	20542,3

Tabla 3: Ensayos Probetas 1A

En comparación con la tabla 1, se puede comprobar que aunque los valores son similares a los mostrados por el propio PLA previo a su tratamiento FDM para la impresión, cuentan con valores de Módulo de Young y de Tensión de Tracción más pequeños. De esto podemos concluir que se debe a que el hecho de imprimir las probetas por Fundición provoca una disminución en las capacidades de deformación. A continuación, se muestra la citada tabla 1:

Densidad 1.24 e3 – 1.27 e3 kg/m ³
Temperatura de fusión 160 – 177 °C
Temperatura de transición vítrea 56 – 58 °C
Módulo de Young 3.3 – 3.6 GPa
Límite elástico 55 – 72 MPa
Tensión de rotura (Tracción) 47 – 70 MPa
Coefficiente de Poisson 0.38 – 0.4
Esfuerzo de compresión 66 – 86 MPa
Resistencia mecánica (Vickers) 17 – 22 HV
Conductividad térmica 0.13 – 0.16 W/m·°C
Calor específico 1.18 e3 – 1.21 e3 J/kg·°C

En cuanto al análisis visual de las probetas tras el ensayo a tracción, se puede observar de forma bastante clara que los distintos tipos de probetas tienden a romperse por la parte central de la misma, donde el material resulta más susceptible a rotura. Este comportamiento es lógico al ser característico de los materiales plásticos.

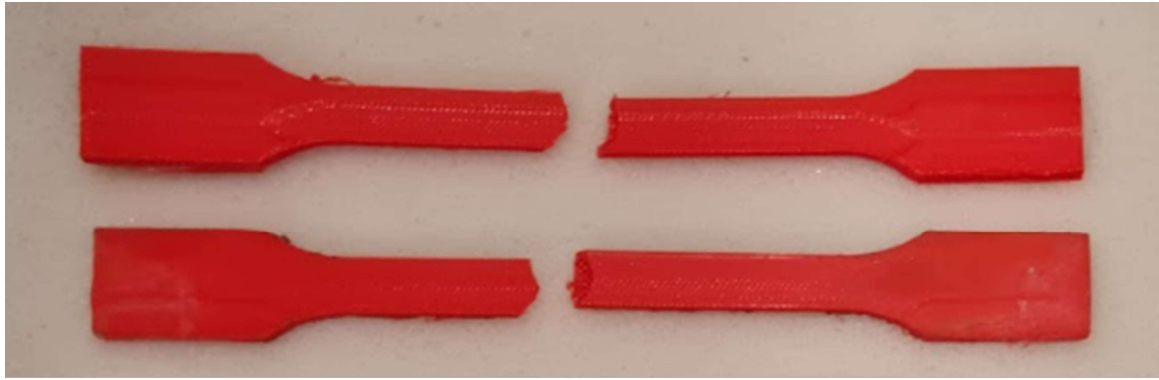


Figura 113: Fractura pieza 1A



Figura 114: Fractura pieza 5A



Figura 115: Fractura pieza 5A

Si aumentamos el punto de observación en el punto de fractura, se puede observar la diferencia existente entre las distintas probetas. En el primer caso, las piezas 5A, sufren un corte transversal de la sección de la probeta. La principal razón, es su menor superficie y tamaño ofreciendo menos resistencia a fracturarse. Por otro lado, las probetas 1A se caracterizan por tener un corte irregular y oblicuo, esto genera una sección de fractura amorfa.

Estas características en el corte son propias de este tipo de probetas y de este tipo de ensayos. Además, el hecho de romperse por la parte central es síntoma en cierta medida de que la probeta está sujeta por las mordazas con fuerzas uniformemente distribuidas en ambos extremos.

A continuación, se muestran las imágenes ampliadas de ambas probetas donde se puede observar lo recientemente comentado sobre el tipo de fractura.

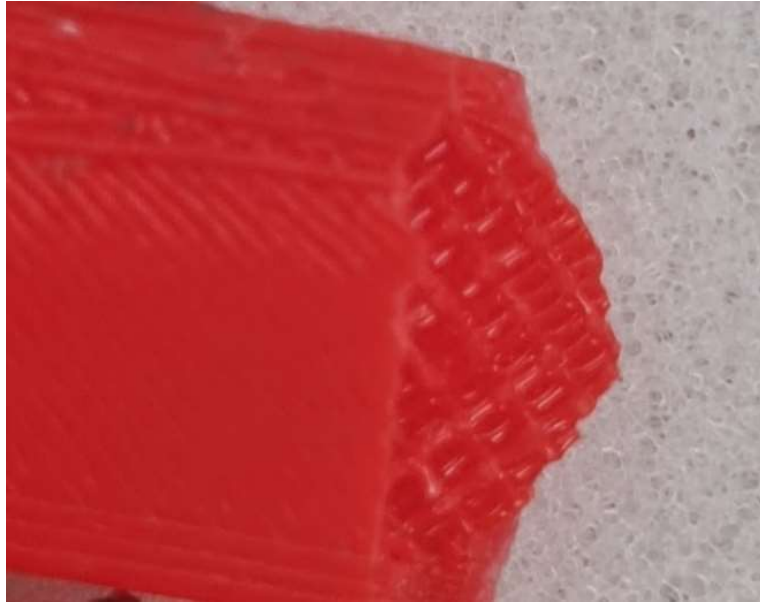


Figura 116: Sección Probeta 1A

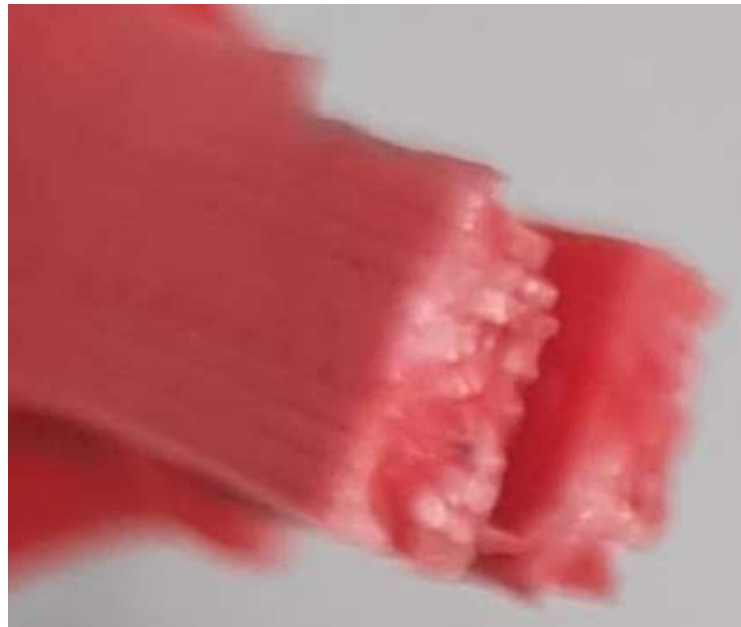


Figura 117: Sección Probeta 5A

La utilidad de conceptos que se ha mencionado a lo largo del Trabajo pueden emplearse hoy en día, dentro del sector industrial, para aplicaciones como:

- Desarrollar nuevos diseños a través de impresión 3D mediante el nuevo conocimiento otorgado sobre el PLA. El aumento del conocimiento de las propiedades mecánicas de este tipo de material generará nuevas aplicaciones para la impresión tridimensional.
- Optimizar procesos, lo que supondrá unos costes y tiempos menores, sin tener que hacer un estudio previo a realizar cada diseño. Esto, sin duda resulta de gran ventaja para proyecto de bajo presupuesto que no pueden permitirse realizar el estudio.

Otra de las conclusiones que puede sacarse tras desarrollar el proyecto es que no se requiere de mucho hardware para completarse. Solamente se necesita un motor con suficiente potencia como para poder ejercer la suficiente tracción como para romper PLA, así como, material básico de construcción (tornillos, tuercas...) y un sistema informático que sea capaz de usar Arduino. Aparte, un soporte físico para poder sujetar el material testado. Por lo tanto, es posible elaborar un trabajo competitivo y puntero dentro de la industria sin tener que depender de muchos recursos.

Finalmente, se llega a la conclusión, que esta línea de trabajo puede dar lugar a una gran cantidad de avances significativos en el ámbito industrial, pero de este aspecto se hablará más en detalle en el próximo capítulo.

7.- CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se puede confirmar que se pueden realizar ensayos a tracción sobre material plástico PLA individualizados desde el hogar, a partir de una serie de conocimientos previos sobre el Ensayo de tracción, qué mide, qué permite conocer etc. Y a partir de una serie de piezas de bajo presupuesto, que se pueden encontrar fácilmente en cualquier ferretería o página web de e-commerce como es Amazon o Aliexpress. Tan solo es necesario seguir la normativa expuesta en la ISO correspondiente para que los resultados obtenidos sean precisos y válidos de cara a su uso en distintos proyectos.

Elaborando sobre esto, la realización del presente proyecto ha permitido profundizar en materia de Ensayos, más concretamente sobre los Ensayos de Tracción. Y comprobar que un ensayo de tracción es un ensayo que mide las propiedades mecánicas (principalmente alargamiento, carga de rotura u otras propiedades) que proporciona un material cuando se somete a dos fuerzas opuestas, es decir, el comportamiento del material. A la fuerza y velocidad dadas. Por tanto, se puede decir que el ensayo de tracción se utiliza para determinar las propiedades mecánicas de un material frente a fuerzas externas.

De la misma manera, para poder implementar dicho ensayo, se ha tenido que realizar un estudio sobre el material a utilizar, sus diferentes usos y propiedades para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina una vez ensamblada. A su vez, se ha tenido que desarrollar una serie de habilidades técnicas específicas para el manejo del Software de impresión 3D Fusion 360. Este software, como se ha mencionado a lo largo del trabajo, permite hacer muchísimas más actividades que modelar. Combina el diseño mecánico e industrial, la simulación y el renderizado en una única aplicación que permite trabajar en línea de manera colaborativa. De esta manera, se han realizado el diseño de las piezas necesarias como las mordazas, piezas de sujeción y el plano de conjunto necesario para llevar a cabo la máquina.

Junto al diseño y ensamblaje, la programación y el diseño del circuito que conformará la máquina ha sido de suma importancia al encargarse del control de la misma. Para ello ha sido fundamental investigar distintos conceptos en Arduino y ver sus diferentes funcionalidades. El Arduino es una placa que tiene todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador. Es decir, es una placa impresa con los componentes necesarios para que funcione el microcontrolador y su comunicación con un ordenador a través de la comunicación serial. De esta manera, se ha desarrollado un código capaz de controlar el tarado, arranque y parada del motor y que muestre por pantalla el resultado del experimento.

