



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO PARA ENSAYOS DE IMPACTO EN POLÍMEROS Y MATERIALES COMPUESTOS

Autor: Miguel Adolfo García López-Cano

Director: Juan Carlos del Real Romero

Madrid

Julio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **Diseño y fabricación de un equipo para ensayos de impacto en polímeros y materiales compuestos**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 4º de grado es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Miguel Adolfo García López-Cano

Fecha: 30/06/20



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Juan Carlos del Real Romero

Fecha: 13/ 7 / 2020



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO PARA ENSAYOS DE POLÍMEROS Y MATERIALES COMPUESTOS

Autor: Miguel Adolfo García López-Cano

Director: Juan Carlos del Real Romero

Madrid

Julio de 2020

A mis padres por ser mi guía en la vida

2020

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO PARA ENSAYOS DE POLÍMEROS Y MATERIALES COMPUESTOS

Autor: García López-Cano, Miguel Adolfo

Director: Real Romero, Juan Carlos del

Entidad colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente proyecto se diseña un equipo de ensayos que permite ensayar materiales de dos formas distintas. Pueden ensayarse polímeros y materiales compuestos por impacto directo o adhesivos poliméricos para uniones metálicas por medio de arrastre de cuña.

Palabras clave: ensayos, impacto, materiales

Introducción

Durante los últimos años los polímeros y materiales compuestos han ganado cierta importancia en el mundo de la industria. Recientemente se busca el diseño y la fabricación de productos más ligeros, más eficientes y más ecológicos. Los polímeros y los materiales compuestos se han convertido en una solución más que viable para solventar estos problemas. Especialmente, el uso de estos materiales ha aumentado en las industrias automovilísticas y aeronáuticas, ya que se buscan poder desarrollar medios de transporte más ligeros y, por lo tanto, más rápidos y más eficientes en términos de consumo de combustible.

Además de la industria automovilística y aeronáutica, en muchas ocasiones los materiales compuestos y los polímeros son utilizados en el mundo deportivo. Botas de esquí, recubrimientos, espinilleras y demás productos son fabricados con polímeros y materiales compuestos.

Es preciso, por tanto, disponer de ciertos equipos que puedan ensayar las propiedades de estos materiales a impacto. La dinámica de impacto es esencial en el mundo automovilístico y aeronáutico, para poder garantizar la seguridad de los ocupantes del transporte. Para ello, se ensayan los materiales con el fin de estudiar sus propiedades mecánicas y determinar si estos materiales son válidos para la función que se requiere. Por otro lado, en el mundo deportivo, también es de gran interés ensayar los materiales a impacto, con el fin de determinar si son válidas sus propiedades mecánicas para desempeñar la función en cuestión. En muchas ocasiones, las espinilleras se fabrican con fibra de carbono, lo suficientemente ligera pero resistente para soportar el impacto debido a una acción durante un encuentro deportivo. Las botas de esquí deben de ser lo suficientemente ligeras como para permitir la rapidez en el movimiento, pero a su vez resistentes para proteger el pie en caso de impacto.

Además de ensayar los materiales poliméricos y compuestos a impacto, se dispone también de dispositivos para ensayar adhesivos poliméricos en uniones metálicas. En algunas ocasiones es necesario unir metales por medio de adhesivo, bien porque el taladrado es inviable, bien porque la soldadura no puede realizarse, ya sea por la

composición de los metales u otros motivos, o bien porque resulte más económico. Actualmente, la industria de los adhesivos se encuentra en crecimiento, ya que los adhesivos resultan viables en muchas ocasiones y suelen ser económicos frente a otros métodos de unión.

Los materiales compuestos, tales como la fibra de vidrio o fibra de carbono y los polímeros, gozan de buenas propiedades mecánicas, llegando incluso a poder reemplazar en ciertas funciones a los metales. Bien es cierto que la industria se encuentra en continuo progreso y desarrollo, por lo que también se buscan materiales los cuales sean más respetuosos con el medio ambiente. En ciertas ocasiones, se opera en la industria con materiales poliméricos biodegradables, tales como el almidón, la celulosa, etc...

Por otro lado, teniendo en cuenta aspectos más económicos, los polímeros y materiales compuestos pueden resultar, en muchas ocasiones, más económicos que los materiales convencionales. Por tanto, si los polímeros y materiales compuestos, en ciertos productos, pueden sustituir materiales tales como los metales o las maderas en términos de propiedades mecánicas, puede resultar viable y económica esta solución.

He aquí el gran interés en desarrollar un equipo que permita poder ensayar polímeros y materiales compuestos, con el fin de poder estudiar sus propiedades mecánicas. El equipo podrá ser de gran utilidad en un futuro para realizar numerosos estudios en relación con estos materiales.

Definición del proyecto

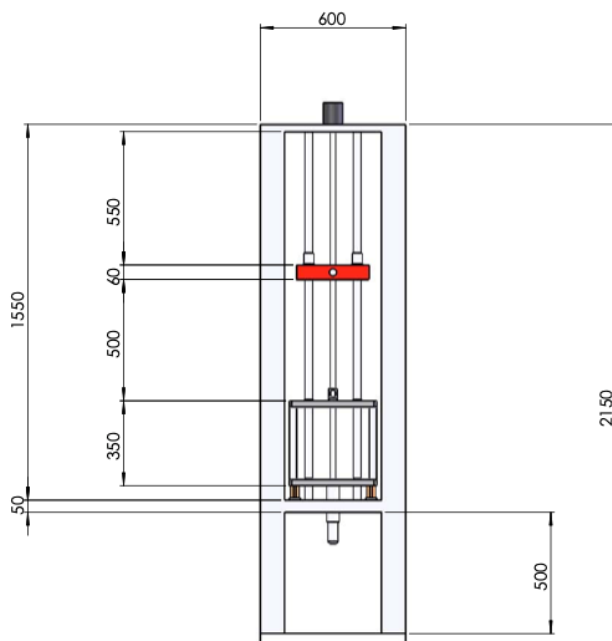
El diseño del equipo contempla una gran variedad de sub-equipos y dispositivos que han de ser diseñados para poder conformar el mismo. Se realizan numerosos cálculos, relacionados con variables de ensayo y alturas, con el fin de poder diseñar las piezas con las dimensiones correctas.

El equipo diseñado permite realizar numerosos tipos de ensayo, por lo que esta peculiaridad le otorga cierta relevancia en el mercado si el equipo se fabrica. El equipo sigue las normas para ensayo UNE EN ISO 6603 y UNE EN ISO 11343. Los materiales a ensayar serán polímeros y materiales compuestos, y adhesivos para uniones metálicas, contemplados por las normas mencionadas respectivamente.

El funcionamiento del equipo es simple. Se dispone de un conjunto de masas, el cual lleva equipado un punzón, en caso de realizar un ensayo siguiendo la norma UNE EN ISO 6603, o placas paralelas, en caso de realizar un ensayo siguiendo la norma UNE EN ISO 11343. Se permite variar la masa del conjunto para poder realizar ensayos con diferentes energías de impacto, pudiendo llegar a un máximo de 200 J.

Para que los ensayos puedan realizarse a una altura máxima de un metro, es necesario realizar cálculos en relación con las variables dinámicas y las medidas necesarias. En relación con las variables dinámicas, se realizan cálculos para determinar las velocidades de impacto y las energías debidas a dinámica transmitidas por impacto a los materiales a ensayar, ya sean probetas circulares o adhesivos para uniones metálicas. En lo referente a las medidas de altura, es necesario realizar algunos cálculos para determinar a qué altura ha de subirse el conjunto de masas para poder garantizar una altura máxima de un metro, ya que es lógico pensar que, en reposo, habrá un sobrepaso del punzón o de las placas con respecto al punto de impacto.

Se planteó, como modelo inicial, un anteproyecto del equipo.



Mediante un cilindro neumático, se permite poder unir mecánicamente la placa elevadora y el conjunto de masas. El vástago de cilindro, el cual se extiende o se recoge, es controlado por el operario por medio de un circuito neumático. Mediante el juego de la presión en ambas caras del cilindro, se permite poder extender el vástago y recoger el conjunto de masas, o en su defecto, si ya se encuentra en la posición deseada para ser liberado, recoger el vástago y hacerlo posible. Es preciso destacar que el cilindro dispone de un mecanismo de seguridad en el caso de que se pierdan presiones en las cámaras, lo cual puede producir, en el peor de los casos, que el vástago se recoja y se libere el conjunto cuando no se requiera. El mecanismo es un agarre mecánico que mantiene el vástago extendido hasta que se libera el conjunto. El operario autoriza en todo momento la subida o bajada de todo el conjunto, formado por la placa elevadora y el conjunto de masas.

Todas las acciones a realizar por el operario, se resumen en un sistema de control mediante PLC. El operario autoriza la bajada y la subida de la placa elevadora, así como la liberación del conjunto de masas para realizar el ensayo. Se dispone de un encoder de hilo en la parte superior, el cual sirve para medir la altura y determinar en qué altura se desea liberar el conjunto de masas. El sistema está dotado con las respectivas medidas de seguridad. El sistema tiene conectados dos finales de carrera, superior e inferior, que permiten parar el conjunto de masas y la placa elevadora en caso de fallo de encoder de hilo. Por otro lado, se dispone de interruptores y paradas de seguridad, los cuales sirven para poder detener el ensayo en cualquier momento si se prevé que no se esté realizando correctamente y suponga un peligro para el operario.

Finalmente, para el ensayo de adhesivos, se dispone de instrumentación con el fin de determinar la curva de fuerza deformación del ensayo. La instrumentación consta de un sensor piezoeléctrico y un grupo de adquisición de datos, para poder medir la fuerza en el tiempo. El grupo de adquisición obtiene la curva fuerza-tiempo, la cual debe ser modificada mediante integración para obtener la curva fuerza-deformación.

A continuación, se muestran imágenes del equipo, en función del ensayo a realizar.

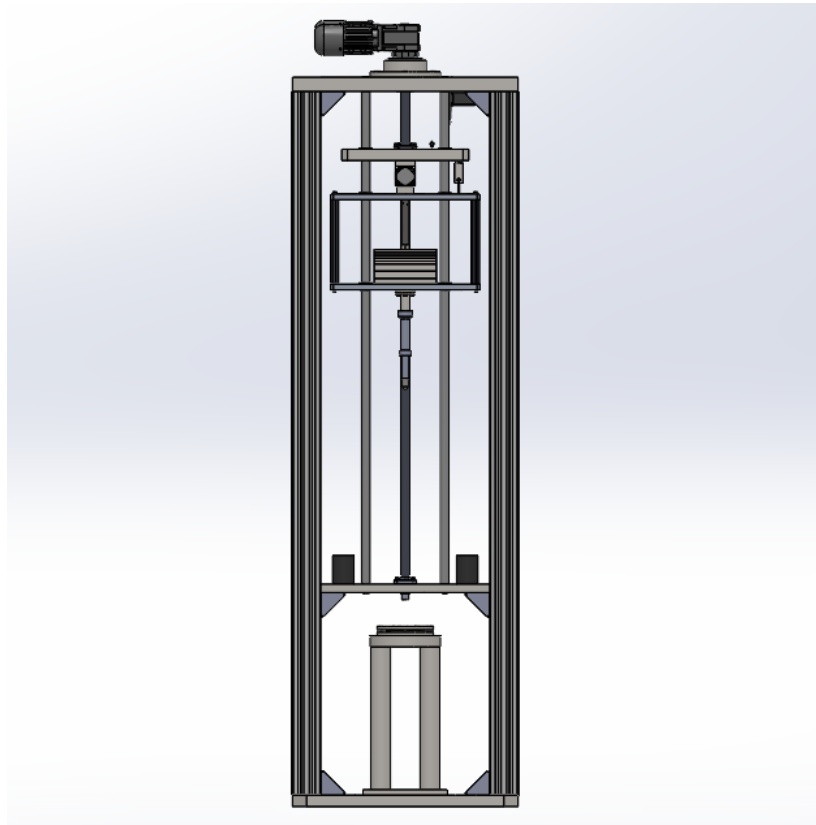


Ilustración 2: Equipo para ensayo por impacto en polímeros y materiales compuestos

En la presente imagen se muestra el equipo para realizar el ensayo por impacto para polímeros y materiales compuestos, estando en posición para poder liberar el conjunto de masas.

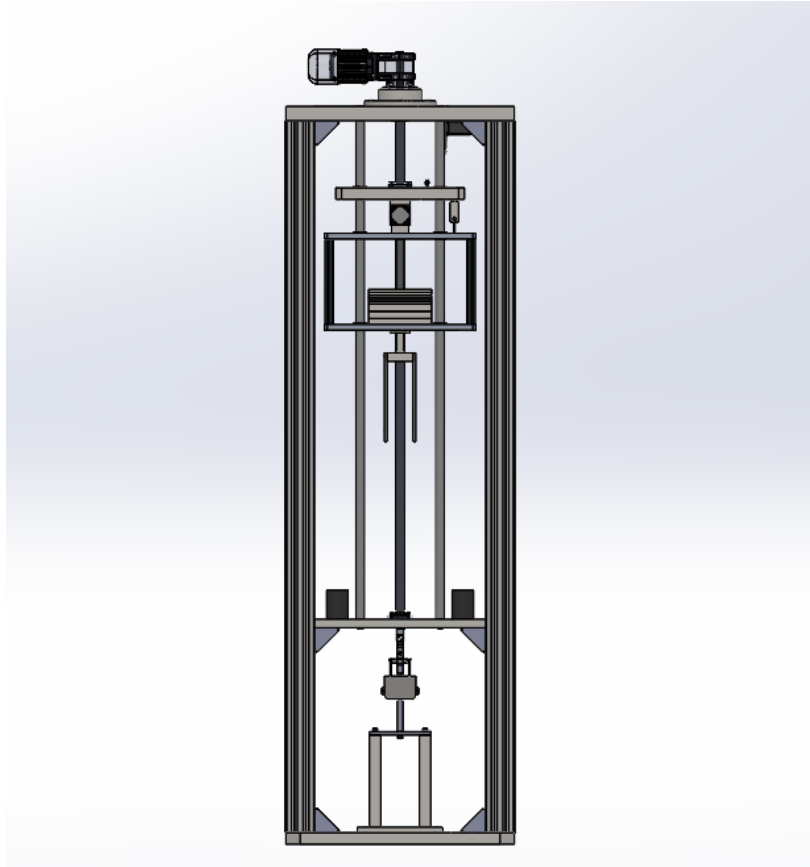


Ilustración 3: Equipo para ensayo por impacto de adhesivos

En esta imagen se ilustra el equipo con los dispositivos necesarios para poder realizar el ensayo de adhesivos para uniones metálicas. En la parte inferior del equipo se dispone de un dispositivo que sustenta las dos muestras con adhesivo que se someterá a ensayo.

Resultados

Se ha diseñado un equipo que permite la realización de dos tipos de ensayo. Para ello, se disponen de varios dispositivos que permiten la realización de los ensayos. En el caso del ensayo de adhesivos, se dispone de un dispositivo, formado por una base para alojar las probetas y por un conjunto de masas específico, mientras que en el ensayo por impacto de materiales compuestos y polímeros se dispone de otro dispositivo, también con base y conjunto de masas propio. Cabe destacar que el conjunto de masas consta de un marco y un sistema de punzonado. El marco será el mismo para todos los ensayos y no debe ser reemplazado. Las únicas piezas del conjunto de masas que serán intercambiables son aquellas que forman parte de los sistemas de punzonado.

En lo referente a los distintos análisis, es preciso mencionar los resultados del análisis estructural. El análisis se ha llevado a cabo en los distintos conjuntos de masas, ya que los sistemas de punzonado son aquellos que sufren una mayor deformación debido a la dinámica del ensayo, ya que participan directamente en el mismo. Se obtienen distintos resultados.

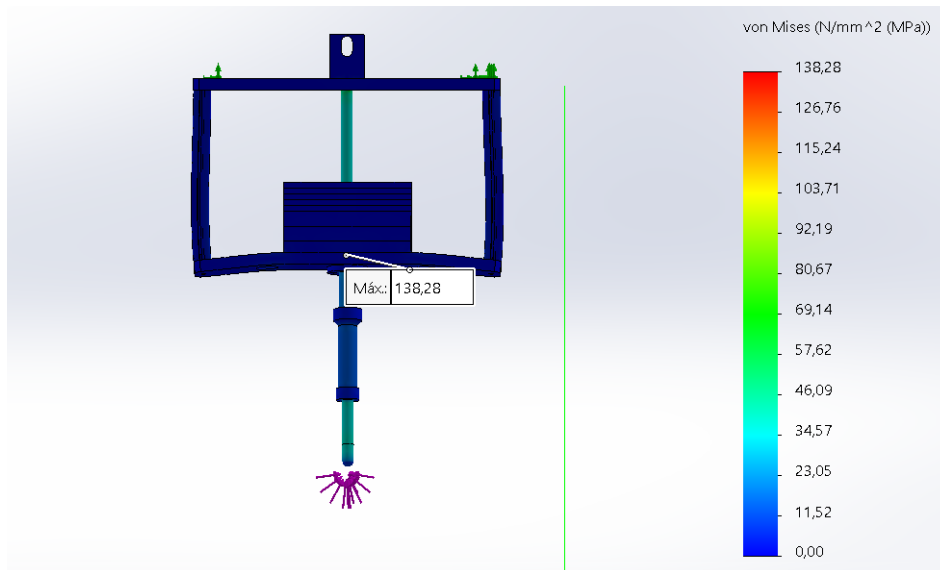


Ilustración 4: Tensiones debidas a ensayo por impacto en polímeros y materiales compuestos

En este caso, puede verse como la tensión máxima, la cual ocurre en el taladro central de la placa inferior del marco, es de 138,28 MPa. Teniendo en cuenta que los límites elásticos de los materiales menos resistentes (Duraluminio), son alrededor de 400 MPa, no hay riesgo de deformación plástica en el conjunto de masas.

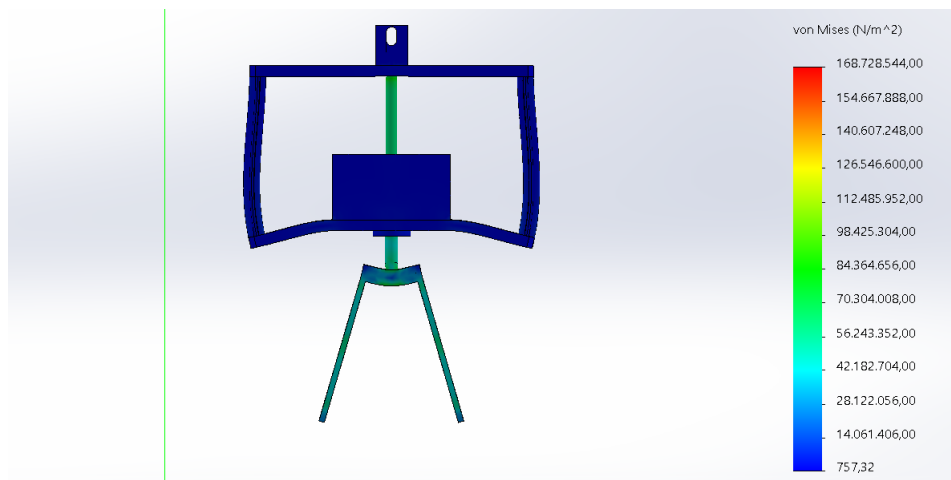


Ilustración 5: Tensiones debidas a ensayo por impacto de adhesivos para uniones metálicas

En el caso de realizar un ensayo por impacto para adhesivos, las tensiones estáticas equivalentes a la dinámica del ensayo son bastante similares a las del caso anterior. La fuerza máxima se produce en la misma zona, aunque bien es cierto que la tensión es ligeramente mayor. Cabe destacar que las tensiones no son lo suficientemente elevadas como para deformar plásticamente el material.

Es preciso mencionar que las imágenes planteadas ilustran una deformación irreal. Los conjuntos de masas no se deforman en esa magnitud. Lo que se intenta mostrar son las deformaciones, de forma exagerada, de modo que pueda apreciarse el desplazamiento de los materiales debido a la dinámica del ensayo,

Finalmente, se muestran imágenes en las cuales puede apreciarse la disposición del equipo en su totalidad, para el ensayo por impacto de polímeros y materiales compuestos y para el ensayo de adhesivos.



Ilustración 6: Disposición del equipo para ensayos por impacto de polímeros y materiales compuestos



Ilustración 7: Disposición del equipo para ensayos por impacto de adhesivos para uniones metálicas

Conclusiones

Se ha diseñado un equipo capaz de realizar varios tipos de ensayo por impacto, pudiendo así ensayar polímeros, materiales compuestos y adhesivos poliméricos. El creciente interés por el uso de estos materiales en la industria hace posible que se requiera que los mismos deban ser estudiados en términos de propiedades y utilidad. Esto lleva directamente a disponer de equipos que sean capaces de poder ensayar los materiales de diferentes formas, ya sea por impacto, por tracción, por compresión, etc...

En el caso que concierne, se ha diseñado un equipo que sea capaz de ensayar los materiales por impacto, pudiendo realizarse ensayos a diferentes alturas, siempre hasta una máxima de un metro, y, con diferentes masas, pudiendo variar la energía de la dinámica desde 80 J hasta 200 J.

La gran variedad de ensayos que pueden realizarse, y la necesidad de poder estudiar el comportamiento de los materiales a impacto, hace posible que este equipo pueda ser de primera necesidad en algunas industrias, siendo indispensable su utilización. Se espera que el equipo pueda ser de gran utilidad si se fabrica, para poder realizar distintos estudios acerca del comportamiento de los materiales a impacto.

DESIGN AND MANUFACTURE OF AN EQUIPMENT FOR TESTING POLYMERS AND COMPOSITE MATERIALS

Author: García López-Cano, Miguel Adolfo

Supervisor: Real Romero, Juan Carlos del

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In the present project, a test equipment is designed that allows to test materials in two different ways. Polymers and composite materials can be tested by direct impact or polymeric adhesives for metal joints by wedge dragging.

Keywords: materials, impact, testing, polymers

Introduction

During the last few years polymers and composite materials have gained some importance in the world of industry. Recently, there has been a search for the design and manufacture of lighter, more efficient and more ecological products. Polymers and composite materials have become a more than viable solution to these problems. In particular, the use of these materials has increased in the automotive and aeronautical industries, as they seek to develop lighter, and therefore faster and more fuel-efficient, means of transport.

In addition to the automotive and aviation industry, composite materials and polymers are often used in the sports world. Ski boots, coatings, shin guards and other products are made from polymers and composite materials.

It is therefore necessary to have certain equipment that can test the properties of these materials on impact. Impact dynamics are essential in the automotive and aeronautical world, in order to ensure the safety of transport occupants. To this end, materials are tested in order to study their mechanical properties and determine whether these materials are valid for the function required. On the other hand, in the world of sport, it is also of great interest to test materials on impact, in order to determine whether their mechanical properties are valid for performing the function in question. Shin guards are often made of carbon fibre, which is light enough but strong enough to withstand the impact of an action during a sporting event. Ski boots should be light enough to allow for quick movement but strong enough to protect the foot in case of impact.

In addition to impact testing of polymeric and composite materials, devices are also available for testing polymeric adhesives on metal joints. Sometimes it is necessary to join metals by means of adhesive, either because drilling is not feasible, or because welding cannot be done, either because of the composition of the metals or other reasons, or because it is more economical. Today, the adhesive industry is growing, as adhesives are often viable and economical compared to other bonding methods.

Composite materials, such as glass or carbon fiber and polymers, have good mechanical properties, and can even replace metals in certain functions. It is true that the industry is in continuous progress and development, so they are also looking for materials which are

more environmentally friendly. On certain occasions, biodegradable polymeric materials, such as starch, cellulose, etc. , are used in industry.

On the other hand, taking into account more economical aspects, polymers and composite materials can often be cheaper than conventional materials. Therefore, if polymers and composite materials, in certain products, can substitute materials such as metals or wood in terms of mechanical properties, this solution may be viable and economical.

Here is the great interest in developing equipment that allows us to test polymers and composite materials, in order to study their mechanical properties. The equipment could be very useful in the future to carry out numerous studies in relation to these materials.

Project definition

The design of the equipment contemplates a great variety of sub-equipments and devices that have to be designed to be able to conform it. Numerous calculations, related to test variables and heights, are performed in order to design the parts with the correct dimensions.

The equipment designed allows numerous types of tests to be carried out, so this peculiarity gives it some relevance in the market if the equipment is manufactured. The equipment follows the standards for testing UNE EN ISO 6603 and UNE EN ISO 11343. The materials to be tested are polymers and composite materials, and adhesives for metal joints, covered by the above-mentioned standards respectively.

The operation of the equipment is simple. A set of masses is available, which is equipped with a punch, in case of testing according to UNE EN ISO 6603, or parallel plates, in case of testing according to UNE EN ISO 11343. It is allowed to vary the mass of the set to be able to carry out tests with different impact energies, being able to reach a maximum of 200 J.

In order for the tests to be carried out at a maximum height of one meter, it is necessary to carry out calculations in relation to the dynamic variables and the necessary measurements. In relation to the dynamic variables, calculations are made to determine the impact velocities and the energies due to dynamics transmitted by impact to the materials to be tested, whether they are circular specimens or adhesives for metal joints. As far as height measurements are concerned, it is necessary to carry out some calculations to determine at what height the set of masses has to be raised in order to guarantee a maximum height of one meter, since it is logical to think that, at rest, there will be an overhang of the punch or plates with respect to the point of impact.

It is necessary to subject the parts, especially those parts directly involved in the test, to a structural analysis. In this way, it is possible to verify that the materials selected to manufacture the parts are correct. Parts must be designed taking into account the dynamics of impact and fatigue, as they play an extremely important role in ensuring the safety of the equipment and its effectiveness.

A preliminary project of the team was proposed as an initial model.

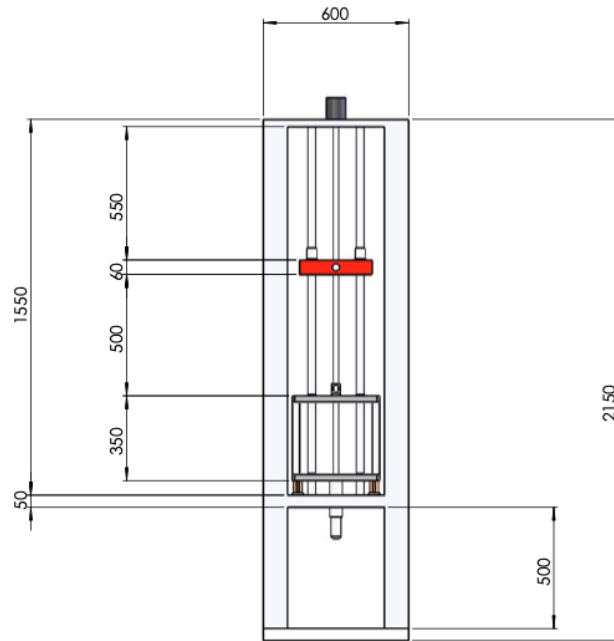


Ilustración 8: preliminary design of the drop tower

Equipment description

The operation of the equipment is simple. A lifting plate is available, which is responsible for lifting the mass assembly to the desired position. The plate is allowed to move vertically, up or down, by means of a ball screw mechanically connected to a geared motor. The spindle assembly consists of a spindle and a nut, which is attached by means of screws to the lifting plate. This nut allows the transformation of the spindle's thread turn into vertical movement.

By means of a pneumatic cylinder, it is possible to mechanically join the lifting plate and the mass assembly. The cylinder rod, which is extended or retracted, is controlled by the operator via a pneumatic circuit. By means of the pressure play on both sides of the cylinder, it is possible to extend the piston rod and to pick up the mass assembly, or, if it is already in the desired position to be released, to pick up the piston rod and make it possible. It should be noted that the cylinder has a safety mechanism in the event that pressure is lost in the chambers, which can cause, in the worst case, the rod to retract and release the assembly when not required. The mechanism is a mechanical grip that keeps the stem extended until the assembly is released. The operator authorizes at all times the raising or lowering of the entire assembly, formed by the lifting plate and the mass assembly.

All the actions to be carried out by the operator are summarized in a control system by means of PLC. The operator authorizes the lowering and raising of the lifting plate, as well as the release of the mass assembly to perform the test. There is a wire encoder at the top, which is used to measure the height and determine at what height the mass assembly is to be released. The system is equipped with the respective security measures. The system has two limit switches connected, upper and lower, which allow the mass assembly and the lifting plate to be stopped in the event of a wire encoder failure. On the

other hand, switches and safety stops are available, which can be used to stop the test at any time if it is expected that it is not being performed correctly and is dangerous for the operator.

Finally, for the testing of adhesives, instrumentation is available to determine the deformation force curve of the test. The instrumentation consists of a piezoelectric sensor and a data acquisition group, in order to measure the force over time. The acquisition group obtains the force-time curve, which must be modified by integration to obtain the force-deformation curve.

Below there are pictures of the equipment, depending on the test to be performed.

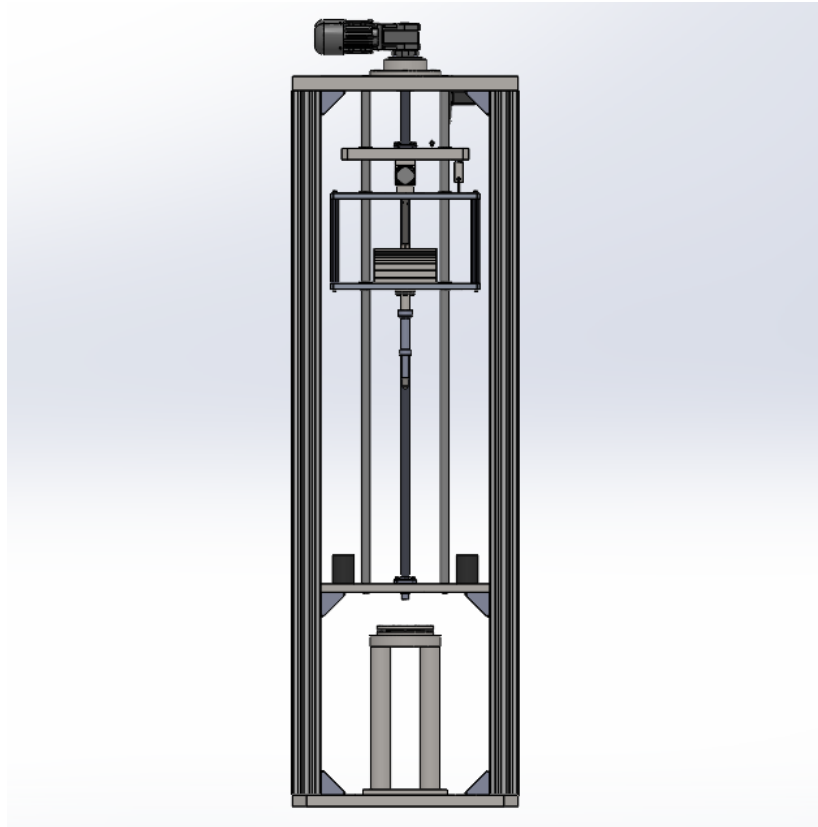


Ilustración 9: Equipment for impact testing on polymers and composite materials

This image shows the equipment to perform the impact test for polymers and composite materials, being in position to release the mass assembly.

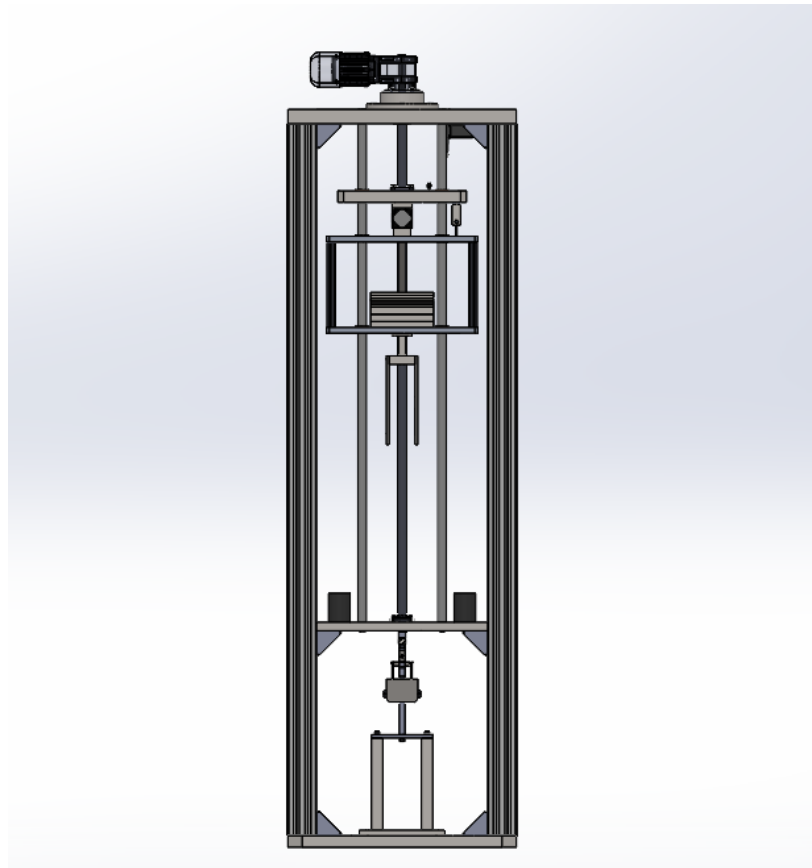


Ilustración 10: Equipment for impact testing on adhesives

In this image the equipment is illustrated with the devices necessary to be able to carry out the test of adhesives for metal joints. The lower part of the equipment has a device that supports the two samples with adhesive to be tested.