Todo este procedimiento va de la mano del seguimiento de la norma ISO correspondiente. Las normas ISO elevan los niveles de calidad, seguridad, fiabilidad, interoperabilidad y eficiencia, proporcionando información suficiente al consumidor para su decisión de compra. En este caso la UNE-ISO 5893 para la máquina y la ISO 527-2:2012 para la probeta, que se centran en cuestiones de sostenibilidad, seguridad, accesibilidad y la calidad de servicios, que reflejan las necesidades y expectativas del público en general y para quienes se trabaja con estándares normativos que mejoran el desempeño en gestión de calidad, para asegurar que los servicios sean tan buenos como lo esperan los clientes; para tener productos certificados, que comprueba que son seguros y fiables para el consumidor; y la meta ulterior, que es la satisfacción del cliente, entregar siempre el mejor servicio posible.

Para poder realizar un análisis en profundidad de los datos obtenidos por la célula de carga, se ha desarrollado un programa en Excel que es capaz de determinar la fuerza máxima a la que la probeta es sometida y el alargamiento, dando, por tanto, la información necesaria para la conclusión con éxito del experimento.

De esta manera, se cumplen todos los puntos establecidos en el apartado “Objetivos”. Pasando por el desarrollo del conocimiento sobre el Ensayo a Tracción, normativa y aspectos de medición. El aprendizaje de tecnologías de diseño 3D como es el software Fusion 360 que ha permitido desarrollar los elementos de sujeción necesarios para poder realizar el ensayo.

En definitiva, el ensamblaje y puesta en marcha de una máquina de ensayo a tracción a partir de materiales cotidianos implementando tecnología impresión 3D es viable dando resultados fiables y que cumplen con la normativa expuesta a lo largo del ejercicio. Esto abre la puerta al desarrollo de otros experimentos como ensayo de flexión o compresión a partir de materiales de bajo presupuesto.

7.1.- LÍNEAS FUTURAS

A la hora de interpretar las distintas líneas futuras hay que destacar dos ramas distintas, una primera de mejora del proyecto presente y otra de aplicaciones de los conocimientos obtenidos en este proyecto en diferentes ensayos y experimentos.

En primer lugar, respecto al proyecto actual, cabe mencionar posibles mejoras en la medida del alargamiento. De cara a obtener un resultado continuo de la curva de deformación de la pieza se podría plantear la realización de una plataforma fija capaz de sujetar un aparato de captura de video, bien sea un dispositivo móvil o una cámara que grabase desde el inicio hasta el final del experimento. De esta manera, midiendo los fps (frames por segundo) en el que se realizase la grabación, a través de plataformas como Illustrator o Photoshop se podría ir midiendo el desplazamiento entre dos puntos fijos.

Tras esto, se podrían volcar los datos obtenidos en una plataforma de cálculo como Excel y generar una curva de deformación precisa. No obstante, se necesita de una cámara de alta calidad para poder ser capaz de capturar correctamente el desplazamiento y de programas de imagen avanzados con licencias de precio elevado. No obstante, se podría generar un extensómetro de bajo presupuesto de alta fiabilidad.

Desde el punto de vista de aplicaciones del trabajo actual, al haberse obtenido resultados fiables mediante el seguimiento de la norma, se abre la posibilidad de trasladar este tipo de máquina de bajo presupuesto a otro tipo de ensayos. Aunque midan parámetros distintos, su funcionalidad es similar, aplicando la misma estrategia establecida en el presente proyecto, se podrían realizar ensayos de flexión por 3 puntos o ensayos de compresión de bajo presupuesto.

Estos ensayos, podrían utilizarse para medir las propiedades de nuevos elementos empleados en la tecnología de moda, la impresión 3D. La industria ha vivido estos años una gran aceleración incorporando nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, robótica, nanotecnología, IoT, pero sobre todo la impresión 3D, que se ha convertido en uno de los elementos clave en la producción de cualquier sector. Su influencia hace posible que la industria se desarrolle en la dirección de una producción más inteligente y respetuosa con el medio ambiente. En este caso, el desperdicio de material se controla mejor y es más preciso, pero fundamentalmente, simplificando la creación de prototipos y la fabricación de herramientas, piezas o moldes. Todo esto afectará la velocidad de producción, porque la fabricación aditiva logra sistemas flexibles al reducir el tiempo, al tiempo que permite el desarrollo de nuevos productos para adaptarse a mercados cada vez más exigentes y lo más importante, impredecibles. Por lo que el estudio del material será imprescindible para entender sus características técnicas y así poder implementarla en nuevos campos. Además de su uso en esta tecnología, se podrá aprovechar para el estudio de otros materiales como papel, distintos tipos de cartón y otras fibras.

7.2.- IMPACTOS SOCIALES Y MEDIOAMBIENTALES

A continuación, se van a presentar aquellas líneas futuras que se consideran más interesantes y competitivas:

- Hacer accesible a toda la población la tecnología necesaria para realizar ensayos a tracción sobre materiales de resistencia mecánica limitada, pero de uso extendido.
- Aprovechar el movimiento económico de la economía circular y aprovechar distintas piezas para nuevos usos evitando así la generación de residuos. La economía circular es una alternativa atractiva que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad. Esto implica disociar la actividad económica del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño.
- Hacer un ensayo de forma más asequible, reduciendo el presupuesto. Una de las principales ventajas del ensayo de tracción simple es que se pueden obtener fácilmente parámetros como módulo elástico, límite elástico o resistencia máxima. Independientemente de la sección transversal de la muestra, ya sea circular o rectangular, estos parámetros se pueden obtener.
- Conseguir nuevas aplicaciones y desarrollos de programas con Arduino. La programación de Arduino es la programación de un microcontrolador. Esto era algo más de los ingenieros electrónicos, pero mediante el desarrollo de experimentos de esta índole se está extendido a todo el público. Arduino ha socializado la tecnología.
- Se proporciona un entorno de programación sencillo y potente para programar, pero además incluye las herramientas necesarias para compilar el programa y “quemar” el programa ya compilado en la memoria flash del microcontrolador. Además, el IDE ofrece un sistema de gestión de librerías y placas muy práctico. Como IDE es un software sencillo que carece de funciones avanzadas típicas de otros IDEs, pero suficiente para programar.
- El material PLA de los diseños fallidos se puede reutilizar mediante su fundición para realizar nuevas impresiones reduciendo los residuos generados por el proyecto.

8.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Impresión3D.com [online], *Breve historia de la impresión 3d*: Disponible en: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
- [2] «Llamado a la acción ante la emergencia sanitaria» [Online]. Disponible en: <https://es.3dsystems.com/covid-19-response>
- [3] «Mecalux: La importancia de los ensayos en los elementos que componen las estanterías de paletización convencional». [Online]. Disponible en: <https://www.mecalux.es/articulos-de-logistica/ensayos-componentes-estanterias-paletizacion-convencional>
- [4] SGS, «*Ensayo de materiales*», SGS 2008.
- [5] Hoytom S L. *Catálogo Máquinas de Ensayo 2020* [online] Avenida Iparragirre, 96, Leioa, 48940 , Bizkaia [consulta: 4 de Febrero 2021]. Formato PDF. Disponible en: https://www.hoytom.com/es/productos/maquinas/maquina-de-ensayo?gclid=Cj0KCQjwktKFBhCkARIsAJeDT0jOnvsKrqcUGy7S1ExLPqy0MZGibBs0nYrZ_mgDL6tpM8bOyHXTL3YaAq6fEALw_wcB
- [6] JM.Cacer, «*Ensayos nmecánicos II: Tracción*», JMCacer, 2020. [Online]. Disponible en: https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio_archivos/traccion.pdf
- [7] Callister «*Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*». Callister, W.D. Ed. Reverté S.A., Barcelona.
- [8] UPV «*Curso de Fundamentos de Ciencia de Maeriales. Unidad 2*». UPV 2020, [Online]. Disponible: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/fcm2_2.html
- [10] UC3M «*Prácticaa II: Ensayo de tracción universal/ Bloque II*» UC3m. 2020, [Online]. Disponible: http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/practicas-1/Practica_II-TRACCION.pdf
- [9] UC3M «*Prácticaa II: Ensayo de tracción universal/ Bloque II*» UC3m. 2020, [Online]. Disponible: http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/practicas-1/Practica_II-TRACCION.pdf
- [10] Villela Espinosa de los Monteros, I. J. 2004. Evaluación a la Microestructura y a las Propiedades Mecánicas del Acero Inoxidable 316LS y del Titanio Ti-6Al-4V como Biomateriales. Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo. Derechos Reservados © 2004.
- [11] UNE-ISO. (2012). Aparatos de ensayo para plásticos y caucho. Tipos para ensayos de tracción, flexión y compresión (a velocidad de desplazamiento constante) (ISO 5893). Disponible: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0050087>
- [12] AUTODESK. Fusion 360 2020 [software]. San Rafael [California]: Autodesk, 2020 [consulta: 15 mayo 20].
- [13] ARDUINO. Arduino [software]. Versión 1.0.6. 10 enero 2021 [consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/Software>

-
- [14] Xieshi. Fully functional tensile testing machine. Arizona College Prep Erie Campus, 2020. Tinkercard contest version.
- [15] Liyuan Electronic. « 10-15 V Mini tipo S celda de carga/Sensor de tensión/transmisor de pesaje 1 kg 3 kg 5 kg 10 kg 20 kg 30 kg 50 kg » 2021 [online] Ningbo China [consulta: 10 de Febrero 2021]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/32870294892.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.75504ee52n9EQm&algo_pvid=294cbe59-c158-4df5-8e67-e88980c264fa&algo_expid=294cbe59-c158-4df5-8e67-e88980c264fa-30&btsid=0bb0623116224804596656820e0bfe&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [16] Owo Elec Store. «Motor paso a paso de caja de cambios planetaria Nema 23, relación 15:1 a 100:1, motor de reducción planetaria de 57BYG para máquina de tallado/grabado» 2021 [online]. China [consulta: 10 febrero 2021]. Disponible https://es.aliexpress.com/item/4001114594011.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.232f6281Q4DKZD&algo_pvid=8eae1eec-2264-492a-9ef1-801d60298c09&algo_expid=8eae1eec-2264-492a-9ef1-801d60298c09-0&btsid=0b0a556016224809651165359e9be3&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [17] Ooznest. «Placas de pórtico.» 2021 [online] England [consulta: 11 febrero 2021]. Disponible: <https://ooznest.co.uk/product-category/parts/mechanical-parts/gantry-plates/>
- [18] Tapcet « Nuevo 4080U, 250mm/300mm/350mm40, de 0mm/450mm, perfil de aluminio, tornillo de eje Z, juego de actuador lineal de corredera de mesa para enrutador CNC» 2021[online], China [consulta: 11 febrero 2021]. Disponible: https://es.aliexpress.com/item/4000311305388.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.10784c54ztvp1i&algo_pvid=29d7a076-7a87-4d59-b951-f45b81e2949a&algo_expid=29d7a076-7a87-4d59-b951-f45b81e2949a-26&btsid=0bb0622c16224945979464337e5108&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [19] Elegoo. «Conjunto Básico de Iniciación Compatible con Arduino IDE con Guías Tutorial en Español para UNO R3 Starter Kit» 2021 [online] China [consulta: 11 febrero 2021]. Disponible: https://www.amazon.es/ELEGOO-Conjunto-Iniciaci%C3%B3n-Arduino-Tutorial/dp/B06W2KF3PJ/ref=sr_1_2_sspa?adgrpid=81492558151&dchild=1&gclid=Cj0KCQjwktKFBhCkARIsAJeDT0hWwTGGzeyERsozfSSiCFhme_YBcvm-NI0v2O3g3luAP21X-m3XN8saAnM2EALw_wcB&hvadid=385708438941&hvdev=c&hvlocphy=9061036&hvnetw=g&hvqmt=b&hvrnd=13239682941007923887&hvtargid=kwd-299511200851&hydadcr=13840_1743607&keywords=arduino+amazon&qid=1622495125&smid=AZF7WYXU5ZANW&sr=8-2-spons&pssc=1&spLa=ZW5jcmlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzNVIYSU1USUkyQ0ZBJmVuY3J5cHRlZElkPUEwNjNjcXNzcxMUpDR1pROEJaSE9UVCZlbnNyeXB0ZWRBZEIkPUeWMDeyMTY0MjA5RTM0RUw1RU45WCZ3aWRnZXROYW1IPXNwX2F0ZiZhY3RpY2Y2pY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU=
-

-
- [20] Aupalasti Official Store « *Aupalasti TB6600 controlador de Motor paso a paso de actualización Nema17 Nema23 42/57/86 4.0A 0-42VDC para 3D impresora y máquina de grabado CNC*» 2021[online], China [consulta: 11 febrero 2021]. Disponible: https://es.aliexpress.com/item/1005002292229956.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.5791212bDtuZVf&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a556816224972401526403e4a1a&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_9.-
PLANIFICACIÓN TEMPORAL
- [21] All Electronics Mall « *Módulo electrónico ganso HX711 sensor de pesaje 24 módulo AD sensor de presión módulo AD/SCM,DIY preferred*» 2021[online], China [consulta: 12 febrero 2021]. Disponible: https://es.aliexpress.com/item/4000301962567.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.9f69adf9mqEt3&algo_pvid=8b72de86-b6c6-4a15-a4da-e9f2c53fac50&algo_expid=8b72de86-b6c6-4a15-a4da-e9f2c53fac50-8&btsid=0b0a556016224975456363127e9b11&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [22] Elegoo. «*Piezas de Cable DuPont, 40 Pines Macho-Hembra, 40 Pines Macho-Macho, 40 Pines Hembra-Hembra, Cables Puente para Placas Prototipo (Protoboard) para Arduino*» 2021 [online] China [consulta: 12 febrero 2021].Disponible: https://www.amazon.es/Macho-Hembra-Macho-Macho-Hembra-Hembra-Prototipo-Protoboard/dp/B01NGTXASZ/ref=sr_1_1_sspa?dchild=1&keywords=cable+dupont&qid=1622498652&sr=8-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEwWE1GRUxOWEJBU0Y5JmVuY3J5cHRlZElkPUEwMTM2NTAyMkdGMVFPMTUQIjWTSZlbnNyeXB0ZWRRBZEIkPUEwMzZmNDcxMzhQVkJWEk3RjUzMjZ3aWRnZXROZWYwI1PXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU=
- [23] Jorge Pozo Villar. Septiembre 2019. estudio y caracterización de materiales utilizados para la construcción de prótesis impresas mediante tecnología FDM. Trabajo Fin de Grado. Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Universidad Politécnica De Madrid Escuela Técnica Superior De Ingeniería y Diseño Industrial.
- [24] Alejandro Javier Del Medico Bravo. Julio, 2017. Propiedades mecánicas de componentes fabricados mediante modelado por deposición fundida. Universidad de la Laguna. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología Sección de Ingeniería Industrial. Trabajo de Fin de Grado.
- [25] Excel. Excel [software]. Versión 2016 diciembre 2020 [consulta: 4 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.office.com/?auth=2>
- [26] Taller Profesional [online], *Tipos de Alicates y Usos*: Disponible en: <https://www.tallerprofesional.com/tipos-alicates/>
- [27] Taller Profesional [online], *Tipos de Alicates y Usos*: Disponible en: <https://www.tallerprofesional.com/tipos-alicates/>
- [28] Gaspar Hermanos [online], *10 Rollos Cinta Aislante PVC Negro 10mx19mm*. Disponible en: <https://gasparhermanos.com/cintas-bridas/9800-10-rollos-cinta-aislante-pvc-negro-10mx19mm.html>
- [29] Leroy Merlin [online], *Papel de lija DEXTER con grano de 220*: Disponible en: <https://www.leroymerlin.es/fp/81886812/papel-de-lija-dexter-con-grano-de-220>

9.- PLANIFICACIÓN TEMPORAL

La culminación de un proyecto no puede entenderse sin la presencia de una planificación temporal en la que se justifiquen las tareas realizadas durante el mismo y su cronología. Es por eso que en este capítulo va a desarrollarse tanto la estructura de descomposición del proyecto (EDP) como el diagrama de Gantt.

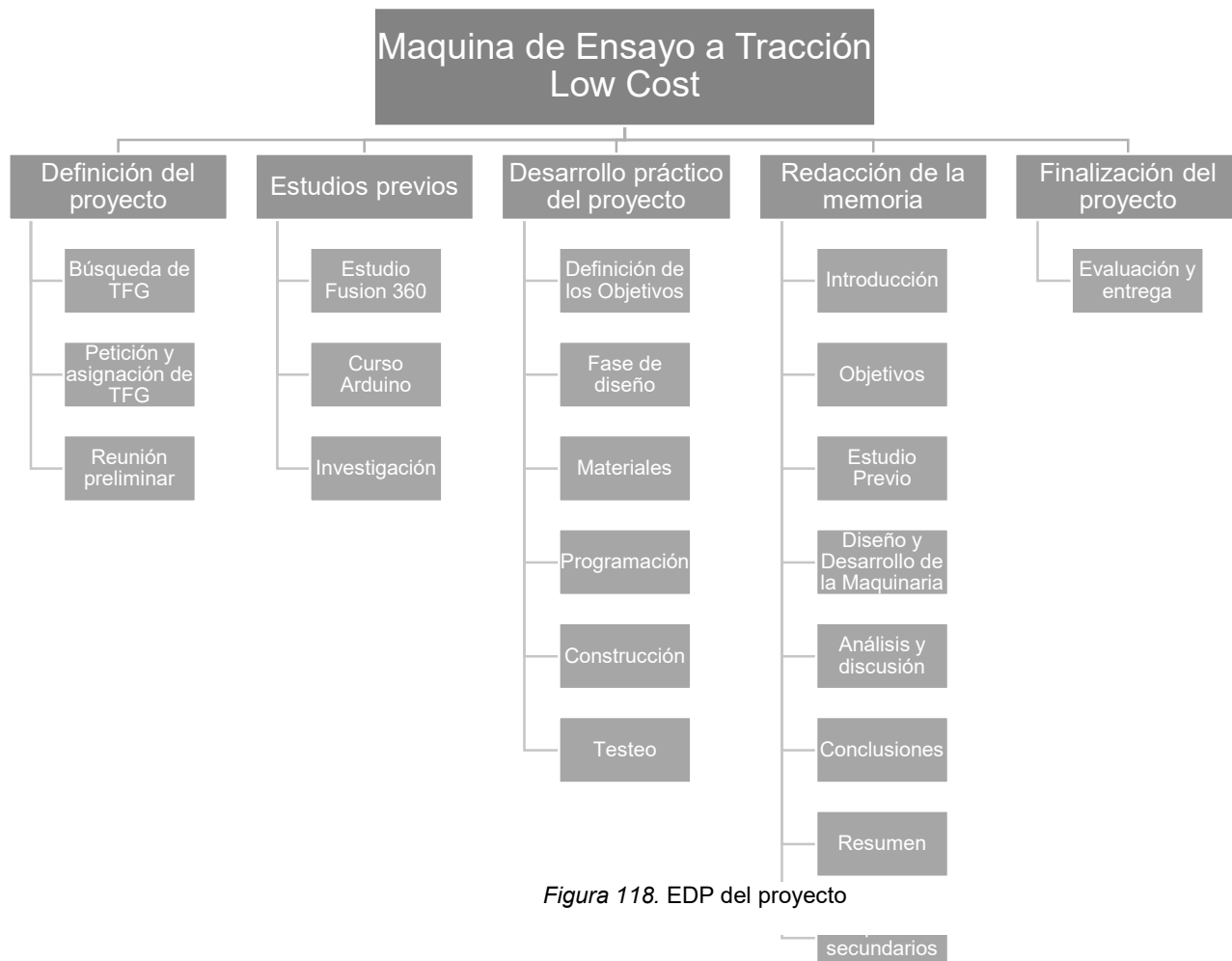
9.1.- ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL PROYECTO (EDP)

La EDP está compuesto por una estructura jerárquica de tareas que se realizan desde el inicio del proyecto hasta el final del mismo, el trabajo completo se divide en diferentes entregables, estos entregables se subdividen en bloques de tareas y sus ramas hasta llegar al nivel inferior. Paquetes de trabajo que pueden asignar tiempo, costos y recursos.

A continuación, se muestra la EDP del proyecto, pero lo primero a destacar es que por espacio y claridad se han optado por omitir las subtareas relacionadas con las fases de diseño, automatización y simulación, y estas tareas serán especificadas por Gantt en la figura.