Results

Equipment has been designed to allow two types of tests to be carried out. For this purpose, several devices are available to carry out the tests. In the case of the testing of adhesives, a device is available, consisting of a base to hold the specimens and a specific set of masses, while in the impact testing of composite and polymer materials another device is available, also with its own base and set of masses. It should be noted that the mass assembly consists of a frame and a punching system. The frame will be the same for all trials and should not be replaced. The only parts of the mass assembly that will be interchangeable are those that are part of the punching systems.

With regard to the various analyses, the results of the structural analysis should be mentioned. The analysis has been carried out on the different sets of masses, since the punching systems are those that suffer the greatest deformation due to the dynamics of the test, since they participate directly in it. Different results are obtained.

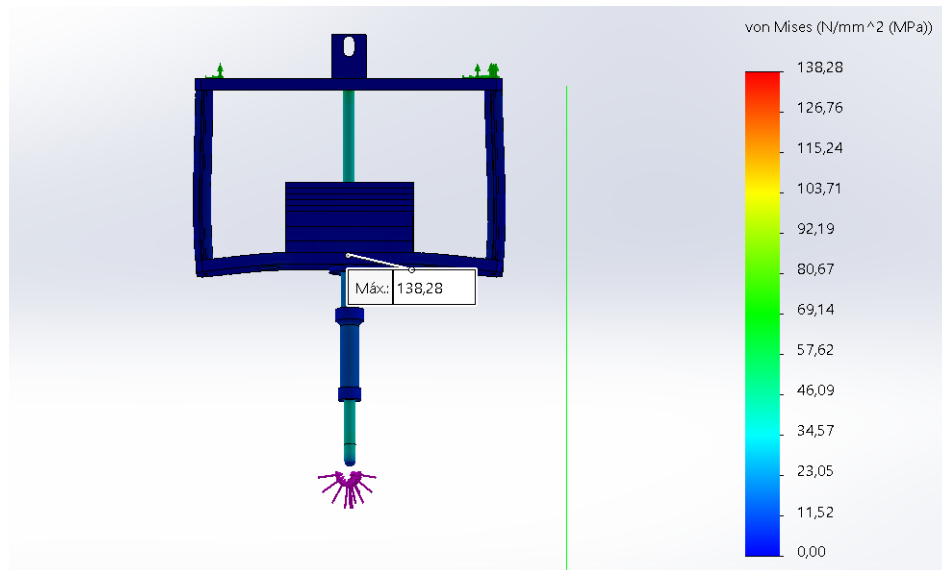


Ilustración 11: Stresses due to impact testing on polymers and composite materials

In this case, it can be seen that the maximum stress, which occurs in the center hole of the lower frame plate, is 138. 28 MPa. Taking into account that the elastic limits of the less resistant materials (Duraluminium), are around 400 MPa, there is no risk of plastic deformation in the mass set.

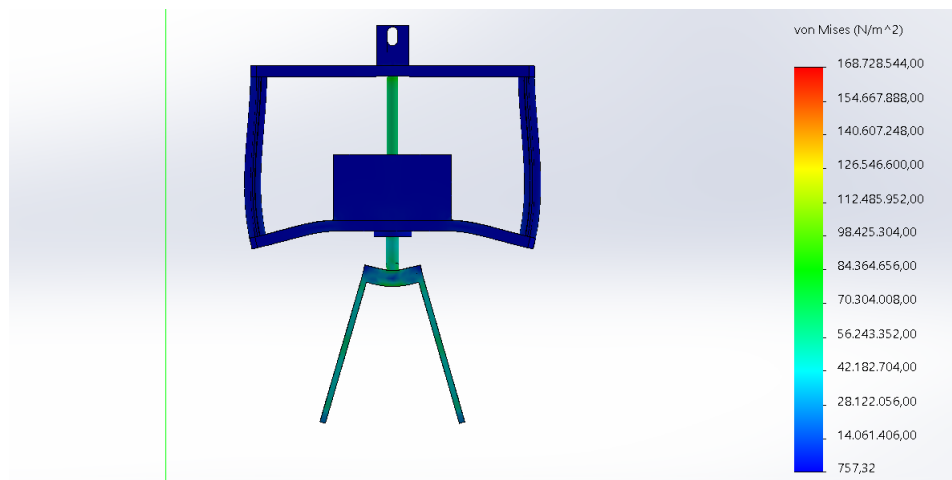


Ilustración 12: Stresses due to impact testing of adhesives for metal joints

In the case of an impact test for adhesives, the static stresses equivalent to the test dynamics are quite similar to those of the previous case. The maximum force occurs in the same area, although it is true that the tension is slightly higher. It should be noted that the stresses are not high enough to deform the material plastically.

It should be mentioned that the images presented illustrate an unrealistic deformation. Mass sets do not deform to that extent. What we try to show are the deformations, in an exaggerated way, so that the displacement of the materials due to the dynamics of the test can be appreciated.

Finally, images are shown in which the disposition of the equipment can be appreciated in its totality, for the impact test of polymers and composite materials and for the test of adhesives.



Ilustración 13: Arrangement of equipment for impact testing of polymers and composite materials



Conclusions

Equipment has been designed to carry out various types of impact tests, thus being able to test polymers, composite materials and polymeric adhesives. The growing interest in the use of these materials in industry means that they need to be studied in terms of their properties and usefulness. This leads directly to having equipment that is capable of testing materials in different ways, whether by impact, traction, compression, etc. . .

In the case in question, the equipment has been designed that is capable of testing materials by impact, and tests can be carried out at different heights, always up to a maximum of one metre, and, with different masses, the energy of the dynamics can vary from 80 J to 200 J.

The great variety of tests that can be carried out, and the need to be able to study the behaviour of materials on impact, makes it possible for this equipment to be of prime necessity in some industries, its use being indispensable. It is expected that the equipment can be very useful if manufactured, in order to be able to carry out different studies about the behaviour of the materials on impact.

DOCUMENTO I

MEMORIA

Índice de la memoria

Capítulo 1.....	35
Introducción y planteamiento	35
1.1 Motivación	36
Capítulo 2.....	37
Estado del arte	37
2.1 Materiales a ensayar	40
2.1.1 Polímeros.....	40
2.1.2 Materiales compuestos.....	45
2.1.3 Adhesivos.....	46
2.1.3.1 Clasificación de los adhesivos.....	47
Capítulo 3.....	51
Alcance del proyecto	51
3.1 Justificación del diseño	51
3.1.1 Diseño particular del equipo	51
3.1.2 Situación comercial	51
3.2 Objetivos del proyecto	53
3.3 Metodología de trabajo.....	53
Capítulo 4.....	57
Diseño del equipo de ensayos por impacto.....	57
4.1 Introducción.....	57
4.1.1 Normativas de ensayo	57
4.2 Selección de materiales, tratamientos térmicos y recubrimientos superficiales ..	61
4.2.1 Selección de materiales	62
4.2.2 Selección de tratamientos térmicos y recubrimientos superficiales.....	66
4.3 Diseño de la zona de ensayo.....	68
4.3.1 Cálculo teórico de las variables principales del equipo	68
4.3.2 Diseño 3D del equipo de ensayos por impacto	72
4.3.2.1 Dispositivos	73
4.3.2.2 Piezas y mecanismos relevantes	80
4.3.2.3 Masas calibradas	83
4.3.3 Cálculo de alturas necesarias para ensayo.....	85

4.4	Diseño de accionamiento de elevación del conjunto de masas	89
4.4.1	Selección del conjunto de husillo a emplear	90
4.4.2	Esquema mecánico de accionamiento de elevación	91
4.4.3	Selección de motor elevador	92
4.4.4	Cálculo de las variables relevantes del husillo y motor elevador	94
4.4.3.1	Husillo.....	94
4.4.3.2	Motorreductor	96
4.4.5	Convertidor de frecuencia de motor.....	97
4.4.6	Sistema de unión de husillo y motor	98
4.4.7	Implantación de sensor de proximidad	99
4.5	Análisis estructural de los elementos relevantes del equipo	100
4.5.1	Análisis estructural para estructuras de ensayos por impacto de plásticos y materiales compuestos	101
4.5.2	Análisis estructural	109
4.5.2.1	Análisis de conjunto de masas para ensayo de plásticos y materiales compuestos	110
4.5.2.2	Análisis de conjunto de masas para ensayo de adhesivos	112
4.6	Diseño de circuito neumático	114
4.6.1	Disposición del cilindro neumático y unión mecánica.....	118
4.6.2	Seguridad del cilindro	121
Capítulo 5.....	123	
Sistema de control mediante PLC e instrumentación.....	123	
5.1	Sistema de control mediante PLC.....	123
5.1.1	Sistema de control	123
5.1.2	Diagrama de bloques para el sistema de control	125
5.2	Instrumentación	128
5.2.1	Selección de célula de carga o sensor de fuerza	128
5.2.2	Selección del sistema de adquisición de datos.....	131
Capítulo 6.....	135	
Diseño final del conjunto	135	
Capítulo 7.....	139	
Conclusiones y trabajos futuros.....	139	
Capítulo 8.....	141	
Referencias.....	141	
Anexo I	143	
Anexo II.....	145	

Objetivos de desarrollo sostenible	145
DOCUMENTO II.....	147
DOCUMENTO III	149
Capítulo 1.....	151
Presupuestos	151
1.1 Coste de despiece	151
1.2 Coste de equipo.....	160

Índice de figuras

Figura 1: Ensayos por impacto de péndulo [3].....	38
Figura 2: Demanda de materiales compuestos en el sector aeronáutico [4]	39
Figura 3: Aplicaciones de los polímeros en Asia en 2017 [5]	40
Figura 4: Esquema de estructuras moleculares [6]	41
Figura 5: Comportamiento esfuerzo-deformación de polímeros [8]	43
Figura 6: Resistencia de los materiales atendiendo a su densidad.....	46
Figura 7: Separación de muestra debido al esfuerzo de una cuña [12]	48
Figura 8: Sistema de caída de dardo [1].....	58
Figura 9: Dispositivo de ensayo con célula de carga [13]	59
Figura 10: Representación tridimensional del ensayo por impacto en cuña [2]	60
Figura 11: Disposición de cuña [2]	61
Figura 12: Tornillo pavonado [14]	66
Figura 13: Acabado niquelado [15]	67
Figura 14: Acabado cromado [16]	68
Figura 15: Base para ensayo de plásticos y materiales compuestos	74
Figura 16: Disposición de los yunques atendiendo a la normativa [1]	75
Figura 17: Diseño y disposición de los yunques del equipo	76
Figura 18: Conjunto de masas para ensayo de plásticos rígidos.....	77
Figura 19: Conjunto de masas para ensayo de adhesivos	78
Figura 20: Base para ensayo de adhesivos.....	79
Figura 21: Impacto de las placas en soporte para cuña	80
Figura 22: Punzón para ensayo de plásticos y materiales compuestos	81
Figura 23: Marco de probetas formado por cuña y soporte.....	82
Figura 24: Resortes elastoméricos	83
Figura 25: Diseño de masa calibrada	84
Figura 26: Conjunto de masas con masa máxima	85
Figura 27: Paso de punzón sobre punto de impacto	86
Figura 28: Altura máxima de ensayo para plásticos y materiales compuestos	87
Figura 29: Paso de placas sobre punto de impacto	88
Figura 30: Altura máxima de ensayo para adhesivos.....	89
Figura 31: Parte superior del sistema de elevación del conjunto de masas	91
Figura 32: Parte inferior del sistema de elevación del conjunto de masas	92
Figura 33: Esquema de funcionamiento de motorreductor	93
Figura 34: Fuerzas que intervienen en la rosca del husillo [17]	94
Figura 35: Disposición de los elementos de unión de husillo y motor.....	99
Figura 36: Disposición del sensor de proximidad.....	100
Figura 37: Esquema de equivalencia estática de la muestra de ensayo de plásticos y materiales compuestos	102
Figura 38: Curva de fuerza – alargamiento de la muestra a ensayar.....	105
Figura 39: Croquis de posible pandeo del punzón	108
Figura 40: Tensiones debidas a ensayo de plásticos y materiales compuestos.....	110
Figura 41: Tensión máxima debido a ensayo de plásticos y materiales compuestos.....	111
Figura 42: Deformaciones debidas a ensayo de plásticos y materiales compuestos	111

Figura 43: Tensiones debidas a ensayo de adhesivo.....	112
Figura 44: Tensión máxima debido a ensayo de adhesivos	113
Figura 45: Desplazamientos debidos a ensayo de adhesivo	113
Figura 46: Cilindro con vástago recogido y vástago extendido respectivamente.....	114
Figura 47: Esquema de fuerzas que intervienen en la recogida del vástago	116
Figura 48: Circuito neumático	117
Figura 49: Disposición del cilindro neumático en el equipo	119
Figura 50: Sistema de unión de placa elevadora y conjunto de masas	120
Figura 51: Margen de unión para vástago	121
Figura 52: Imagen real del sistema de control a instalar en el equipo [18].....	125
Figura 53: Esquema de funcionamiento del sistema de control.....	126
Figura 54: Funcionamiento piezoeléctrico de célula de carga	129
Figura 55: Esquema eléctrico de funcionamiento de célula de carga	130
Figura 56: Simplificación de circuito eléctrico de célula	131
Figura 57: Curva fuerza-deformación de un material plástico [13]	133
Figura 58: Curva fuerza-deformación sin rotura de material [13]	134
Figura 59: Equipo completo para realizar ensayos de plásticos y materiales compuestos	136
Figura 60: Equipo completo para realizar ensayos de adhesivos	137

Índice de tablas

Tabla 1: Equivalencias con otras normas del acero C-45.....	62
Tabla 2: Equivalencias de normas del acero C-15.....	63
Tabla 3: Equivalencias de nomenclatura del acero 42CrMo4.....	63
Tabla 4: Equivalencias de normas del acero 90MnCrV8.....	64
Tabla 5: Masas calibradas.....	84
Tabla 6: Costes unitarios de materiales y tratamientos térmicos.....	152
Tabla 7: Costes de materiales por unidad para cada pieza.....	153
Tabla 8: Costes de mecanizado por unidad para cada pieza.....	155
Tabla 9: Costes unitarios y subtotales para cada pieza.....	157
Tabla 10: Costes de materiales y tratamientos por unidad para cada pieza de dispositivo de adhesivos.....	158
Tabla 11: Costes de mecanizado por unidad para cada pieza de dispositivo de adhesivos.....	159
Tabla 12: Costes unitarios y subtotales para cada pieza.....	159
Tabla 13: Costes totales de elementos del equipo.....	161

Capítulo 1

Introducción y planteamiento

Los ensayos por impacto se han convertido, con el paso de los años y el avance desmesurado de la tecnología, en una pieza clave a la hora de diseñar productos específicos. Aquellos productos que requieren de un análisis de impacto en su fabricación suelen ser utilizados para cubrir áreas de estructuras o sistemas mecánicos que puedan estar sometidos a una elevada fatiga o soporten deformaciones a velocidades muy elevadas.

Por ejemplo, la mayoría de las piezas fabricadas utilizadas en los diferentes sistemas de transporte de tipo aeronáutico, naval y ferroviario, tales como aviones, barcos y trenes deben someterse a ensayos por impacto, debido a que estas se localizan en zonas que pueden perjudicar de manera crítica al sistema o estructura de transporte si no son capaces de soportar la fatiga o el impacto.

Lo que se desarrollará en el presente proyecto, y, por tanto, en las páginas que acompañan a esta, será la fabricación de un equipo de ensayos mecánicos por impacto para materiales compuestos, plásticos rígidos, materiales metálicos, etc., utilizando la técnica de caída de masas guiadas, siguiendo algunas normas básicas. Por encima de todo, nos centraremos en las normas UNE-EN-ISO 6603 [1], tanto la parte primera como la parte segunda, y la norma UNE-EN-ISO 11343 [2]. Existen algunas diferencias notables entre ambas normas. Aunque, estas se explicarán de un modo más detallado más adelante, cuando se requiera, realizamos a continuación una introducción de las mismas.

La norma UNE EN ISO 6603, nos guía a la hora de desarrollar un sistema por impacto puro de dardo. Según la norma UNE EN ISO 6603, este dardo debe tener unas características específicas para la correcta realización de los ensayos.

Por otra parte, el ensayo definido en la norma UNE-EN ISO 11343, se centra más en el comportamiento a impacto de uniones adhesivas.

1.1 Motivación

Como se ha comentado anteriormente, la búsqueda de nuevos materiales para la fabricación industrial se ha disparado en los últimos tiempos. La preocupación por el medio ambiente, y la creación de nuevos dispositivos con mejores propiedades han hecho posible este auge en la búsqueda de nuevos materiales, ya sean plásticos termoestables, termoplásticos, materiales compuestos tales como como epoxi o poliéster reforzados con fibras de vidrio o fibra de carbono, etc... Esto lleva directamente a la siguiente pregunta: ¿son válidos estos materiales para ciertos tipos de fabricación? La respuesta más lógica a este interrogante sería determinar las propiedades de los materiales para comprobar que cumplen las especificaciones necesarias para su aplicación. Esto es, analizar su resistencia, la tensión máxima que el material puede soportar, o la resistencia a impacto. Puede decirse que analizar un material con ensayos por impacto equivaldría a estudiar la fatiga de un material sometido a altas velocidades, como pueden ser las piezas en los mecanismos y sistemas de transporte.

En términos generales, el diseño de este equipo de ensayos por impacto responderá a las normas UNE-EN ISO 6603 y UNE-EN ISO 11343. Esto quiere decir que, básicamente, se ensayarán materiales termoplásticos, termoestables, materiales compuestos y uniones adhesivas. Las propiedades fundamentales de estos materiales serán analizadas en capítulos posteriores, pero destacar que estos materiales gozan de características muy notables, el hecho de ser más resistentes y la mayoría con mayor vida útil en comparación con otros materiales más convencionales.

La importancia de los ensayos de materiales se hace notar en este campo por las razones mencionadas anteriormente. He aquí el interés por realizar este diseño. Habiéndose realizado un pequeño análisis previo, y recopilando la información necesaria, se permite tener una visión global del diseño que se va a realizar en este trabajo.

Este trabajo incluirá el diseño de un equipo de ensayos por impacto con el fin de poder determinar las propiedades a impacto de distintos tipos de materiales. Por otro lado, también incluirá un análisis para determinar la situación comercial de los ensayos mecánicos en general

Capítulo 2

Estado del arte

En lo referente al estado actual de los ensayos por impacto, cabe destacar algunos conceptos acerca de los mismos y su situación comercial.

Los materiales presentan distintos tipos de propiedades, mecánicas, eléctricas, magnéticas, térmicas, etc. El conocimiento de estas propiedades es de vital importancia en para su selección, sus prestaciones en servicio, facilidad de procesado y posterior aplicación.

Dentro de las propiedades de los materiales una de las de mayor interés son las propiedades mecánicas. Desde el punto de vista estructural la importancia de tener un conocimiento claro de estas propiedades es fundamental para la aplicación final.

Para determinar estas propiedades existen multitud de tipos de ensayos, siendo los más comunes los ensayos de tracción, compresión, cizalla, dureza, etc., sin embargo, la mayoría de estos ensayos son ensayos cuasi estáticos, es decir las velocidades de aplicación de carga no son muy elevadas. En muchas ocasiones es necesario conocer el comportamiento de los materiales bajo esfuerzos dinámicos y esto se realiza con diferentes tipos de ensayos de impacto. La carga en estos ensayos puede aplicarse en forma de esfuerzo por choque en esfuerzos de tipo de tracción, compresión, flexión y torsión. El impacto se produce de ordinario mediante péndulos o pesos. En la mayoría de los casos, la energía que actúa en el impacto es conocida como una magnitud dada por las condiciones del aparato de ensayo (como se verá en este proyecto), en tanto que la energía absorbida por la pieza a ensayar será la variable a determinar. Habrá sin embargo que diferenciar muchas veces entre la energía de impacto necesaria para llegar a la rotura de la pieza y la energía consumida en la deformación plástica y elástica en el caso probetas no fracturadas.

Los ensayos de impacto más utilizados son los ensayos Charpy e Izod, los cuales han sido fundamentalmente empleados en la caracterización mecánica, investigación y control de calidad de productos de acero.

En primer lugar, decir que, pese a que los ensayos por impacto toman gran protagonismo en el mundo industrial, existen numerosos tipos de ensayo que permiten distintos tipos de análisis en los materiales. Uno de los ensayos que más se acerca a los ensayos por impacto es el ensayo de flexión por choque mediante Péndulo de Charpy, en el cual el material a ensayar se somete a un impacto a través de una cuchilla, pero no en caída libre, que será el ensayo a tratar en este trabajo, sino por caída en péndulo. Bien es cierto que existen otros ensayos parecidos tales como ensayo Pellini, o ensayo IZOD, que conviene destacar. En lo referente al ensayo por método IZOD, este es muy parecido al ensayo por choque por método Charpy. Ambos hacen uso de un péndulo equipado con una cuchilla que someterá a la probeta a un ensayo por impacto. La principal diferencia entre método Charpy y método IZOD es la propia sujeción de la probeta.

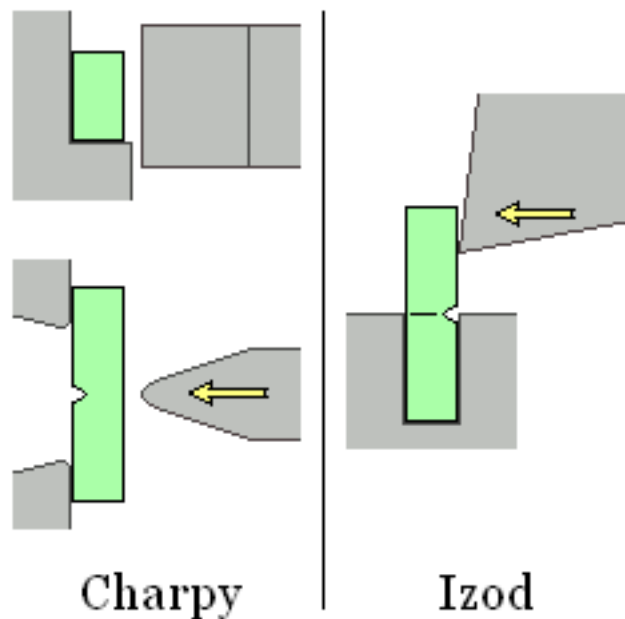


Figura 1: Ensayos por impacto de péndulo [3]

Como puede verse en la Figura 1: Ensayos por impacto de péndulo, la disposición de la probeta es distinta en ambos ensayos. Cabe destacar que el método de impacto por Charpy es utilizado con mayor frecuencia en la industria, puesto que la disposición de la probeta da lugar a menos errores en cuanto al movimiento de la probeta en el ensayo. No obstante, el equipo a diseñar no será un equipo de ensayos por impacto en péndulo. En el caso de polímeros y compuestos los ensayos de impacto se usan en su configuración básica con probetas entalladas o sin entallar, pero en caso de adhesivos se usa el péndulo Charpy pero con modificaciones, como es el caso del ensayo de impacto en bloque.

Cuando se quiere ensayar a velocidades de deformación más elevadas se necesita, el equipo adecuado es el denominado Barra Hopkinson. Este nombre se debe, históricamente, a los aparatos utilizados a principios del siglo XX por B. Hopkinson para estudiar las ondas de presión generadas por explosiones o proyectiles. En este experimento, una explosión (o un proyectil) que alcanza un extremo de una barra larga y delgada suspendida horizontalmente, crea un impulso de presión que se propaga a través de la probeta a ensayar.

El equipo diseñado en el presente proyecto realiza ensayos por impacto en caída libre, siguiendo las normas mencionadas.

En lo referente a la situación comercial, destacar algunos aspectos. Se estudiará la situación comercial de los ensayos mecánicos, tanto los tratados en este trabajo, como los restantes. Resaltar la demanda de buscar nuevos materiales para la fabricación de nuevos vehículos, ya sean terrestres, aéreos o marítimos. Bien es sabido, y será respaldado por algunas noticias al respecto, que la búsqueda de materiales más ligeros, para así poder fabricar vehículos menos pesados ha crecido en los últimos años. Esto es debido a que vehículos más ligeros consumen menos combustible, son menos contaminantes, y los materiales suelen ser de mejor calidad. Para seleccionar los materiales a la hora de la fabricación, es necesario que estos se sometan a distintos ensayos mecánicos con el fin de determinar si son válidos para cumplir distintas funciones. He aquí donde entra la fuerte demanda de equipos que sean capaces de ensayar los materiales. Se muestra a continuación la gran demanda de materiales compuestos en el sector aeronáutico y el uso de diferentes tipos de polímeros utilizados en la industria asiática, respectivamente. De tal forma, se destaca la gran necesidad de obtener nuevos materiales para el desarrollo de productos industriales.

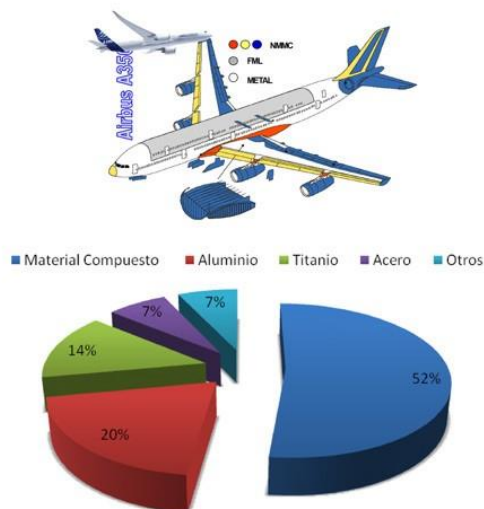


Figura 2: Demanda de materiales compuestos en el sector aeronáutico [4]

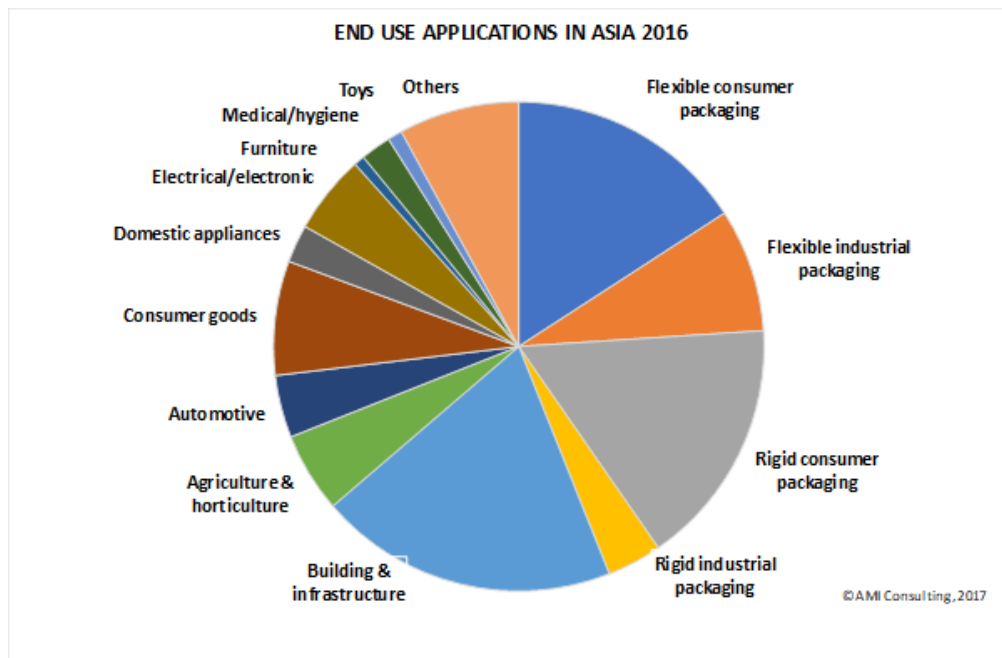


Figura 3: Aplicaciones de los polímeros en Asia en 2017 [5]

2.1 Materiales a ensayar

Los materiales se pueden clasificar de muchas formas, pero la clasificación genérica más aceptada es clasificarlos en tres grupos principales, metales, cerámicos y polímeros. Existe un cuarto grupo que son los materiales compuestos que son combinaciones de los tres grupos anteriores.

El equipo a diseñar en el presente proyecto estará destinado principalmente a ensayar materiales poliméricos y materiales compuestos. Por tanto, cabe mencionar algunas características de los mismos.

2.1.1 Polímeros

En lo referente a los polímeros, estos son materiales sintéticos que pretenden realizar funciones similares a los materiales convencionales. Muchos plásticos y cauchos vistos actualmente en el mercado son polímeros sintéticos. La síntesis en los materiales, suelen ser bastante económica, por lo que no es extraño que, en algunas ocasiones, los metales y maderas

sean sustituidos por polímeros, ya que estos se fabrican relativamente a bajo coste y tienen buenas propiedades. Entre las propiedades básicas a destacar de los polímeros, destacamos su baja conductividad, baja densidad y buena resistencia, aunque se ha de decir que las propiedades dependen mucho del tipo de polímero.

La obtención de los polímeros es sencilla. Las moléculas de este tipo de materiales tienen un gran tamaño, y reciben el nombre de **macromoléculas**. Estas moléculas se forman por la unión de muchas moléculas pequeñas, idénticas o no, que forman cadenas largas y flexibles. Las cadenas forman la estructura molecular del material. Dependiendo de la estructura del material, es decir, dependiendo de la disposición de las cadenas moleculares, los polímeros pueden dividirse en cuatro grupos:

- Polímeros lineales
- Polímeros ramificados
- Polímeros entrecruzados
- Polímeros reticulados

Las cadenas de estos polímeros, se muestran en la Figura 4: Esquema de estructuras moleculares

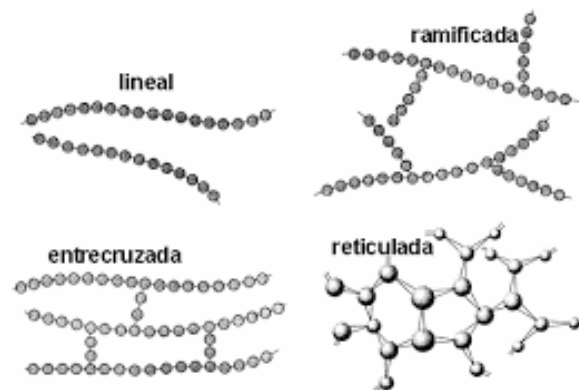


Figura 4: Esquema de estructuras moleculares [6]

- Los polímeros lineales son aquellos cuyas cadenas son las más sencillas posibles, como puede verse en la figura, y por tanto las cadenas más flexibles. Las moléculas quedan unidas por las fuerzas básicas de Van der Waals. Algunos ejemplos de polímeros lineales son el polietileno o el poliestireno.
- Los polímeros ramificados tienen cadenas sintetizadas que están conectadas a otras cadenas secundarias, como se muestra en la Figura 4: Esquema de estructuras moleculares. La ramificación provoca que las densidades sean menores, puesto que las

cadenas principales quedan a una distancia mayor que las cadenas lineales, gracias a sus cadenas secundarias. Un ejemplo de polímero ramificado sería el Poliestireno (PS).

- Los polímeros entrecruzados se caracterizan por tener sus cadenas principales, cadenas secundarias que quedan unidas a otras cadenas principales mediante enlaces covalentes. El entrecruzamiento se realiza mientras se produce la síntesis a elevadas temperaturas. El entrecruzamiento permite una gran elasticidad del material. Un ejemplo de este tipo de polímero es el caucho.
- Los polímeros reticulados, por último, están formados por redes tridimensionales, como puede verse en la Figura 4: Esquema de estructuras moleculares. Esto dota al material de unas propiedades mecánicas elevadas con respecto a otros tipos de polímero, pero carece de una notable elasticidad. Entre ellos es preciso destacar los polímeros fenol-formaldehído y los polímeros epoxi.