9.2.- DIAGRAMA DE GANTT

El diagrama de Gantt es un diagrama de tiempos que permite programar y planificar las



diferentes tareas realizadas durante el proceso de desarrollo del proyecto, al disponer la secuencia de desarrollo en orden cronológico y mostrar su duración, es conveniente

monitorearla y controlarla. A continuación, se muestran todas las tareas realizadas desde el inicio hasta la finalización del proyecto y el diagrama de Gantt correspondiente.

Definición del proyecto	5 days	Tue 15/12/20	Mon 21/12/20
Búsqueda del TFG	2 days	Tue 15/12/20	Thu 17/12/20
Petición y asignación del TFG	2 days	Thu 17/12/20	Sun 20/12/20
Reunión preliminar	1 day	Sun 20/12/20	Mon 21/12/20
Estudios previos	60 days	Mon 21/12/20	Thu 11/03/21
Estudio Fusion 360	30 days	Mon 21/12/20	Sat 30/01/21
Curso Arduino	20 days	Mon 21/12/20	Sun 17/01/21
Investigación Ensayo de tracción	60 days	Mon 21/12/20	Thu 11/03/21
Investigación Impresión 3D	20 days	Sat 30/01/21	Fri 26/02/21
Desarrollo práctico del proyecto	58 days	Thu 11/03/21	Thu 27/05/21
Definición de los objetivos	10 days	Thu 11/03/21	Wed 24/03/21
Objetivos	10 days	Thu 11/03/21	Wed 24/03/21
Fase de diseño	20 days	Thu 25/03/21	Tue 20/04/21
Diseño 3D de la pieza en conjunto	20 days	Thu 25/03/21	Tue 20/04/21
Materiales	12 days	Thu 11/03/21	Sat 27/03/21
Identificación de materiales a comprar	10 days	Thu 11/03/21	Wed 24/03/21
Compra de los materiales	1 day	Thu 25/03/21	Fri 26/03/21
Recogida de los materiales	1 day	Fri 26/03/21	Sat 27/03/21
Programación	20 days	Tue 20/04/21	Mon 17/05/21
Programación en Arduino	15 days	Tue 20/04/21	Mon 10/05/21
Compilación y ajuste del código	3 days	Mon 10/05/21	Fri 14/05/21
Diseño Excel para el cálculo del alargamiento	2 days	Fri 14/05/21	Mon 17/05/21
Construcción	6 days	Fri 14/05/21	Sat 22/05/21
Ensamblaje de las piezas	5 days	Fri 14/05/21	Fri 21/05/21
Prueba de funcionamiento	1 day	Fri 21/05/21	Sat 22/05/21
Testeo	4 days	Sat 22/05/21	Thu 27/05/21
Ensayo	2 days	Sat 22/05/21	Tue 25/05/21
Análisis de resultados	2 days	Tue 25/05/21	Thu 27/05/21
Redacción de la Memoria	47 days	Mon 10/05/21	Mon 12/07/21
Introducción	8 days	Mon 10/05/21	Fri 21/05/21
Objetivos	2 days	Fri 21/05/21	Sun 23/05/21
Estudio Previo	8 days	Mon 24/05/21	Thu 03/06/21
Diseño y Desarrollo de la Máquina	10 days	Thu 03/06/21	Wed 16/06/21
Análisis y Discusión	7 days	Thu 17/06/21	Sat 26/06/21
Conclusiones	10 days	Sat 26/06/21	Fri 09/07/21
Resumen	2 days	Fri 09/07/21	Mon 12/07/21
Finalización del Proyecto	5 days	Mon 12/07/21	Sun 18/07/21
Evaluación del tutor y entrega en indusnet	5 days	Mon 12/07/21	Sun 18/07/21

Tabla 4: Programación del proyecto

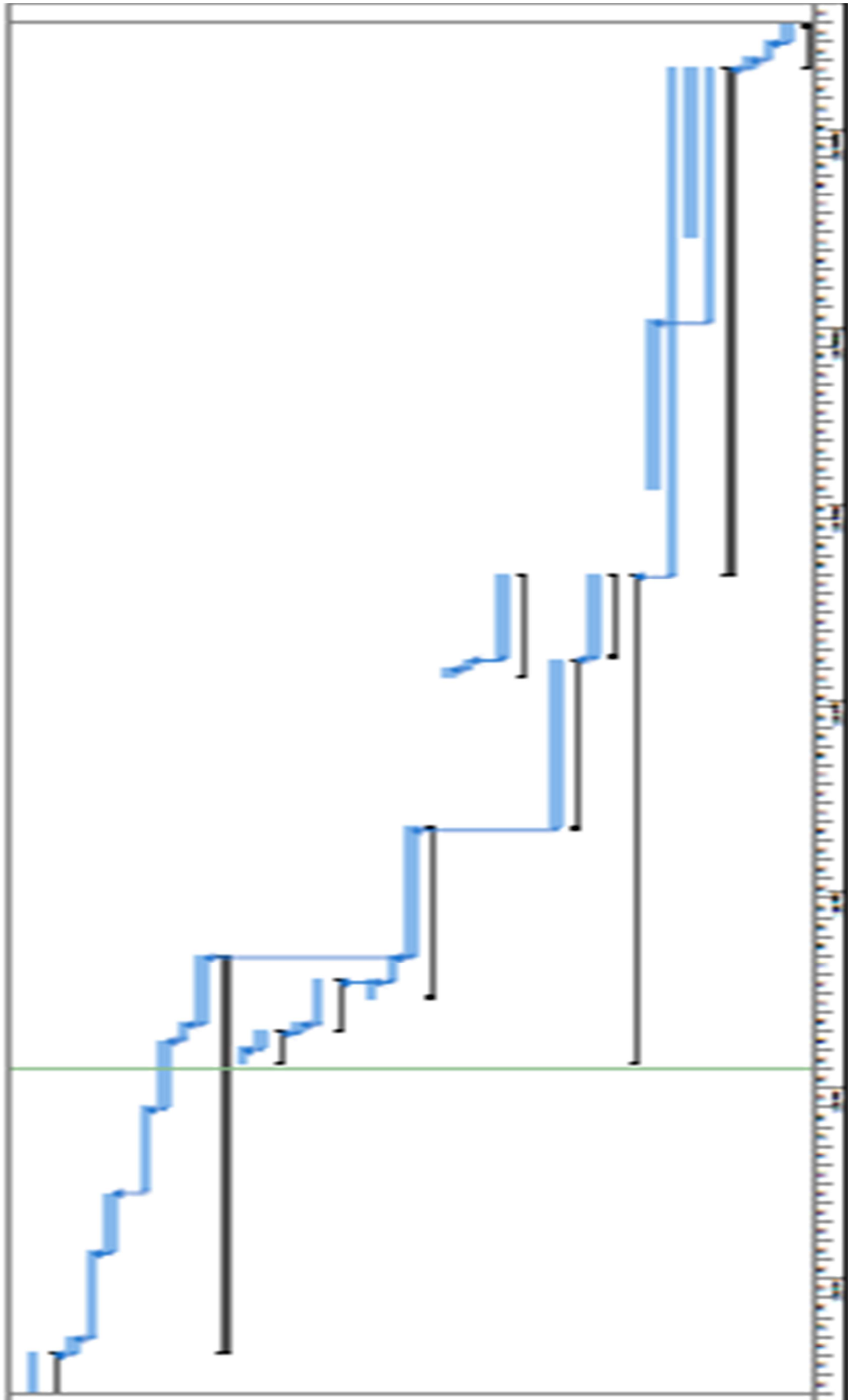
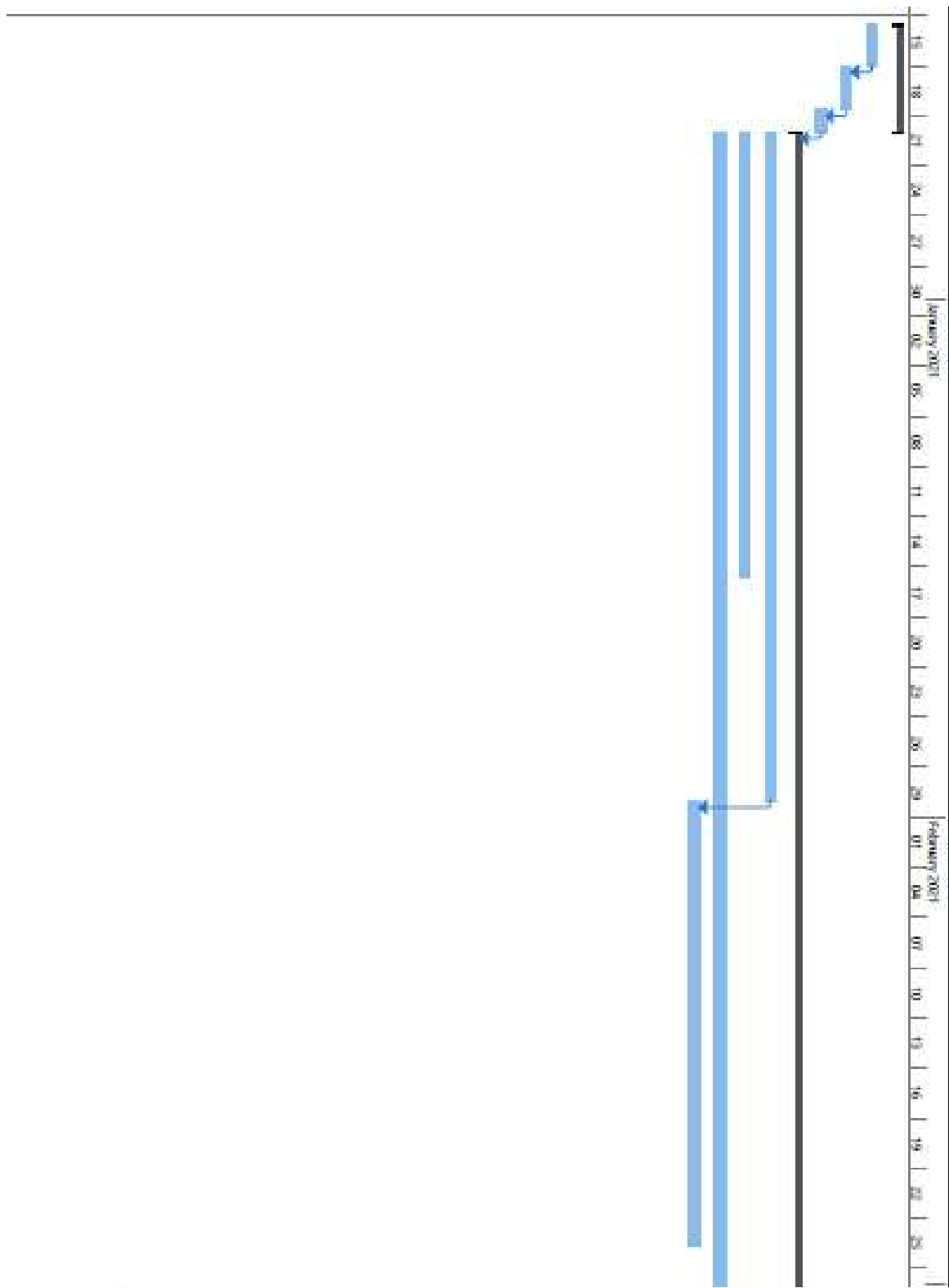
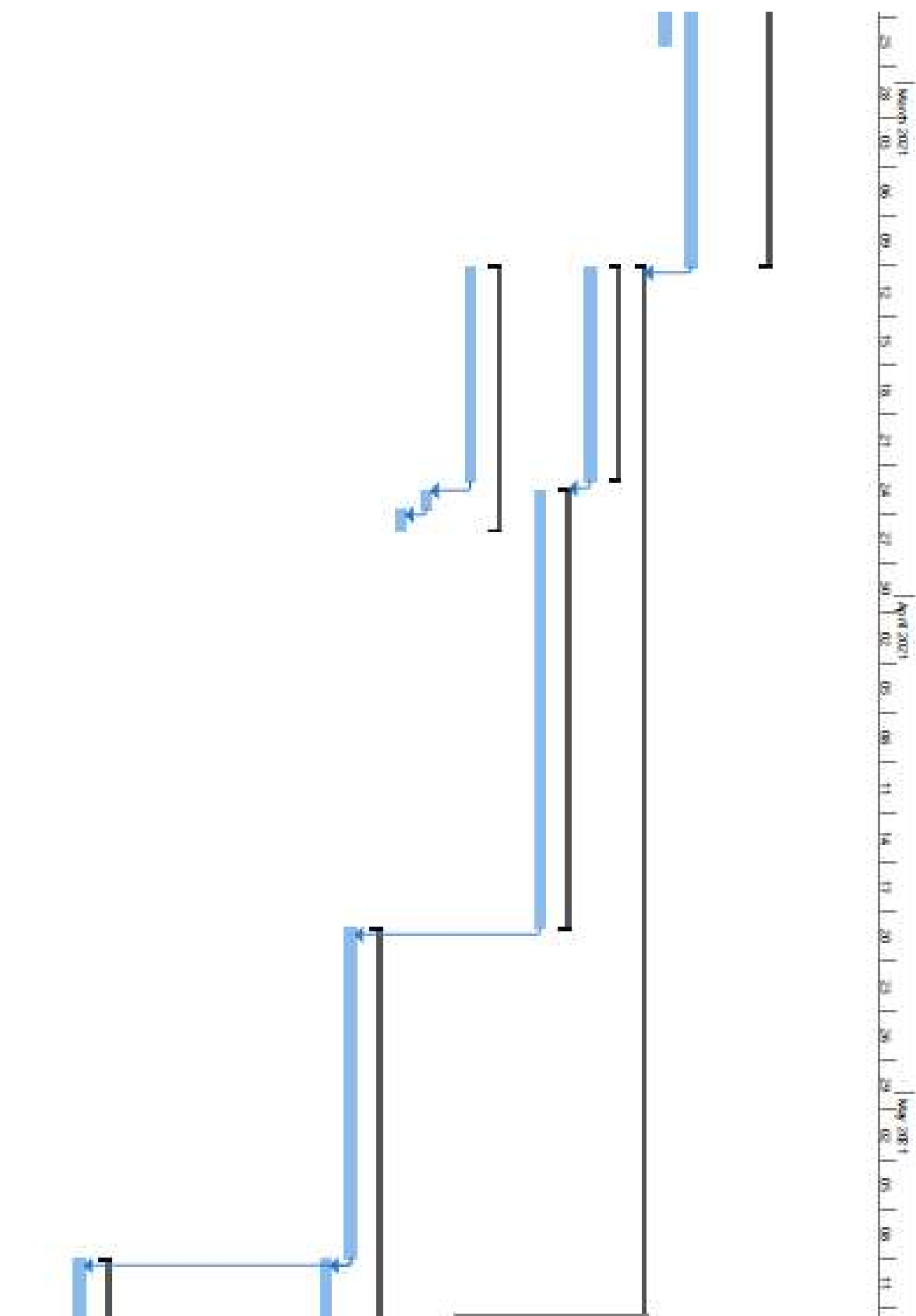