Una vez explicadas las posibles cadenas moleculares de los polímeros, se estudian sus propiedades mecánicas, con el fin de poder conocer en profundidad los materiales que se someterán a ensayo en el equipo.

Las propiedades mecánicas de los polímeros se especifican con los mismos parámetros utilizados para los metales: módulo elástico y resistencias a la tracción, al impacto y a la fatiga [7]. Los materiales polímeros pueden comportarse de tres maneras debido al esfuerzo al que están sometidos. Sea cual sea su disposición de cadenas moleculares, seguirán unos de los tres comportamientos que se presentan en la Figura 5: Comportamiento esfuerzo-deformación de polímeros.

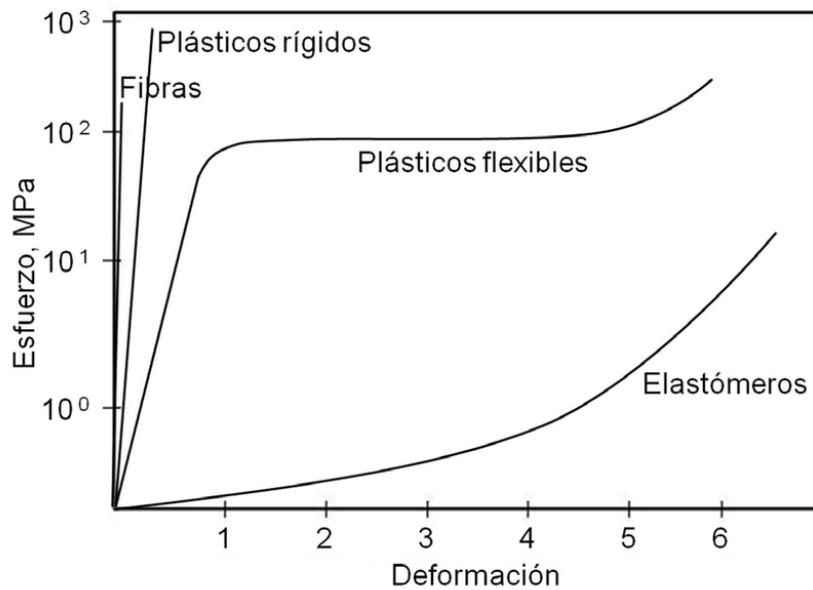


Figura 5: Comportamiento esfuerzo-deformación de polímeros [8]

Como puede verse, existen polímeros frágiles, polímeros flexibles, cuya curva se asemeja a la curva de deformación de un metal, y polímeros elastómeros. Estos últimos son materiales muy elásticos que suelen tener cadenas entrecruzadas para garantizar su elasticidad. Los polímeros frágiles se rompen una vez que empiezan a deformarse plásticamente, mientras que los polímeros flexibles tienen tanto deformación elástica como deformación plástica.

Las propiedades térmicas se relacionan directamente con las propiedades mecánicas. Los polímeros se clasifican según sus propiedades mecánicas y térmicas en tres tipos. Destacar que, por ejemplo, materiales con unas propiedades mecánicas de rigidez, mantienen esa propiedad al calentarse y no ablandan. Por otro lado, materiales más flexibles suelen ablandar al calentarse. De ahí la fuerte relación entre propiedades mecánicas y térmicas, por lo que existe solamente una clasificación para ambas propiedades. Es decir, la siguiente clasificación mide el comportamiento mecánico de los polímeros frente a altas temperaturas. Esta clasificación es la que se seguirá a la hora de diseñar el equipo y la que se sigue en las normas a cumplir en el diseño. Dicho esto, los polímeros se clasifican en:

- Termoplásticos
- Termoestables
- Elastómeros

Los polímeros termoplásticos, son materiales cuyas propiedades se ven afectadas al aumentar la temperatura. Se produce ablandamiento cuando las temperaturas aumentan y endurecimiento cuando disminuyen. Al aumentar la temperatura, la fuerza de los enlaces secundarios se debilita, lo que provoca un mayor movimiento de las cadenas secundarias, dando lugar a la fundición. La

descomposición del material se produce cuando las vibraciones acumulan la suficiente energía como para romper los enlaces covalentes en las cadenas. Los materiales termoplásticos corresponden a polímeros flexibles, cuya curva de esfuerzo-deformación se muestra en la Figura 5: Comportamiento esfuerzo-deformación de polímeros. Los polímeros con cadenas lineales y ramificadas flexibles son termoplásticos. Algunos ejemplos de este tipo de polímeros son el polietileno, polipropileno o cloruro de polivinilo, entre otros.

Los polímeros termoestables, son materiales que endurecen al calentarse y no se ablandan al continuar calentando [9]. Cuando se inicia un tratamiento térmico se forman entrecruzamientos covalentes entre cadenas. Estos enlaces hacen posible que las vibraciones se desplacen con mayor dificultad. Las vibraciones no pueden acumular la suficiente energía como para poder romper los enlaces de las cadenas; solamente, cuando el material se somete a temperaturas extremas, se causa su rotura, pero no puede fundirse, como es el caso de los materiales termoplásticos. Generalmente, los polímeros termoestables son más duros y resistentes que los termoplásticos, pero también bastante más frágiles. Los materiales termoestables siguen una curva de esfuerzo-deformación muy similar a los polímeros frágiles, como se puede ver en la Figura 5: Comportamiento esfuerzo-deformación de polímeros. La mayoría de polímeros con cadenas entrecruzadas y reticuladas, son termoestables. Entre ellos, encontramos algunos ejemplos como las resinas epoxi y fenólicas o el poliéster.

En lo referente a los polímeros elastómeros, su principal característica es la elasticidad. Estos materiales son capaces de sufrir grandes deformaciones elásticas cuando se someten a esfuerzos. Como es de esperar, si los materiales no entran en deformación plástica, recuperan su forma natural cuando se deja de aplicar un esfuerzo. En la Figura 5: Comportamiento esfuerzo-deformación de polímeros, puede verse la curva de deformación de los elastómeros. Como puede verse, el material sufre grandes deformaciones a un relativo bajo esfuerzo. Normalmente, los elastómeros tienen un módulo elástico de aproximadamente 7 MPa. Elastómeros. Estos materiales poliméricos están dotados de una elevada deformación elástica cuando se aplica una fuerza. Se conoce que las cadenas que conforman estos materiales se encuentran “enrolladas”. Cuando se aplica una fuerza, estas cadenas lineales se desenrollan y deslizan unas sobre otras. Esto provoca una baja deformación plástica y una elevada deformación elástica. Algunos ejemplos de ello, serían el material con el que se fabrican gomas elásticas o el caucho.

Los materiales poliméricos, tienen numerosos campos de aplicación. Estos materiales pueden usarse a la hora de fabricar artículos para el hogar, juguetes, gomas elásticas, entre otros.

También pueden usarse algunos polímeros en sustitución de metales en la construcción. No obstante, destacar que tienen mucha menos resistencia y dureza que los metales, pero en algunos casos resulta más económico disponer de polímeros si estos cumplen la función deseada.

Depende de la utilización que se quiera dar, se escogerá el material idóneo según su comportamiento. Por último, los elastómeros suelen emplearse para la fabricación de neumáticos, mangueras de gasolina y aceite, aislantes para baja y alta temperatura, etc...

2.1.2 Materiales compuestos

Actualmente, en la mayoría de las industrias modernas, se requieren materiales con propiedades especiales, que, en muchas ocasiones, no pueden brindar los materiales convencionales. Como se ha mencionado en el *Estado del arte*, las industrias de transportes demandan materiales de baja densidad con gran resistencia y rigidez. De esta manera, se gana en términos de velocidad y coste sin perder la resistencia del material. Por ejemplo, un material de baja densidad en un transporte hará que el sistema tenga menos peso y se consuma menos combustible.

En lo referente a materiales compuestos, estos materiales son aquellos que necesitan de una unión de dos o más materiales. Los materiales compuestos suelen dar una combinación de propiedades de los materiales que se unen, para poder ofrecer un mayor rendimiento que los materiales originales. Se pueden dar combinaciones de rigidez, resistencia a impacto, resistencia a la corrosión, etc...

Existen muchos tipos de materiales compuestos en el mercado, pero, en el presente proyecto, se analizarán los materiales compuestos reforzados con fibras. Solamente decir que, la disposición de las fibras, en términos de orientación y concentración, tienen gran influencia en la resistencia del material. Por ejemplo, resulta lógico que un material tendrá una menor resistencia al esfuerzo si sus fibras están orientadas en la dirección de dicho esfuerzo.

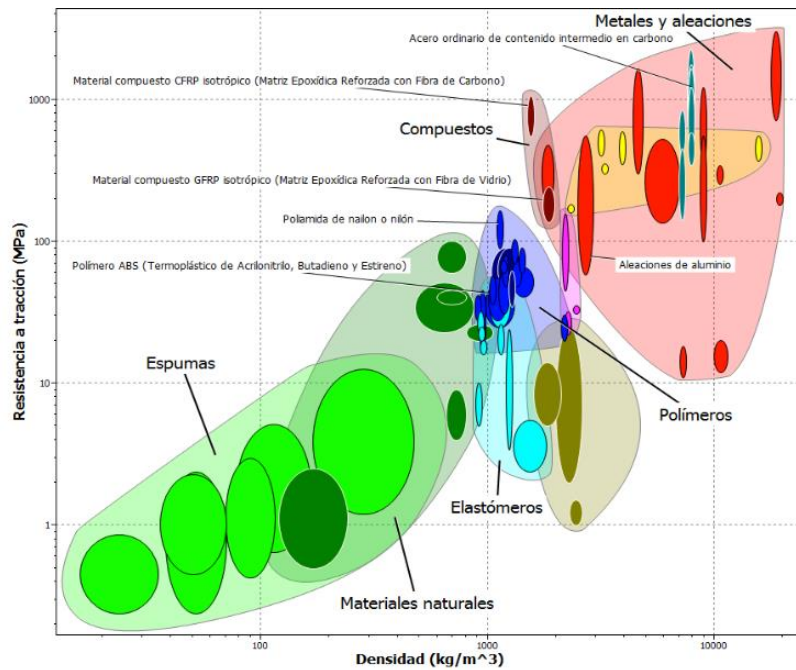


Figura 6: Resistencia de los materiales atendiendo a su densidad

Como puede verse en la figura, los materiales compuestos reforzados con fibras, pueden conseguir una resistencia a la tracción similar a los metales, pero con una densidad mucho menor.

La introducción de fibras se realiza por medio de una matriz dúctil y blanda. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. [10]

Esto supone una gran ventaja en la industria, pues pueden conformarse materiales con buenas propiedades. No obstante, considerar que en algunas ocasiones la conformación de materiales compuestos no resulta económica y no es la solución óptima.

No se entrará en detalle en la explicación acerca de los materiales compuestos, pues no es el objetivo del estudio.

Todos los materiales expuestos hasta ahora, podrán ser ensayados siguiendo la norma UNE EN ISO 6603. Es decir, la norma contempla el ensayo de polímeros termoplásticos, termoestables, elastómeros y materiales compuestos reforzados con fibras.

2.1.3 Adhesivos

El equipo diseñado en el presente trabajo contempla además la norma UNE EN ISO 11343, mediante la cual se analizan adhesivos para la unión de metales. Los adhesivos son

aquellas sustancias que aplicadas entre superficies de dos materiales permiten una unión resistente a la separación [11].

Dependiendo de la unión mecánica a realizar, se dispondrá de cierto adhesivo, ya que existen muchos tipos de adhesivos con diferentes propiedades químicas y mecánicas. La tecnología de adhesivos permite la unión de dos elementos sin tener que disponer de tornillería y taladros en los elementos, pudiendo así sustituir este tipo de uniones cuando sea posible.

Las uniones adhesivas presentan algunas ventajas a mencionar:

- **Unión de distintos tipos de elementos:** Aunque actualmente la unión por soldadura permite soldar algunos elementos fabricados con diferente material, en ocasiones resulta viable y económico la utilización de adhesivos para unir elementos distintos.
- **Distribución de tensiones:** La utilización de taladros con tornillería otorga una gran resistencia a la unión de varios materiales, pero este concepto lleva ligado los picos de tensión que se producen en las uniones. Mediante la unión de adhesivo, se permite que las tensiones provocadas por fuerzas externas en los elementos se distribuyan uniformemente, de modo que no afectan gravemente a la resistencia de los elementos a fatiga.
- **Estética del producto:** La unión adhesiva mejora la estética del producto, ya que las uniones suelen ser lisas y quedan escondidas en el producto.

Los adhesivos se pretenden ensayar mediante este equipo para poder estudiar sus propiedades en lo referente a sus propiedades mecánicas. Por otro lado, pueden ensayarse en términos de durabilidad, ya que una unión adhesiva puede perder su capacidad con el paso del tiempo debido a las condiciones térmicas en las que se encuentre. Es por ello por lo que se pretende dotar a este equipo de la capacidad de realizar ensayos por impacto con arrastre de cuña.

2.1.3.1 Clasificación de los adhesivos

Pueden clasificarse los adhesivos de múltiples formas, ya que existen una gran variedad de bases químicas y elementos que forman el adhesivo.

En el presente trabajo, se clasificarán los adhesivos dependiendo del mecanismo de formación de la unión adhesiva. De esta forma, los adhesivos se clasifican en:

- **Adhesivos prepolimerizados:** Estos adhesivos se caracterizan por estar formados por polímeros ya existentes antes de ser aplicados en la unión, es decir, no existe una reacción del adhesivo en la unión. Entre estos, se encuentran los siguientes:
 - **En fase líquida**

- Soluciones acuosas de origen natural (cementos, caseína, celulosa...)
- Soluciones acuosas de origen sintético (polietilenglicol, polialcohol vinílico)
- Soluciones orgánicas (cauchos, polienos, polidienos)
- Emulsiones (PVC, poliacetato de vinilo, polietileno)
- **En fase sólida:**
 - Adhesivos piezosensibles
 - Adhesivos termofusibles (poliamida, poliéster)
- **Adhesivos reactivos:** se produce el proceso de polimerización mediante reacciones químicas, ya sea por altas calor, rayos ultravioleta o humedad, cuando el adhesivo es aplicado entre los elementos que se van a unir. Esta reacción provoca una estructura altamente reticulada, lo que proporciona una gran rigidez y baja elasticidad en la unión. Entre estos adhesivos se encuentran:
 - **Por poliadición** (anaeróbicos, acrílicos, poliésteres, etc...)
 - **Por policondensación** (resina epoxi, poliuretanos, fenólicos, siliconas de policondensación)

A continuación, se muestra un tipo de ensayo con cuña que guarda similitud con los ensayos a realizar por el equipo.

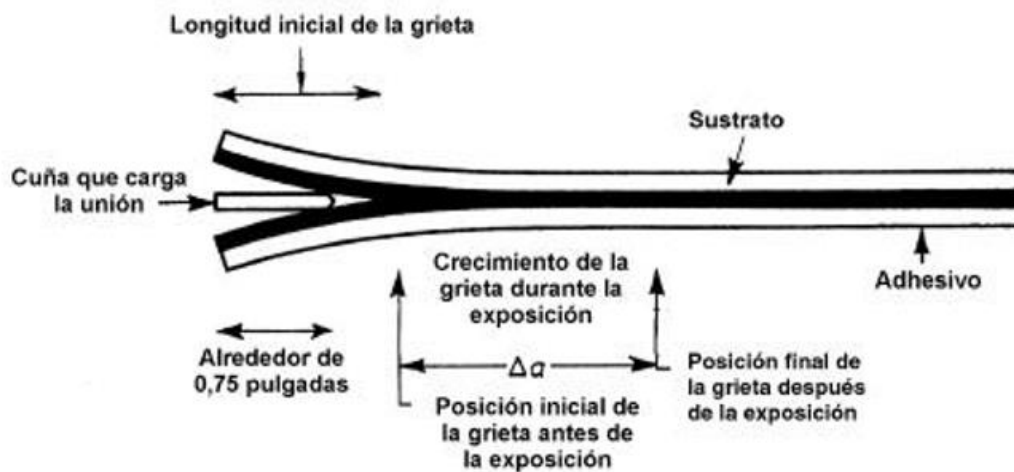


Figura 7: Separación de muestra debido al esfuerzo de una cuña [12]

El ensayo sigue la metodología representada en la imagen. La cuña cargará el adhesivo por medio de un impacto previo, el cual permite que la cuña adquiera la suficiente fuerza dinámica como para desplazarse por la unión adhesiva.