Figura 119: Visión global Del diagrama de Gantt

A continuación, se muestra una imagen ampliada del diagrama de Gantt de cara a tener una visión más exacta del mismo.





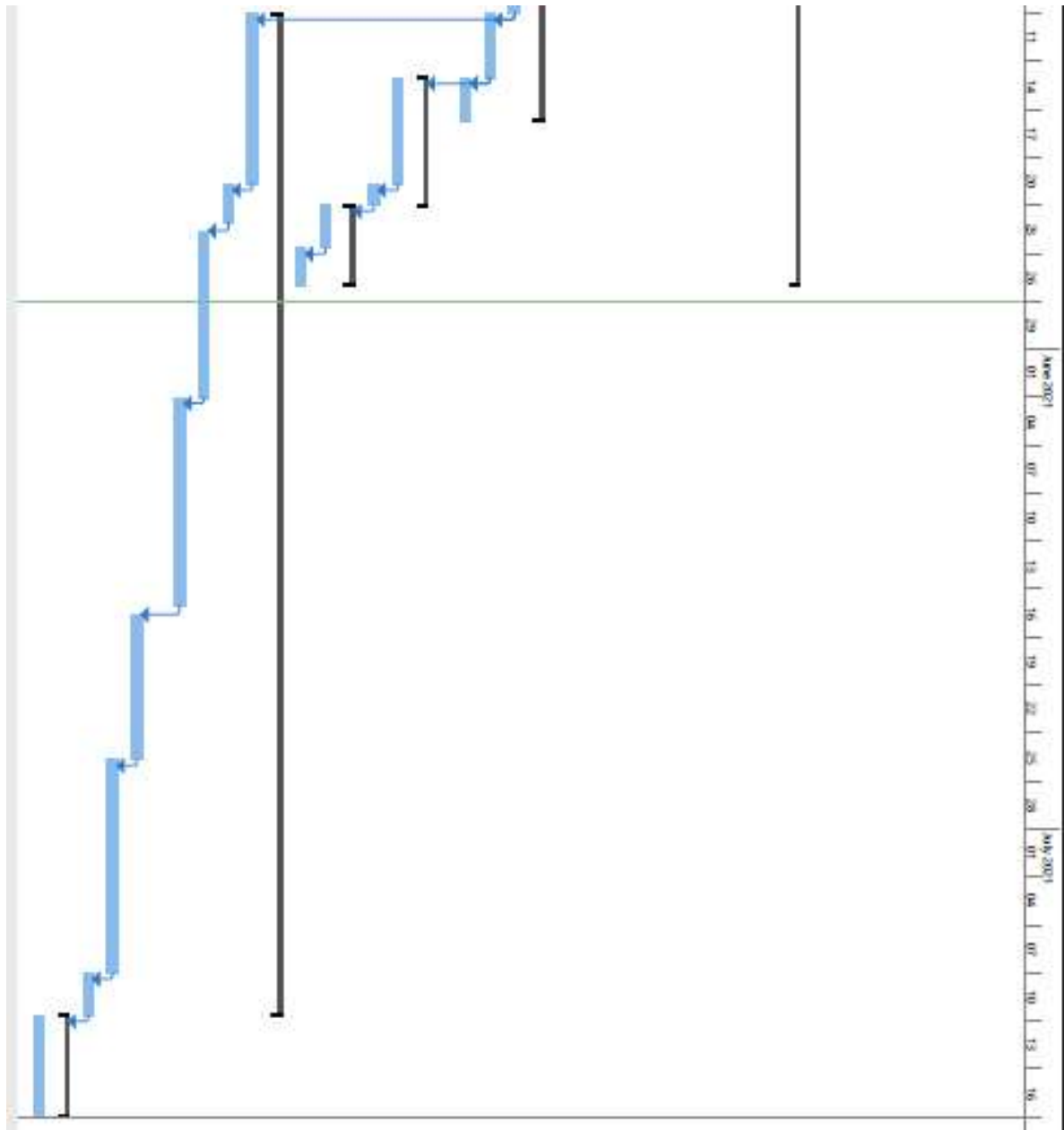


Figura 120: Diagrama de Gantt del proyecto

10.- PRESUPUESTO

Una vez se sabe cómo se van a distribuir las diferentes tareas que componen el proyecto, es el momento de analizar qué recursos son necesarios (materiales, componentes y personas) y los costes que estos conllevan. Para completar este análisis de costes es necesario realizar un presupuesto, que permitirá tener una idea del valor económico que tendría que estar disponible en el mercado.

En primer lugar, se van a tratar los diferentes recursos materiales que se han utilizado a lo largo de todo el proyecto:

- Ordenador: hardware destinado al diseño y programación de la máquina, para poder analizar su coste asociado se ha decidido aplicar una amortización lineal del 20% (periodo de vida útil de 5 años).
- Impresora 3D: Hardware requerido para poder desarrollar las piezas planteadas, su coste se analizará de acuerdo con su amortización lineal del 20% y a su vida útil de 5 años.
- Licencias de programas informáticos: licencias anuales que permiten trabajar con los programas requeridos, al igual que para el caso del ordenador se va a aplicar una amortización del tipo lineal.

Concepto	Unidades(u)	Periodo de amortización(meses)	Periodo de utilización (meses)	Precio(l)	Importe(l)
Ordenador Asus Vivobook	1	60	14	860,00 l	200,67 l
Impresora 3D	1	60	2	300,00 l	10,00 l
Licencia Fusion 360	1	12	7	503,00 l	293,42 l
Licencia Office 365	1	12	2	169,00 l	28,17 l
Coste total de recursos materiales					532,25 l

Tabla 5. Coste recursos materiales

En siguiente lugar, toca discutir sobre los salarios asociados a los recursos humanos participantes, asignando el papel de ingeniero junior al estudiante encargado de realizar el proyecto y de ingeniero senior al profesor encargado de la tutela. La obtención del salario del ingeniero junior y senior tiene como referencia la media española de ambos puestos en el sector industrial. En cuanto al trabajo del ingeniero junior se incluye la aplicación práctica y redacción de la memoria, y del ingeniero senior el tutelaje, guiado e investigación.