Los adhesivos a ensayar son principalmente poliméricos. Debido a esto, el comportamiento del adhesivo puede ser frágil (tipo A), plástico (tipo B) y elástico (tipo C).

Puede verse la explicación de estos conceptos en **2.1.1 Polímeros**

Capítulo 3

Alcance del proyecto

Analizada la situación actual de los ensayos por impacto, se define el modelo a diseñar, con los objetivos que se pretenden cumplir.

3.1 Justificación del diseño

La defensa del diseño consta de dos partes diferenciadas. Por un lado, el diseño planteado es un diseño complejo, ya que abarca dos funcionalidades, y por otro lado, la situación actual de la demanda de polímeros y materiales compuestos, en continuo crecimiento.

3.1.1 Diseño particular del equipo

A la vista de la situación actual, existen distintos equipos que realizan ensayos por impacto. Pueden realizarse ensayos de muchos tipos, pero actualmente no existe una gran gama de equipos que permitan la realización de varios ensayos. En el presente trabajo se diseña un equipo, el cual es capaz de realizar ensayos por impacto mediante punzón en plásticos rígidos y, por otro lado, ensayos por arrastre de cuña para adhesivos metálicos.

Para que ambos ensayos puedan complementarse y realizarse en un mismo equipo, se diseñaron piezas de forma que puedan ser intercambiables a la hora de realizar cualquier tipo de ensayo. Además de esto, se tienen en cuenta medidas, tanto de los subconjuntos de cada ensayo como distancias de caída, con el fin de que en ambos ensayos las medidas sean idénticas, y se permita, como ya se ha dicho, disponer de un equipo capaz de realizar dos ensayos distintos.

3.1.2 Situación comercial

Además de la gran peculiaridad de este equipo, ya que en el mercado actual no existe una gran variedad de equipos de impacto que contemplen varios tipos de ensayo, es preciso comentar la situación comercial que atraviesa el entorno de los plásticos en la industria.

En primer lugar, cabe destacar que existe actualmente un desarrollo y progreso constante en lo que a polímeros y materiales plásticos se refiere. En la industria, mayoritariamente en industria automovilística y aeronáutica, se desean diseñar medios de transporte en los cuales los materiales poliméricos y materiales compuestos tomen el protagonismo. Este tipo de materiales otorgan buenas propiedades metálicas, además de ser más ligeros y en muchas ocasiones más elásticos, si se requiere. El objetivo principal es que, este tipo de materiales sean capaces de sustituir a los metales en aquellas tareas en las que los materiales plásticos y compuestos sean viables, con el fin de desarrollar medios de transporte más ligeros y con buenas propiedades, lo cual liga directamente con una bajada en el consumo de combustible y un incremento en la velocidad.

Para poder implementar estos materiales en vehículos y en estructuras, es necesario ensayar sus propiedades con el fin de poder saber si estos materiales mencionados son realmente viables para la aplicación. Es por esto que se debe disponer de equipos que puedan ensayar los materiales, y por tanto el diseño de este equipo. Los ensayos por impacto juegan un papel muy importante en la industria automovilística, ya que se permite ensayar los materiales por impacto para observar su comportamiento, además de que puede asimilarse la energía de un impacto a una energía de deformación debido a fatiga a grandes velocidades.

En segundo lugar, actualmente se busca un desarrollo sostenible, tanto en términos de industria como cotidianos. En lo que a la industria se refiere, se buscan materiales que puedan ser biodegradables, con el fin de poder desarrollar productos conservando el medio ambiente y de forma sostenible.

La industria que más se acerca a la sostenibilidad es precisamente la industria de los plásticos. Se buscan materiales poliméricos biodegradables, que puedan ser utilizados en la fabricación de productos, y por tanto, puedan ser ensayados para saber acerca de sus propiedades mecánicas.

El propósito de este diseño se centra principalmente en cubrir estos dos aspectos mencionados: el continuo crecimiento de la demanda en relación con los polímeros y materiales compuestos y, la sostenibilidad de los polímeros en la industria.

3.2 Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es diseñar un equipo de ensayos por impacto para poder ensayar y caracterizar desde el punto de vista de resistencia al impacto, aquellos materiales que teóricamente resultan óptimos a la hora de fabricar nuevos productos.

Con este equipo se permiten realizar un gran número de ensayos de diferente clase, pudiéndose variar la altura o la masa de caída, proporcionando de esta manera diferentes opciones a la hora de ensayar materiales. Esto se debe tener en cuenta, puesto que la variabilidad de ensayo otorga la ventaja de poder ensayar en el mismo equipo materiales con distintas resistencias a impacto.

Para la consecución de este objetivo principal, se han determinado los siguientes objetivos secundarios para el presente proyecto. Estos son los siguientes:

- Diseñar un equipo de ensayos de resistencia por impacto mediante el sistema de caída de masas guiadas. Si bien el diseño se realizase para poder hacer ensayos de acuerdo a normas específicas, se preverá que la máquina pueda incorporar otros ensayos en el futuro.
- Diseñar el sistema de mando para la elevación, posicionado y lanzamiento de tren de cargas en función de los requerimientos del ensayo (masa, velocidad, etc...). Para ello se seleccionará un PLC que permita realizar este tipo de funciones.
- Diseñar los dispositivos necesarios para dar cumplimiento a las normas de ensayo UNE-EN-ISO 6603 y UNE-EN-ISO 11343.
- Diseñar la instrumentación necesaria para poder realizar la adquisición de datos en tiempo real que permita obtener las gráficas fuerza/tiempo de los ensayos. Para ello se seleccionará una célula de carga dinámica capaz de registrar la fuerza durante el impacto, así como el equipo de adquisición de datos y software necesario.
- Diseñar los elementos de seguridad que permitan que la máquina cumpla la directiva de máquinas en términos de seguridad (protecciones contra proyecciones, cierres de seguridad, finales de carrera, etc...).

3.3 Metodología de trabajo

Antes de comenzar a desarrollar en profundidad el equipo y su diseño, es necesario implementar una guía acerca de los procesos que se seguirán a lo largo del diseño. Dado que se

presenta un cronograma con los procesos que se llevarán a cabo, los cuales se detallan a continuación:

- **Búsqueda de información:** A la hora de poder llevar a cabo un proyecto en cualquier campo, es necesario disponer del suficiente conocimiento acerca del mismo, más aún si cabe en las áreas técnicas. En este sentido, se ha hecho una revisión de la situación comercial en primer lugar, para conocer más a fondo la demanda de equipos de ensayos por impacto, con el fin de determinar si el diseño de este equipo es rentable. Por otro lado, en lo referente a los conceptos técnicos, los cuales vienen a ser el grueso de la cuestión, se ha recabado información acerca de los equipos ya existentes de ensayo por impacto, con el fin de estudiar las propiedades de los mismos. Gracias a este tipo de información, se podrá diseñar el equipo presente en este trabajo, dotándolo de características propias y con capacidad de realizar distintos tipos de ensayo.
- **Normativa a seguir:** Una vez recabada la información relevante, es necesario plantear los ensayos que se llevarán a cabo en el equipo a diseñar. El proyecto estará centrado exclusivamente en el diseño y fabricación de un equipo para la determinación del comportamiento de plásticos rígidos a la perforación y la determinación de la resistencia dinámica al agrietamiento de uniones adhesivas. Ambos ensayos, quedan recogidos en las normas UNE-EN ISO 6603 (1,2) y UNE-EN ISO 11343. A partir de ellas se diseñarán los dispositivos que actúan de manera directa en el impacto, tales como yunques, dardos, sujeciones, etc... Esto quedará detallado en apartados posteriores, en los cuales se definirán las propiedades y usos de las piezas, acompañadas de sus respectivos planos de diseño.
- **Croquis previo del equipo a diseñar:** Después de haberse estudiado a fondo las normas de ensayo, se realizó un croquis del equipo para determinar, de una manera general, las dimensiones del modelo. Se determinaron unas dimensiones básicas con el uso del raciocinio, en lo referente a la anchura, altura y profundidad. Las dimensiones óptimas para el equipo son las siguientes: 800 milímetros de ancho, 2500 milímetros de alto y 600 milímetros de profundidad. Esto se ha decidido de esta manera para poder disponer del espacio suficiente para el correcto funcionamiento de los dispositivos, ya sea en la dinámica del ensayo como en la preparación del mismo. Por otro lado, la altura de 2500 milímetros es necesaria para garantizar la altura máxima de un metro, altura necesaria para realizar los ensayos de impacto de polímeros y materiales compuestos.
- **Estudio de los ensayos a realizar y las características de los mismos:** Como ya se ha mencionado anteriormente, el proyecto está centrado en ensayos por impacto o torre de caída. Dependiendo del tipo de ensayo, se realizará un estudio detallado en referencia a

los elementos que participen de forma directa en el impacto. El concepto más importante que hay que tener en cuenta es el material a ensayar. En el caso del ensayo regido por la norma UNE-EN ISO 6603 se ensayarán materiales termoplásticos, termoestables, y materiales compuestos reforzados, entre otros. Se pueden someter a ensayo materiales como el polietileno, polipropileno, resinas epoxis, poliésteres, etc... En lo referente a la norma UNE-EN ISO 11343, se analizará el comportamiento con relación a los adhesivos bajo condiciones de impacto.

- **Diseño del equipo:** Una vez determinados los objetivos, y habiendo recogido la información suficiente en cuanto a características de ensayo y propiedades técnicas, se realiza el diseño del equipo con todas las piezas que son relevantes en el mismo. El diseño se ha desarrollado en SolidWorks Student Edition, de manera detallada. Primero se diseñan las piezas, y a continuación se ensamblan las mismas para conformar la máquina. El ensamblado de la máquina lleva implícito el uso de tornillería, como es de esperar. Una vez concluido el desarrollo mecánico, es necesario la creación de un software simple que realice las operaciones básicas de ensayo. Entre estas encontramos, la subida motorizada del subconjunto de impacto, la liberación de este mismo equipo con las masas previamente añadidas o la altura a la cual se quiere realizar el ensayo.
- **Análisis de resultados:** Tras completar el diseño, se realizarán algunas verificaciones acerca del mismo. Mediante el programa SolidWorks Student Edition, se verificarán todas las medidas, y especialmente aquellas sumamente relevantes, como la altura de caída. Una vez diseñadas las distintas partes de la máquina se realizará un estudio mediante el método de los elementos finitos (MEF) para garantizar la integridad estructural del equipo de ensayos. Para este cometido se empleó SolidWorks Simulation Student Edition, teniendo en cuenta las dimensiones y más a utilizar en los ensayos.
- **Presupuestos:** Este análisis permite conocer de primera mano los costes de fabricación del equipo y el posible precio al que podría venderse la máquina, determinando así la rentabilidad.

A continuación, se muestra un cronograma, con los pasos a seguir para la realización del proyecto. Destacar la relatividad de algunos aspectos tales como reuniones o posibles modificaciones de los objetivos especificados en el cronograma. Se realizará un seguimiento semanal del proyecto y sucesivas reuniones con los directores del proyecto.

[illegible]

Capítulo 4

Diseño del equipo de ensayos por impacto

4.1 Introducción

Una vez planteado el alcance del proyecto, se profundizará en el diseño del equipo, detallando todas las características técnicas del mismo, además de explicar el diseño y todas las partes que lo conforman, desde la zona de ensayos, los diferentes dispositivos, hasta la propia instrumentación de la máquina y el sistema de control.

Antes de comenzar con el diseño mecánico de la máquina, es preciso analizar las diferentes normas que debe cumplir el equipo para la realización de los ensayos y las características de aquellos materiales que se analizarán una vez el equipo esté diseñado.

4.1.1 Normativas de ensayo

Como bien se ha planteado en *Introducción y planteamiento*, las normas que deben cumplir el equipo serán las siguientes¹:

- **UNE EN ISO 6603**

En lo referente a esta norma, consta de dos partes. La parte primera define las características que deben cumplir aquellas partes del equipo que intervienen en el ensayo, ya sea el punzón instrumentado, las masas, además del portador de punzón. La norma UNE EN ISO 6603-1, determina el comportamiento de los plásticos rígidos mediante la realización de ensayos no instrumentados. De esta forma, la norma permite ensayar aquellos materiales que sean termoplásticos rígidos, termoestables y materiales compuestos

¹ Si bien el equipo se ha diseñado teniendo en cuenta estas dos normas, es posible incorporar en un futuro dispositivos de acuerdo con otras normas siempre que el equipo tenga capacidad de energía suficiente

reforzados con fibra. Este tipo de materiales estarán definidos en el apartado de **2.1**

Materiales a ensayar.

Para la fabricación del equipo, la norma explica de forma simple las partes principales para realizar el ensayo siguiendo la misma, tal y como se detalla en la siguiente figura.

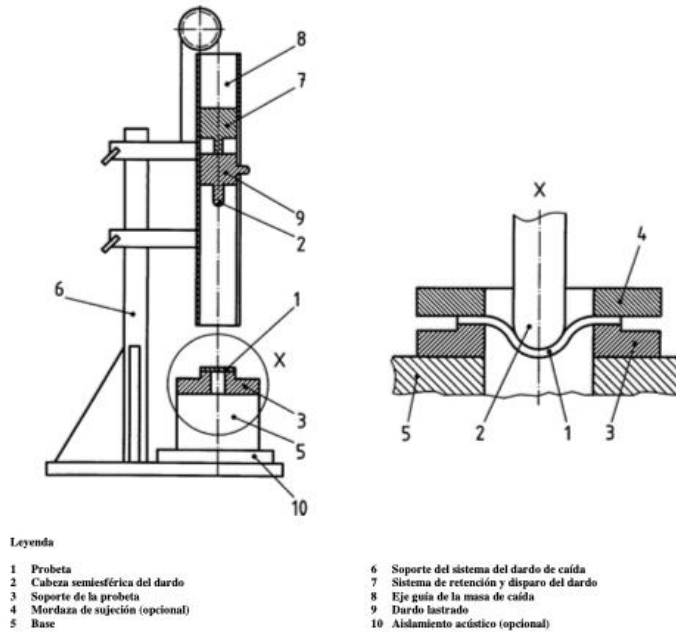


Figura 8: Sistema de caída de dardo [1]

En cuanto a las características de las variables mecánicas, es preciso destacar algunos aspectos. La norma UNE EN ISO 6603 recomienda un punzón de $20 \pm 0,2$ mm de diámetro en la superficie esférica de impacto. El material de esta superficie esférica deberá ser de acero endurecido para herramientas que tenga una dureza superior a 54HRC.

El ensayo puede realizarse de dos formas distintas:

- Altura constante y con masas variables
- Masa constante y altura variable.

En el caso presente, se realizarán los ensayos a altura constante para garantizar una velocidad de $4,4 \pm 0,2$ m/s, variando las masas cuando se requiera una energía de impacto distinta. Finalmente, la norma indica que las probetas han de ser de $140 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de lado, si estas son cuadradas, o de $140 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de diámetro, si estas son circulares,

con un espesor de $4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Por otro lado, también puede ensayarse probetas de $60 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, con un espesor de $2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

La parte segunda de la norma detalla cómo realizar un ensayo por impacto instrumentado. Para ello, se dotará al equipo con una célula de carga piezoeléctrica de 20 kN de capacidad que debe situarse junto con el punzón. En la Figura 9: Dispositivo de ensayo con célula de carga, se muestra la forma óptima de colocar la célula.

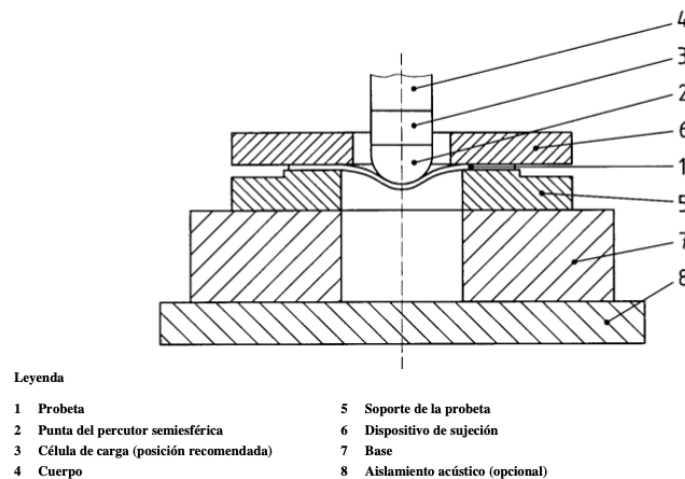


Figura 9: Dispositivo de ensayo con célula de carga [13]

• UNE EN ISO 11343

En esta norma se detalla la forma de realizar los ensayos mediante un dispositivo adaptado a un péndulo tipo Charpy. No obstante, el dispositivo definido en la norma también puede adaptarse a un equipo de ensayo por impacto en caída libre y ese diseño es el que se ha implementado en este trabajo.

Para realizar este ensayo, la norma indica que debe utilizarse una cuña que será arrastrada por el percutor, de forma que pueda ensayarse el adhesivo. Para ello, se deberán adherir dos probetas metálicas de anchura 20 mm, mediante adhesivo. El proceso del ensayo puede entenderse de forma sencilla en la Figura 10: Representación tridimensional del ensayo por impacto en cuña

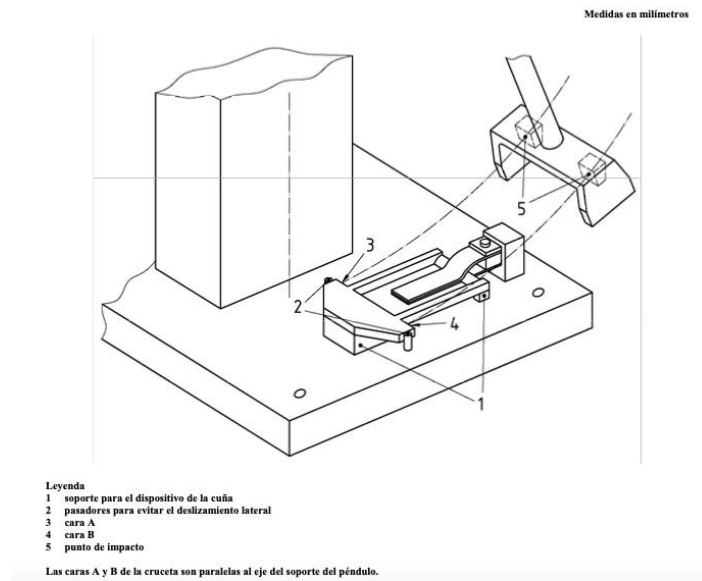


Figura 10: Representación tridimensional del ensayo por impacto en cuña [2]

Como se había mencionado y puede verse en la figura, la norma contempla este ensayo en péndulos tipo Charpy. Como se ha mencionado en el diseño del equipo por impacto en caída libre a diseñar en este proyecto, se contemplarán las modificaciones necesarias para poder llevar a cabo el ensayo siguiendo la norma.

Por otro lado, destacar que el perfil diseñado de la cuña será una pieza clave a la hora de realizar el ensayo. A continuación, se muestra en la Figura 11: Disposición de cuña la disposición de la cuña y la forma de colocar las probetas para realizar el ensayo correctamente.

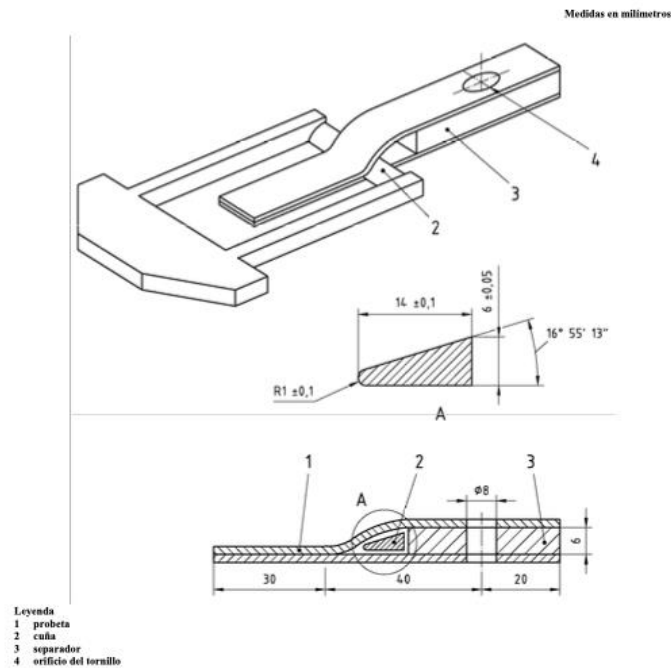


Figura 11: Disposición de cuña [2]

Como puede verse, se disponen ambas probetas de tal forma que la cuña pueda deslizarse por la unión adhesiva mediante el impacto. De esta forma, se pueden analizar diversas propiedades y características del adhesivo a ensayar.

Para la correcta realización del ensayo, la norma UNE EN ISO 11343 estima que es necesario garantizar una velocidad de impacto comprendida entre 3 y 5,5 m/s , además de garantizar al menos una energía de impacto de 50 J y una máxima de 300 J. Destacar que el equipo a diseñar podrá cumplir estas características fácilmente.

4.2 Selección de materiales, tratamientos térmicos y recubrimientos superficiales

Para poder llevar a cabo el diseño, es necesario realizar un estudio acerca de los materiales a emplear en cada pieza para poder fabricar el equipo cumpliendo las especificaciones de las normas.

4.2.1 Selección de materiales

En primer lugar, ha de tenerse en cuenta que, aquellas piezas con gran responsabilidad a la hora de realizar el ensayo, estén fabricadas por materiales que cumplan las exigencias de resistencia y dureza para garantizar que no surjan deformaciones permanentes después de los ensayos y que tengan una notable resistencia al desgaste. Por otro lado, se debe considerar el coste de los materiales, ya que piezas de grandes dimensiones y baja responsabilidad, como por ejemplo las placas base y superior, pueden estar fabricadas con materiales más simples que garanticen el mínimo cumplimiento de funciones.

Para la fabricación del equipo se utilizarán los siguientes materiales:

- **Acero al carbono C45.** Se considera un acero de bajo contenido en carbono. La denominación C-45 se debe a la norma UNE, pero también es conocido según otras normas:

EQUIVALENCIAS		
W.-Nr	DIN	AISI SAE
1.1191	CK-45	1045

Tabla 1: Equivalencias con otras normas del acero C-45

Como se ha mencionado, este tipo de acero contiene un bajo porcentaje de carbono en su composición. Este puede rondar entre el 0,4 y el 0,5% de carbono. Además de contenido en carbono, contiene manganeso y silicio, los cuales no superan el 0,8% y el 0,4 %, respectivamente.

Su bajo contenido en carbono permite que este tenga una resistencia media, tanto a efectos de esfuerzo como a efectos de impacto. Su resistencia normalizada está comprendida entre los 600 MPa y los 750 MPa. Suele utilizarse para fabricar piezas de una baja o media responsabilidad en los equipos, debido a que no posee grandes características en términos de resistencia y dureza. Destacar que este tipo de acero suele utilizarse para fabricar piezas comunes y tiene un relativo bajo coste, de ahí que sea uno de los materiales más utilizados en la industria.

El acero C-45 suele emplearse para fabricar bielas, ejes de pequeña y mediana envergadura, y piezas básicas. Dado su relativo bajo coste y sus buenas características, muchas de las piezas de este equipo se estiman poder fabricarse con este material.

- **Acero al carbono C-15.** Considerado un acero de bajo contenido al carbono. La denominación C-15 es norma UNE, pero también es conocido según otras normas, como

EQUIVALENCIAS		
W.-Nr	DIN	AISI SAE
1.1158	CK-25	1025

Tabla 2: Equivalencias de normas del acero C-15

Este tipo de acero contiene un porcentaje relativamente pequeño de carbono, siendo menor ese porcentaje que en acero . La cantidad de carbono en este tipo de acero está comprendida entre el 0,2 y 0,3 %. No posee grandes características de resistencia a esfuerzos, pero tiene buena resistencia al impacto. Su resistencia, en términos normalizados, está comprendida entre 500 y 600 MPa.

En muchas ocasiones, se utiliza para piezas de poca responsabilidad en los diseños. En el caso de este equipo, algunas piezas como las placas superior y base se fabricarán con acero C-15. Estas placas, debido a sus dimensiones y a su poca responsabilidad en términos de ensayos, se ha decidido fabricarlas con este acero, dado su relativo bajo coste.

- **Acero de temple y revenido 42CrMo4.** Considerado un acero de bajo contenido al carbono. La denominación 42CrMo4 es nomenclatura UNE, pero también es conocido según otras normas, como

EQUIVALENCIAS			
	W.-Nr	DIN	AISI SAE
	1.7225	42CrMo4	4140

Tabla 3: Equivalencias de nomenclatura del acero 42CrMo4

Contiene carbono entre un 0,32 y 0,38%, pero tiene una gran resistencia al esfuerzo y al impacto. Su resistencia oscila entre el 900 y 1000 MPa, aunque en la industria suele tratarse para conseguir una resistencia de 1100 MPa. En este caso, se dispondrá de acero 42CrMo4 tratado, para la fabricación de piezas que tengan una responsabilidad media o alta en términos de ensayo, además de requerir una gran tenacidad. Por tanto, piezas como la cuña para ensayo de adhesivos siguiendo la norma

UNE-EN ISO 11343 o los yunques para ensayo siguiendo la norma UNE-EN ISO 6603 se fabricarán con este tipo de acero.

Decir que, los aceros anteriormente mencionados, forman parte del grupo de aceros para la construcción, o comúnmente denominados aceros de bajo contenido en carbono. También se conocen como aceros hipo-eutéticos, ya que su cantidad de carbono se encuentra por debajo de la cantidad en punto eutético, alrededor de 0,77 % de carbono.

- **Acero de herramientas para trabajo en frío 90MnCrV8.** Este tipo de acero es considerado como un acero de alto contenido en carbono. También suelen conocerse como aceros para herramientas. La denominación 90MnCrV8 se corresponde con la norma UNE, pero también se conoce como

EQUIVALENCIAS			
	W.-Nr	DIN	AISI SAE
	1.2842	90MnCr V8	O2

Tabla 4: Equivalencias de normas del acero 90MnCrV8

Como se ha dicho anteriormente, el punto eutético se relaciona directamente con una concentración de carbono de 0,77%. En este caso, el acero 90MnCrV8 posee entre un 0,9 y 1 % de carbono, de ahí que sea considerado como un acero hipereutético o de alto contenido en carbono. La presencia de manganeso y silicio se hacen notables, no superando el 1,2% y 0,3% de contenido respectivamente. El acero 90MnCrV8, posee una gran resistencia en términos de esfuerzos e impacto. Su resistencia normalizada se encuentra alrededor de los 1290 MPa. Numerosas son los tratamientos térmicos y de acabado que pueden aplicarse a este tipo de acero.

Este tipo de aceros tienen un índice escaso de deformación y una elevada dureza (>58 HRC) , siendo óptimos para la fabricación de herramientas de cortes, punzones, cuñas, u otras piezas que participen directamente en máquinas de ensayo. Debido a sus características, y dado que normalmente suelen templarse, no son rentables para la fabricación de piezas de gran tamaño, ya que su grado de masa puede afectar a la fragilidad del material. Por tanto, habiendo analizado sus características, este material se

utilizará para la fabricación del punzón, debido a la elevada energía transmitida en el ensayo por impacto. Además, al fabricar el punzón con este material, se garantiza que la pieza tenga una gran resistencia al desgaste, y por tanto, una gran durabilidad.

- **Acero inoxidable austenítico 1.4301 X5CrNi18-10.** Tipo de acero inoxidable, también comúnmente conocido como acero fuertemente aleado. Es uno de los aceros inoxidables de la gama 300 más usados en la industria cuando son requeridos, debido a su gran resistencia a la corrosión y excelentes propiedades a la hora de fabricar o soldarse. Este acero, pertenece al grupo de aceros inoxidables austeníticos, con una concentración de carbono por debajo del 0,08%. Debido a que se genera una capa de Cr_2O_3 en la superficie, no será necesario aplicar ningún tratamiento térmico al material. Las piezas que se fabricarán con este material serán piezas pequeñas de media responsabilidad. Piezas que forman parte del sistema de sujeción de probetas para el ensayo siguiendo la norma UNE-EN ISO 11343, tales como separadores de probetas o soportes, serán fabricadas con este material.

En lo referente a sus propiedades, destacar su tenacidad y la excelente resistencia a la corrosión. Se ha decidido fabricar algunas piezas con acero inoxidable, pues resulta óptima su utilización en algunas piezas frente a los aceros convencionales, además de no suponer un coste adicional excesivamente elevado al tratarse de piezas de pequeñas dimensiones.

- **Duraluminio EN AW 6061.** Los duraluminios son una familia de aleaciones de aluminio principalmente aleados con magnesio y cobre, aunque suelen estar presentes otros materiales como el hierro o el silicio. Estos últimos son impurezas constantes dentro de las aleaciones de duraluminio. Se ha elegido la aleación de duraluminio mencionada debido a que es una aleación de fácil manejo para la extrusión.

Las propiedades mecánicas de estos materiales dependen fuertemente del tratamiento térmico aplicado. Estas aleaciones permiten disponer de unas propiedades mecánicas elevadas con respecto al aluminio convencional, pudiendo fabricar piezas con buena resistencia y más ligeras. En el caso que concierne, las placas horizontales del marco del conjunto de masas deberán fabricarse con este material, ya que es capaz de soportar las fuerzas dinámicas del ensayo y proporcionar ligereza al conjunto de masas en vacío. Ha de mencionarse que se desea un conjunto de masas en vacío lo más ligero posible, con el fin de disponer de mayor libertad para colocar masas adicionales.

4.2.2 Selección de tratamientos térmicos y recubrimientos superficiales

Una vez seleccionados los materiales a utilizar para la fabricación del equipo, es necesario detallar algunos tratamientos que recibirán los mismos para poder mejorar algunas propiedades. En concreto, se realizarán dos tipos de tratamientos en las piezas del equipo.

En lo referente a los aceros convencionales, tales como acero C-45 y C-15, o 42CrMo4, éstos se someterán a tratamientos de acabado. Se llevarán a cabo dos tipos de tratamientos de acabado, dependiendo de la pieza, los cuales son:

- **Pavonado:** Se realiza para evitar la corrosión de las piezas, o como mínimo, para reducir los efectos de la misma. El proceso de pavonado es sencillo. Se aplica una capa de óxido que recubre la superficie de la pieza. Normalmente la capa está compuesta por óxido férrico, proporcionando a las piezas un tono negro.

El proceso por pavonado se realizará por calentamiento, calentando las piezas a 400°C, previamente limpias de suciedad y herrumbre y aplicando una solución de asfalto del 25%. Como se ha indicado, este tratamiento de acabado no mejora en propiedades mecánicas y térmicas a las piezas, pero es muy efectivo para disminuir los efectos de corrosión.



Figura 12: Tornillo pavonado [14]

- **Pintado:** Proceso de acabado que proporciona estética a la pieza. No obstante, la capa de pintura puede ofrecer un extra de resistencia a la corrosión, pues la capa de pintura dificulta la interacción de partículas de oxígeno con el material natural de la pieza.
- **Niquelado:** Proceso por el cual se recubre una pieza con una aleación de Níquel y Fósforo sin aplicar ningún proceso en el cual se involucre una fuente de corriente eléctrica. Mediante este proceso se otorga a la pieza un aumento en su dureza, aparte de ofrecer buena resistencia a la corrosión y un aspecto estético. A partir del niquelado puede realizarse el proceso de cromado, el cual en este caso, solamente será en las piezas guía.



Figura 13: Acabado niquelado [15]

- **Cromado:** Proceso de acabado que consiste en proteger, mediante una capa de cromo, la superficie de la pieza. Se aplica a materiales que hayan sido tratados previamente con níquel o cobre, es decir, se aplica sobre piezas cobreadas o niqueladas. Su función, en este caso, será proporcionar un acabado estético a las piezas, además de proporcionar un extra en características anticorrosivas. Únicamente se aplicará las guías del portador de masas. Las guías son piezas que se someterán continuamente a la fricción provocada por el portador de masas en la cinemática del ensayo. Para conseguir el aspecto estético, se aplicarán capas de cromo de bajo espesor en la superficie de las guías.