Concepto	Horas de trabajo (h)	Precio unitario (€/h)	Importe(€)
Ingeniero Junior	400	18	7.200,00 €
Ingeniera Senior	25	40	1.000,00 €
Ingeniera Senior	25	40	1.000,00 €
Coste total de recursos humanos			9.200,00 €

Tabla 6. Coste recursos humanos

A continuación, se presentarán los costes destinados a la compra de material mecánico y electrónico, que permitirán la construcción de la máquina de ensayo a tracción.

Componentes mecánicos	Coste de producto (€)	Coste de envío (€)	Lotes	Precio total (€)
C-Beam linear actuator	29,28 €	- €	1	29,28 €
C-Beam gantry plate set	14,16 €	- €	1	14,16 €
C-Beam gantry plate	5,45 €	1,78 €	1	7,23 €
Chisel sharpener (2 sets)	8,20 €	- €	2	16,40 €
Tee nuts M5 (20 piezas)	0,85 €	1,53 €	1	2,38 €
Slot washer 15x5x1.2 (50 piezas)	2,72 €	- €	1	2,72 €
Low profile screw M5x12 (20 piezas)	0,23 €	0,67 €	2	1,80 €
Low profile screw M5x55 (2 piezas)	1,65 €	0,86 €	1	2,51 €
aluminium spacer M5x40 (2 piezas)	1,07 €	1,23 €	1	2,30 €
Shaft collar 10 mm (2 sets)	0,74 €	0,41 €	2	2,30 €
Nylon insert lock nut M5 (2 piezas)	1,49 €	0,56 €	1	2,05 €
Aluminium coupler	9,45 €	- €	1	9,45 €
Costes mecánicos				92,58 €

Tabla 7: Costes Mecánicos

Componentes electrónicos	Coste de producto (€)	Coste de envío (€)	Lotes	Precio total (€)
Nema23 Stepper Motor 23HS5628 w	34,97 €	11,36 €	1	46,33 €
Stepper motor driver	5,20 €	- €	1	5,20 €
Miniature load cell (10 kg)	26,51 €	2,60 €	1	29,11 €
Load cell amplifier	0,54 €	1,22 €	1	1,76 €
Arduino Nano controller + USB cable	2,43 €	0,83 €	1	3,26 €
Nano v3.0 I/O Extension Board Shield	2,79 €	- €	1	2,79 €
Mini Bread board	2,35 €	- €	1	2,35 €
Dupont cables 30 cm	2,17 €	2,27 €	1	4,44 €
Costes electrónicos				95,24 €

Tabla 8: Costes electrónicos

Por último, una vez se dispone de los costes asociados a los recursos (materiales, cursos y humanos), resulta posible obtener el precio total que conllevaría la realización del proyecto, teniendo que aplicar los impuestos oportunos.

Concepto	Unidades(u)
Coste total de recursos materiales	532,25 €
Coste total de recursos humanos	9.200,00 €
Costes mecánicos	92,58 €
Costes electrónicos	95,24 €
Total	9.920,07 €

Tabla 9: Presupuesto Total

11.- ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Máquina de Ensayo de Tracción [6]	16
Figura 2: Fuerza – Alargamiento []	16
Figura 3: Curva de tracción típica hasta el punto de rotura. La resistencia a la tracción se representada con M [7].....	17
Figura 4: Relación Tensión-Deformación [8].....	18
Figura 5: Curva tracción metal tipo y acero con discontinuidad de fluencia.[8]	19
Figura 6: Relación Tensión-Deformación [8].....	19
Figura 7: Relación Tensión-Deformación para el cálculo de la resiliencia [8].....	20
Figura 8 Gráfico Ensayo de Tracción Aceros [8].....	21
Figura 9 Fractura Dúctil [9]	22
Figura 10 Fractura Frágil [9]	22
Figura 11 Tipos de probetas empleadas en los ensayos de tracción de plásticos M-I y M-III respectivamente (de arriba abajo)	23
Figura 12 Clases de exactitud para la medición del alargamiento	26
Figura 13: Diseño Máquina De Ensayo A Tracción	32
Figura 14: Plano conjunto.....	33
Figura 15: Pieza Sujeción x 2	35
Figura 16: Medida de la pieza de sujeción en mm Escala 1:2	36
Figura 17: Pieza de sujeción vista superior	36
Figura 18: Mordaza x 4.....	37
Figura 19: Medidas de las Mordazas en mm Escala 1:1.....	37
Figura 20: Mordaza + Sujeción.....	38
Figura 21: Soporte Motor.....	38
Figura 22: Medidas del soporte del motor en mm Escala 1:4	39
Figura 23: Soporte del motor Impreso	39
Figura 24: DYLY-106-Sensor de fuerza de tracción, célula de carga tipo rayo S, tamaño Micro de compresión y tensión, 50 KG.....	40
Figura 25: Nema23 23HS5628-PG.....	41
Figura 26: Placa de pórtico con viga en c + kit de mini ruedas delrin.....	41
Figura 27: Carril de revestimiento de Aluminio	41
Figura 28: Arduino Uno	42
Figura 29: Stepper Motor Driver	42
Figura 30: HX711	43
Figura 31: Cables Dupont.....	43
Figura 32: Anilla plana.....	44
Figura 32.5: Tuerca de Ranura en T.....	44
Figura 34: Tornillo M5	44
Figura 35: Tornillo M5	45
Figura 36: Tuerca M5	45
Figura 37: Cilindro de protección:	46
Figura 38: Anilla de Ajuste.....	46
Figura 39: Acoplamiento motor paso a paso	47
Figura 40: Probeta 1A y 1B para Ensayo a Tracción.	48
Figura 41: Medida Probeta	49
Figura 42: Probeta 1A	49
Figura 43: Probeta 5A y 5B para Ensayo a Tracción	50
Figura 44: Medida Probeta	50
Figura 45: Probeta 5A	50
Figura 46 Esquema circuito.....	52
Figura 47: Circuito de la máquina de ensayo a tracción	53
Figura 48: Ajuste del microcontrolador	58
Figura 49: Ejemplo del uso de Excel en la experimentación	59

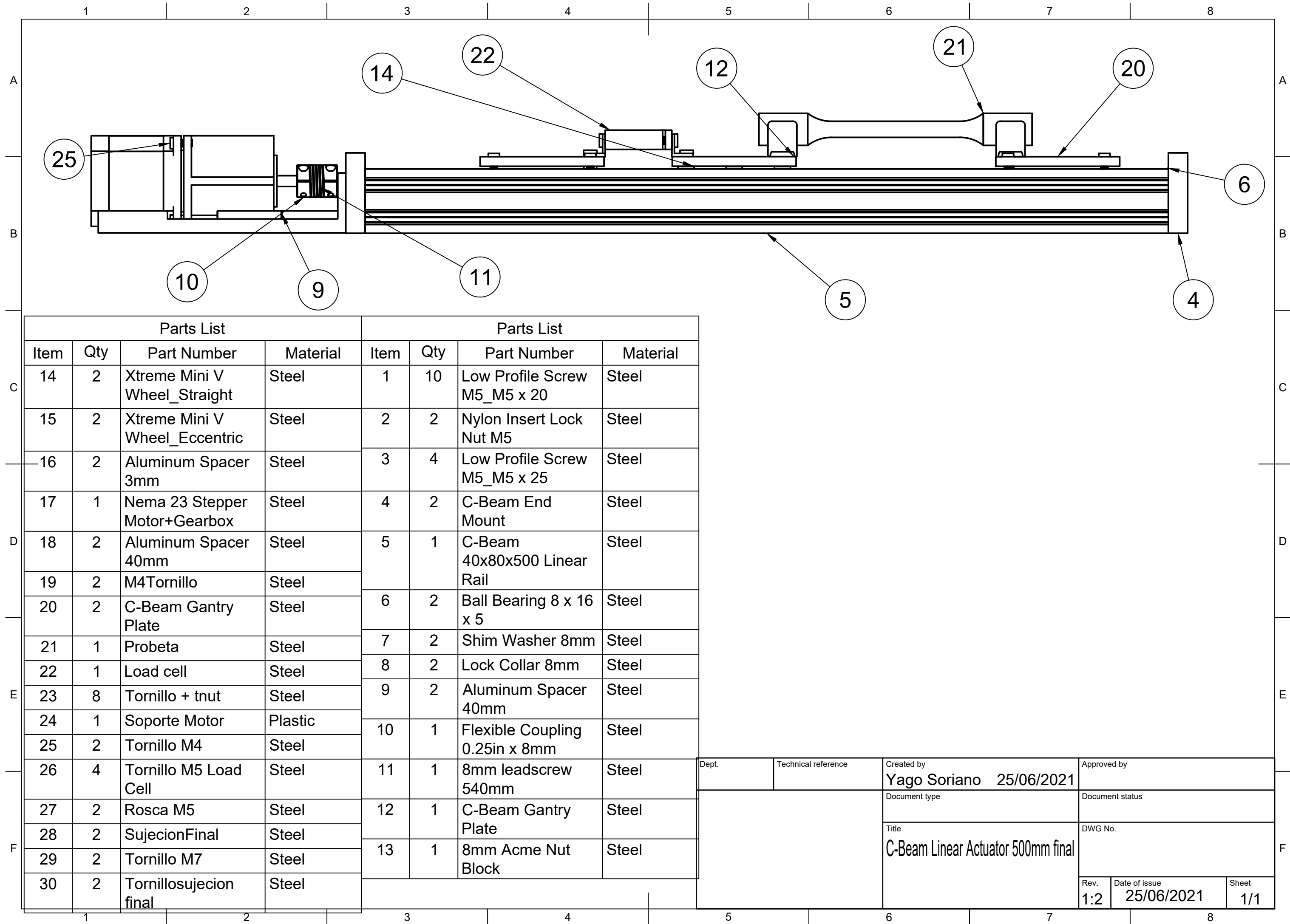
Figura 50: Cálculo parámetros	60
Figura 51: Enganche al controlador	61
Figura 52: Empalme célula de carga y Arduino Uno	61
Figura 53: Enganche al Amplificador HX711	62
Figura 54: Fuente de Voltaje	62
Figura 55: Enganche Arduino Uno	63
Figura 56: Conjunto circuito	63
Figura 57: Fijación de las Placas	64
Figura 58: Fijación de la Placa Móvil al Husillo	64
Figura 59: Fijación de la Célula de Carga	65
Figura 60: Fijación de la Célula de Carga	65
Figura 61: Vista Conjunto Motor	66
Figura 62: Acoplamiento Motor Paso a Paso y Actuador	66
Figura 62.5: Soporte del Motor	66
Figura 63: Anilla de Fijación	67
Figura 64: Mordaza con lija	68
Figura 65: Acoplamiento de la mordaza	68
Figura 66: Anclaje pieza de sujeción	69
Figura 67: Piezas de Sujeción	69
Figura 68: Máquina construida	70
Figura 69: Dremel 135W	71
Figura 70: Alicata punta redonda	71
Figura 71: Alicata de punta	72
Figura 72: Lima metálica de grano fino	72
Figura 73: Tornillo punta en cruz	73
Figura 74: Destornillador punta plana	73
Figura 75: Llave Allen en L M5	73
Figura 76: Llave Allen en L M3	74
Figura 77: Cinta aislante [28]	74
Figura 78: Pegamento Epoxi B-7000	75
Figura 79: Papel de lija grano fino [29]	75
Figura 80: Apertura monitor serial	76
Figura 81: Subir archivo	77
Figura 82: Inicialización	77
Figura 83: Tarado	78
Figura 84: Comienzo de la prueba	79
Figura 85: Fin de la prueba	79
Figura 86: Cambio de sentido a derechas	80
Figura 87: Cambio de sentido a izquierdas	80
Figura 88: Introducir datos en Excel	81
Figura 89: Ajustar el formato de dato	81
Figura 90: Cálculo del alargamiento y de la fuerza máxima	82
Figura 91: Selección de probeta	82
Figura 92: Parámetros de la probeta	82
Figura 93: Características del ensayo	83
Figura 94: Colocación de la probeta 5A	84
Figura 95: Rotura de la probeta	85
Figura 96: Gráfica Masa-Tiempo	85
Figura 97: Parámetros del Ensayo	86
Figura 98: Diseño de la Mordaza	88
Figura 99: Mordaza con lija	88
Figura 100: Acoplamiento de la mordaza	89
Figura 101: Rotura de la Mordaza	89
Figura 102: Diseño Inicial de la Pieza de Sujeción	90
Figura 103: Fallo en la impresión de la Pieza de Sujeción inicial	90

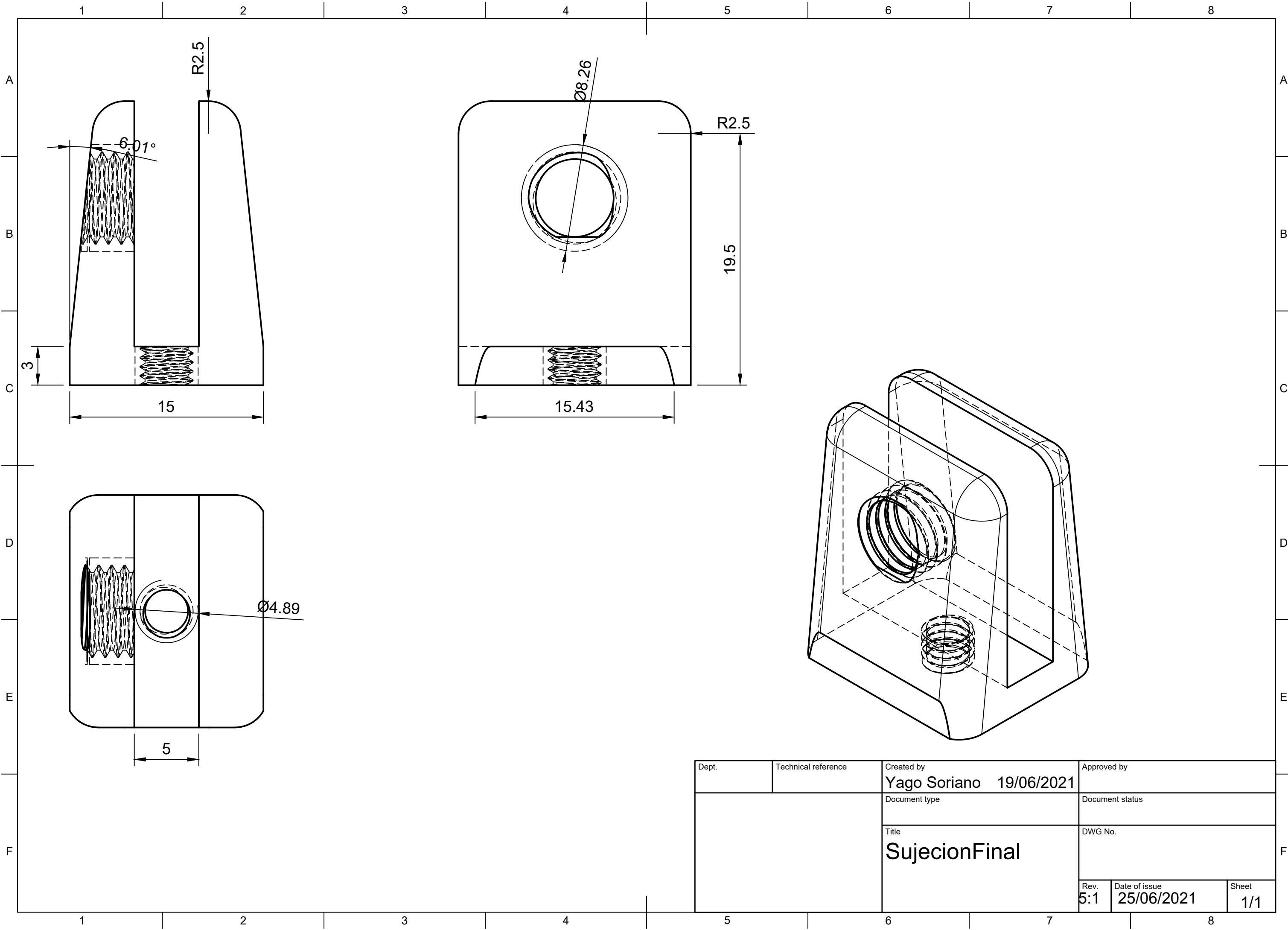
Figura 104: Segundo diseño de la pieza de Sujeción	91
Figura 105: Diseño de la pieza de Sujeción segunda	91
Figura 106: Impresión de la pieza de Sujeción, segundo modelo	92
Figura 107: Anclaje pieza de Sujeción.....	92
Figura 108: Anclaje a placa Gantry.....	93
Figura 109: Colocación de las mordazas en la pieza de sujeción.....	93
Figura 110: Sujeción de la probeta	93
Figura 111: Colocación de la probeta 1A.....	94
Figura 112: Rotura de la pieza de Sujeción impresa	95
Figura 113: Plano conjunto Diseño Fallido	96
Figura 114: Fractura pieza 1A	99
Figura 115: Fractura pieza 5A	99
Figura 116: Fractura pieza 5A	99
Figura 117: Sección Probeta 1A.....	100
Figura 118: Sección Probeta 5A.....	100
Figura 119. EDP del proyecto.....	110
Figura 120: Visión global Del diagrama de Gantt.....	112
Figura 121: Diagrama de Gantt del proyecto	115
Tabla 1: Propiedades PLA [23].....	48
Tabla 2: Ensayos Probetas 5A	98
Tabla 3: Ensayos Probetas 1A	98
Tabla 4: Programación del proyecto	111
Tabla 5. Coste recursos materiales	116
Tabla 6. Coste recursos humanos.....	116
Tabla 7: Costes Mecánicos	117
Tabla 8: Costes electrónicos	117
Tabla 9: Presupuesto Total	117

ANEXO I – PLANOS CONJUNTO Y DESPIECE DE PIEZAS DISEÑADAS

A continuación, se van a mostrar los distintos planos requeridos para el desarrollo de esta práctica. El orden será el siguiente:

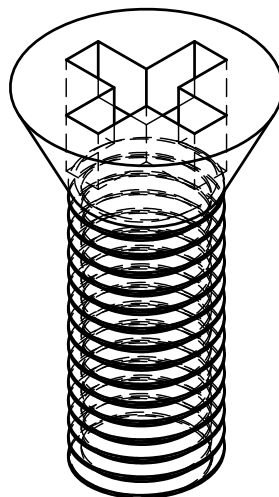
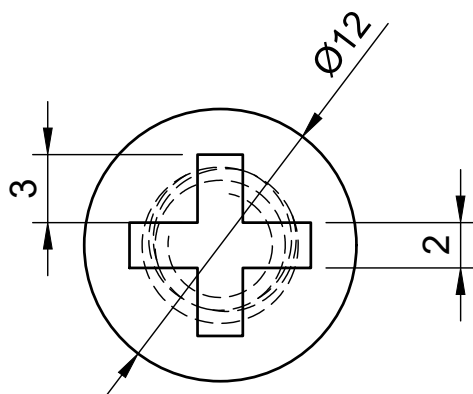
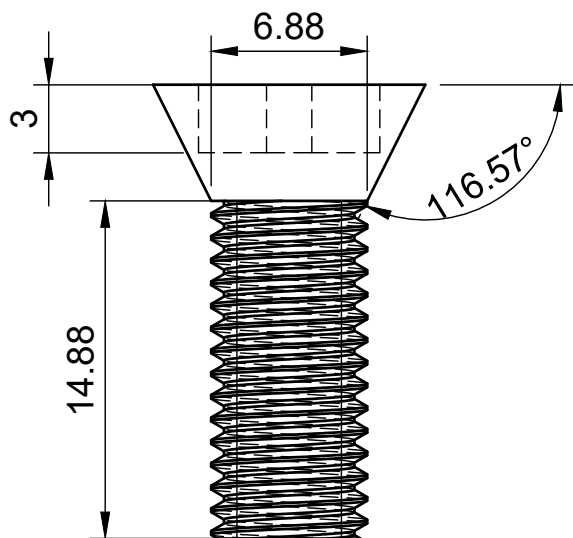
1. Plano conjunto oficial: C-Beam Linear Actuator 500mm final.
2. Pieza de sujeción final: Sujeción Final.
3. Mordaza: Tornillo M7.
4. Soporte Motor.
5. Plano conjunto fallido.
6. Sujeción fallida.
7. Mordaza fallida.



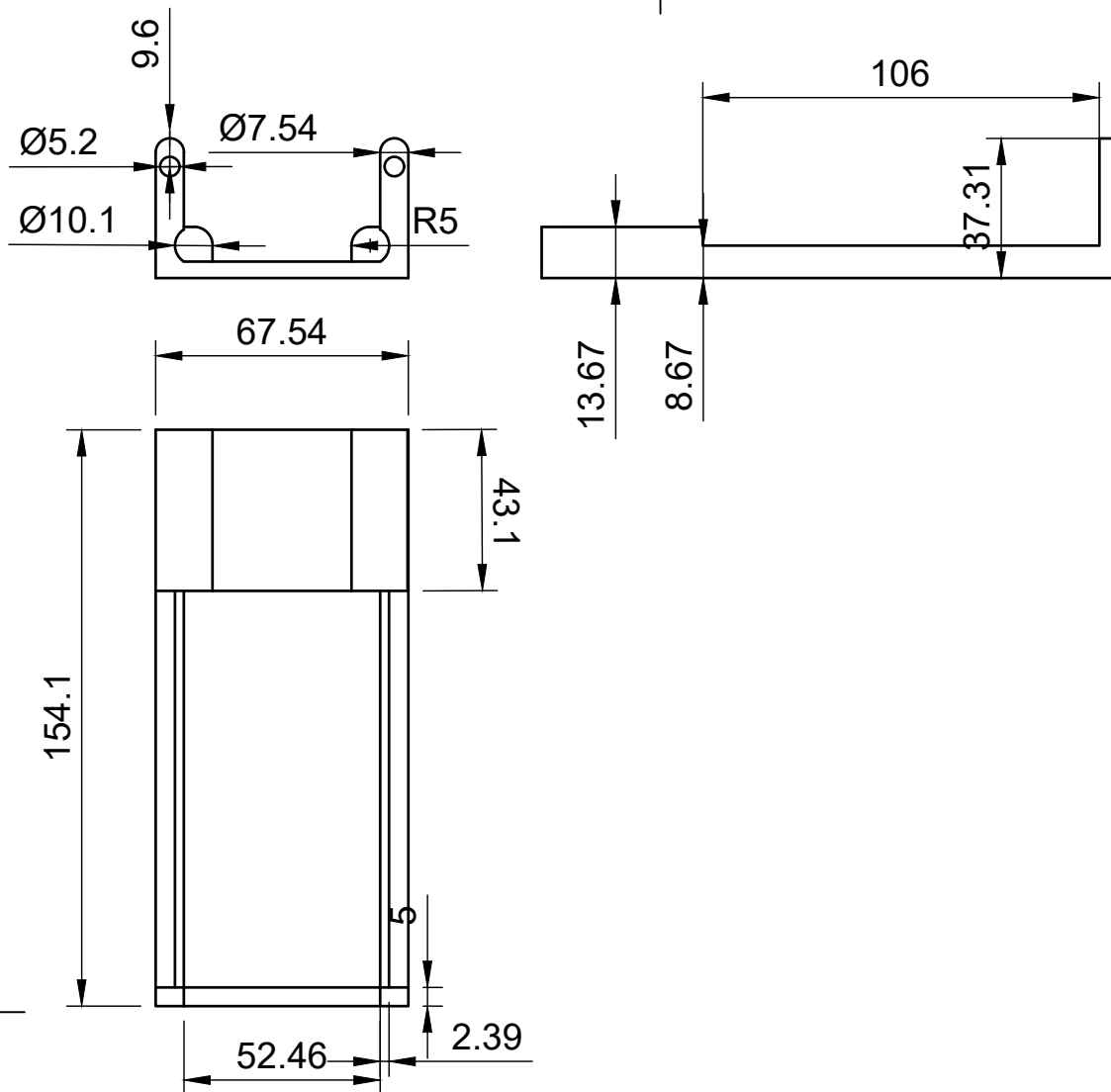


1	2	3	4	5	6	7	8
A							
B							
C							
D							
E							
F							
1	2	3	4	5	6	7	8

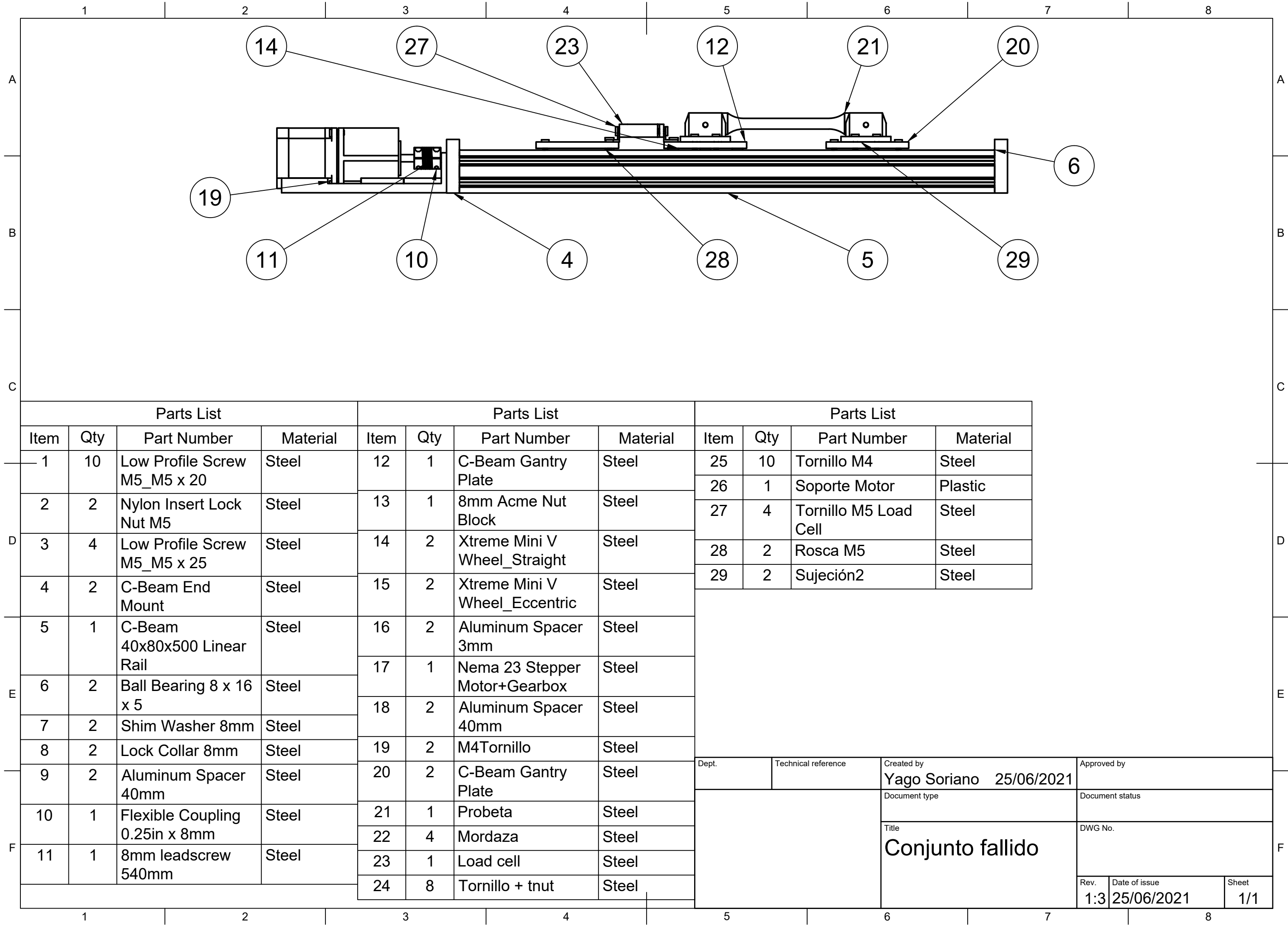
Dept.	Technical reference	Created by Yago Soriano 19/06/2021	Approved by
		Document type	Document status
		Title SujecionFinal	DWG No.
		Rev. 5:1	Date of issue 25/06/2021
			Sheet 1/1

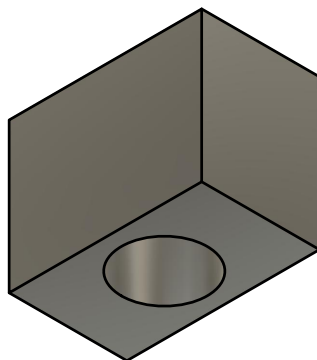
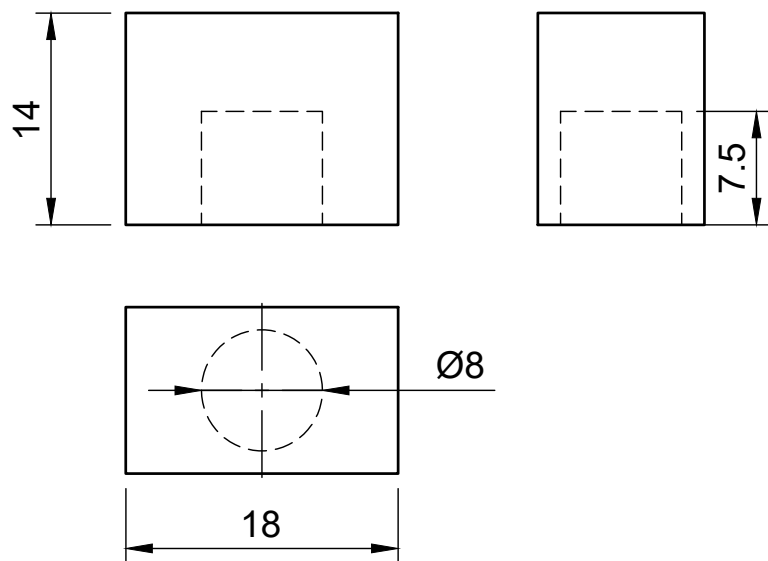


Dept.	Technical reference	Created by Yago Soriano 25/06/2021	Approved by		
		Document type	Document status		
		Title Tornillo M7	DWG No.		
			Rev. 3:1	Date of issue 25/06/2021	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Yago Soriano 30/05/2021	Approved by		
		Document type	Document status		
		Title Soporte Motor	DWG No.		
			Rev. 1:2	Date of issue 25/06/2021	Sheet 1/1





Dept.	Technical reference	Created by Yago Soriano 30/05/2021	Approved by		
		Document type	Document status		
		Title Mordaza fallida	DWG No.		
			Rev. 1:1	Date of issue 25/06/2021	Sheet 1/1