Figura 14: Acabado cromado [16]

En lo referente a tratamientos térmicos, estos se realizarán únicamente en una pieza; el punzón de impacto para el ensayo siguiendo la norma UNE EN-ISO 6603, se fabricará con acero para herramientas o acero 90MNCRV8. En este caso, para poder dotar a la pieza de una dureza extraordinaria, se someterá la pieza al siguiente tratamiento:

- Temple: el proceso de temple, permite que la pieza obtenga unas propiedades extraordinarias que a priori no tenía. En concreto, se dota al material de una dureza mayor pero también mayor fragilidad. Se calienta el material a una temperatura superior a la crítica, alrededor de unos 840°C. Seguidamente, se deja la pieza a dicha temperatura durante un periodo de tiempo, para posteriormente bajar drásticamente la temperatura de la pieza mediante sumergiendo dicha pieza de inmediato en aceite.

4.3 Diseño de la zona de ensayo

Tras haberse analizado los materiales a ensayar y las normas a cumplir, se comienza a continuación el diseño detallado de la zona de ensayos

4.3.1 Cálculo teórico de las variables principales del equipo

En este caso, se analizarán aquellas variables relevantes a la hora de diseñar el equipo. Dicho esto, se deben calcular de manera precisa las variables cinemáticas y dinámicas que intervendrán en las zonas de ensayos. Entre estas encontramos las siguientes:

- Velocidades: determinar velocidades iniciales y velocidades finales.

- Aceleraciones: determinar la aceleración del percutor. Dado que el equipo es una Torre de caída vertical, la aceleración será la aceleración de la gravedad.
- Desplazamientos: variable a tener en cuenta para la determinación teórica de los trabajos totales, y por tanto la determinación de las energías.
- Fuerzas: A la hora de realizar el ensayo, participan algunas fuerzas que es preciso destacar. Entre ellas encontramos: Fuerzas conservativas (peso) y fuerzas no conservativas (fricción y magnetismo). Las fuerzas externas son nulas puesto que no hay ninguna fuerza externa que influya en el percutor y su dinámica.
- Energías: variables muy relevantes a la hora de solucionar el problema. Las energías que participan en la dinámica son la energía potencial gravitatoria (U) y la energía cinética (K), sabiendo que la suma de ambas da como resultado la energía mecánica (E).

El portador de masas podrá caer libremente desde la altura deseada hasta alcanzar los amortiguadores, los cuales detendrán dicho portador de masas. Por tanto, como es de esperar, este punto será el punto de altura nula o punto de referencia.

Comenzando por leyes básicas, se tiene que la cinemática del percutor sigue una trayectoria rectilínea vertical, llamado también caída libre, que puede aproximarse por el movimiento rectilíneo uniforme. Como se considera aceleración, como es de esperar, las ecuaciones de movimiento relevantes para el problema son las siguientes:

$$E. 1 \quad X = X_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot t^2$$

$$E. 2 \quad v = v_0 + a_x \cdot t$$

Si se despeja el tiempo t de la ecuación $E. 2 \quad v = v_0 + a_x \cdot t$, y sustituimos en $E. 1 \quad X = X_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot t^2$, resulta la siguiente relación.

$$v^2 - v_0^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta x$$

Dada la ecuación, si se multiplica a ambos lados por una masa m , y siguiendo la segunda ecuación para la dinámica de Newton, a determinar por el usuario a la hora de realizar el ensayo, se obtiene:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot (v^2 - v_0^2) = F_{neta} \cdot \Delta x$$

Dado que consideramos la fuerza neta del sistema, se sabe que la parte derecha de la ecuación es equivalente al trabajo total realizado por el sistema. Se considera en la dinámica pues,

que el sistema es el percutor junto con el portador de masas. Se tendrá en cuenta un sistema con una masa que consta de la masa del percutor, la masa del portador y las masas a determinar por el usuario.

Siguiendo con el estudio de la dinámica, se obtiene que el incremento en la energía cinética del sistema equivale a su trabajo total realizado.

$$E. 3 \quad \Delta Kc = W_{total}$$

Por otro lado, en lo referente a las energías potenciales, se tendrá en cuenta únicamente la energía potencial a causa de la gravedad. Se quiere decir por tanto, que no se tienen en cuenta energías potenciales elásticas.

La energía potencial, está directamente relacionada con la fuerza conservativa del peso. Esto es, que el trabajo realizado por esta fuerza sería nulo si seguimos un camino cerrado. En el caso del equipo de ensayos, el trabajo de las fuerzas conservativas sería nulo si el sistema del percutor volviera al origen tras realizar el ensayo. Este valor de trabajo, por tanto, no será nulo, pues el sistema se mueve dinámicamente desde el origen, llámese punto 1, hasta el punto de impacto, llámese punto 2. De esta manera:

$$W_c = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l} = -\Delta U$$

A causa de que la gravedad entra en juego, y se considera que los sistemas de referencia en el eje “y” tienen sentido positivo, el trabajo realizado por la gravedad hace decrecer en valor la energía potencial. De esta manera, si se realiza la integral, se tiene que:

$$E. 4 \quad U - U_o = mgh = -Wc$$

Considerando que $F=mg$.

Una vez consideradas las energías que participan en el sistema (recordar que el sistema es el conjunto masas-percutor-portador), se realiza un balance de trabajos originados por las fuerzas que intervienen en la dinámica del sistema.

$$E. 5 \quad W_{total} = W_{ext} + W_{nc} + W_c$$

Siendo:

- W_{total} : el trabajo total del sistema
- W_{ext} : el trabajo a causa de las fuerzas externas al sistema

- W_{nc} : el trabajo a causa de las fuerzas internas no conservativas
- W_c : el trabajo a causa de las fuerzas conservativas

Sustituyendo las ecuaciones E. 3 $\Delta Kc = W_{total}$ y E. 4 $U - U_o = mgh = -W_c$, en la ecuación E. 5 $W_{total} = W_{ext} + W_{nc} + W_c$, se tiene que:

$$\Delta Kc = W_{ext} + W_{nc} - \Delta U$$

Bien es sabido que, no existen fuerzas externas en el sistema. Es decir, nuestro percutor realiza el ensayo en caída libre desde una altura predeterminada. Además de esto, las fuerzas no conservativas como la fricción con las guías o el rozamiento con el aire son despreciables. Por tanto, se tiene:

$$\Delta Kc + \Delta U = 0 = \Delta E_m$$

Por tanto, la energía de impacto queda definida por la energía potencial en el punto inicial, o la energía cinética en el punto final.

$$E_m = m \cdot g \cdot h$$

Siendo

- m : la masa total de las partes móviles (conjunto de masas, incluido punzón y marco)
- h : altura de caída
- g : aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Se cumple el principio de la conservación de la energía, por lo que la energía potencial se transformará en energía cinética en el punto de impacto. La velocidad del percutor será una variable de gran relevancia en el ensayo.

Tomando como referencia el punto de impacto (punto 2), y sabiendo que la altura del punto inicial es de un metro, se determina que la velocidad en el momento del impacto es,

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = 4,429 \text{ m/s}$$

tomando como aceleración, la aceleración de la gravedad (g).

La norma UNE EN ISO 6603 indica que la velocidad recomendada es 4,4 m/s, por lo que el valor es correcto. Dependiendo de la masa variable que se disponga en el portador, se podrán obtener unas energías de impacto u otras. En el caso del equipo, se ha establecido que la energía máxima de impacto será de 200 J. De esta forma, se cumplen ambas normas.

4.3.2 Diseño 3D del equipo de ensayos por impacto

El diseño 3D se ha llevado a cabo mediante el programa de diseño SolidWorks Student Edition

En el presente apartado se analizará en profundidad el diseño del equipo de ensayo. Se pondrá especial atención en aquellas piezas y conjuntos que intervengan directamente en el ensayo, y, por tanto, formen parte del marco de ensayos. Se pretende estudiar el diseño de los portadores de masas, dependiendo del tipo de ensayo, y las longitudes a las que estos deben ser elevados para cumplir las normas de caída a un metro. Además de esto, se estudiará el diseño de masas calibradas para poder variar la masa del portador y obtener la energía requerida.

Como se ha mencionado en repetidas ocasiones, el equipo podrá realizar dos tipos de ensayos distintos, aunque ambos se basan en la filosofía de ensayos por impacto. Es preciso destacar que ambas normas contemplan ensayos distintos (*ver 4.1.1 Normativas de ensayo*), de forma que, se necesitarán piezas específicas que solamente serán válidas para cada ensayo.

Las normas siguen unas restricciones que es necesario cumplir para poder realizar los ensayos de forma correcta. En primer lugar, la norma UNE EN ISO 6603 contempla que la velocidad de impacto debe ser de 4,2 m/s, con una tolerancia de $\pm 0,2$ m/s. Esta velocidad, se conseguirse con altura de un metro (*ver 4.1.1 Normativas de ensayo*). En segundo lugar, la norma UNE EN ISO 11343, de ensayo de adhesivos, contempla restricciones en la energía de impacto. Se permite una energía entre 50 y 300 J. Por otro lado, se indica que, la velocidad de caída para ensayo por impacto de adhesivos debe oscilar entre 3,3 y 5,5 m/s. Debido a estas restricciones, y dado que los objetivos del proyecto se encuentran entre las mismas, se ha considerado que el portador de masas podrá tener una masa máxima aproximada de 20 kilogramos, equivalentes a 200 J de energía, para la cual se han de diseñar masas calibradas complementarias que permitan variar la masa del conjunto. Además, se debe tener en cuenta que, la altura no podrá variar de un metro en el caso de realizar un ensayo por impacto de plásticos rígidos (UNE EN ISO 6603), puesto que se debe garantizar una velocidad de impacto de 4,2 m/s. Bien es cierto que no existen restricciones en relación con la energía de impacto, por lo que se

puede variar la masa libremente. Sin embargo, para la realización del ensayo de adhesivos (UNE EN ISO 11343) hay menos restricciones. En este caso, se puede variar tanto la masa como la altura de caída, ya que existe un intervalo de variación, tanto en energías de impacto como en velocidades. De esta forma, se puede obtener una gran variabilidad en las condiciones del ensayo a la hora de ser realizado por el operario.

4.3.2.1 Dispositivos

El equipo dispone por dos dispositivos, uno para cada tipo de ensayo. Cabe destacar que cada ensayo cuenta con su propio dispositivo para poder fijar la probeta, ya sea un plástico a ensayar por impacto en caída libre o un adhesivo para uniones metálicas. La parte inferior de estos dispositivos serán las bases, las cuales deben ser utilizadas según qué tipo de ensayo se realiza. Por otro lado, en la parte superior, se dispone de los conjuntos de masas. El conjunto de masas consta de un marco, en el cual se pueden montar las masas calibradas, con el fin de poder ensayar materiales variando la energía debida a la dinámica del ensayo. Es preciso decir que el marco del portador de masas es común en ambos tipos de ensayo, pero las piezas que participan directamente en el impacto son específicas para cada tipo de ensayo. Las piezas que participan en el ensayo por impacto en plásticos rígidos (UNE EN ISO 6603) no son válidas para la realización de ensayos de adhesivos (UNE EN ISO 11343), y por tanto deben ser reemplazadas por aquellas piezas diseñadas únicamente para este tipo de ensayo.

En lo referente al ensayo de impacto por caída libre para plásticos rígidos, se aloja la probeta, preferiblemente circular, en la base dotada para ello. La base consta de dos columnas, que se fijan a una placa en la parte inferior. Las columnas, en su parte superior, sujetan una pieza circular con cierto grosor en la cual se alojan los yunques correspondientes. Esta pieza circular para los yunques, aporta la resistencia suficiente para garantizar la máxima seguridad en la realización del ensayo. Debido a la existencia de esta pieza, los yunques quedarán fijados, de modo que no se permita el movimiento de estos durante la realización del ensayo.

Los yunques, por su parte, deben cumplir la norma de acuerdo con la geometría de las probetas. Estos yunques solamente deberán ser utilizados cuando se realice un ensayo de caída libre en plásticos y materiales compuestos (UNE EN ISO 6603) ya que este es su único propósito. Los yunques deben ser fabricados con acero 42CrMo4 tratado, debido a que este aporta la resistencia suficiente como para soportar la dinámica del ensayo, en términos de fuerzas derivadas del impacto.

A continuación, se muestra una imagen que hace referencia a la base anteriormente mencionada.

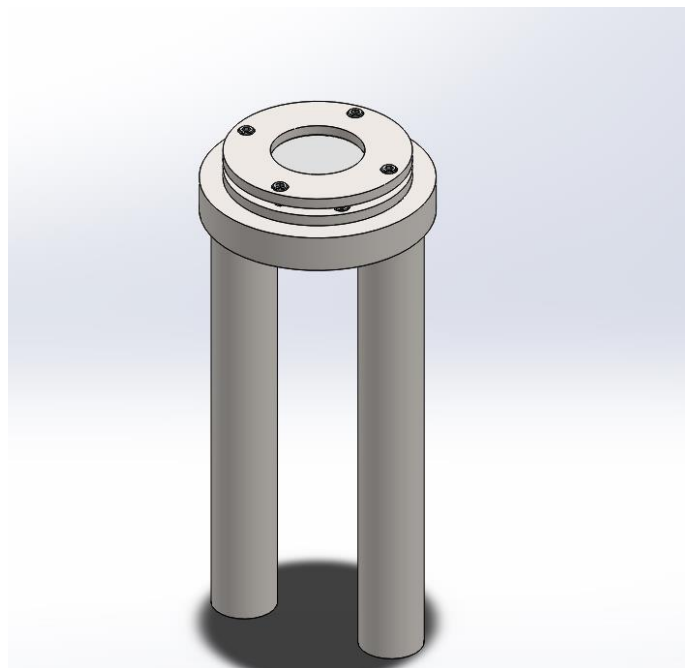


Figura 15: Base para ensayo de plásticos y materiales compuestos

La altura total de la base es de 580 milímetros, altura máxima necesaria para garantizar una caída libre de las masas de un metro. Tanto las columnas como la pieza de alojamiento serán fabricadas en acero C-45, acero con características de resistencia y rigidez suficientes para soportar fuerzas derivadas del impacto.

Se necesitan dos yunques, un yunque inferior y un yunque superior circulares, para sujetar la probeta por ambas caras. Cabe recordar que la probeta a ensayar debe ser preferiblemente circular de 140 milímetros de diámetro o en su defecto de 60 milímetros. Se muestra a continuación, un esquema de la norma UNE EN ISO 6603, con referencia al posicionamiento de los yunques.

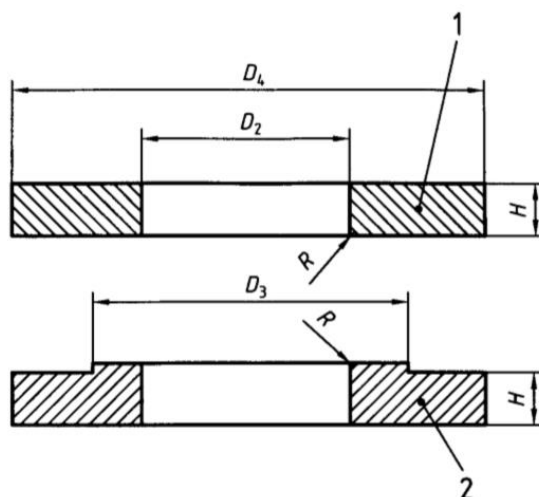


Figura 16: Disposición de los yunques atendiendo a la normativa [1]

Como se puede apreciar en la figura, se indican una serie de medidas de diámetro de los yunques. La norma UNE EN ISO 6603 contempla que pueden ensayarse probetas de plástico rígido de 140 y 60 milímetros de diámetro. Para ello, se ha decidido que deben fabricarse yunques con el mismo diámetro exterior, pero con distinto diámetro interior si se requiere. Por tanto, se pueden disponer de dos conjuntos de yunques, tanto inferior como superior. Uno de los conjuntos debe tener un diámetro interior de 100 ± 5 milímetros, según la norma, y otro conjunto debe tener un diámetro interior de 40 ± 2 milímetros. De esta forma, las posiciones de las columnas y la pieza de alojamiento de yunques no se ven alteradas.

Es preciso destacar que, para poder fijar los yunques en la posición correspondiente, se dispondrá de una serie de taladros M10, dispuestos de forma circular en los yunques. Estos detalles de montaje se encuentran especificados en los planos, tanto de las respectivas piezas como en planos de montaje.

Se muestra una figura en la que se ilustra el diseño de los yunques, tanto inferior como superior.

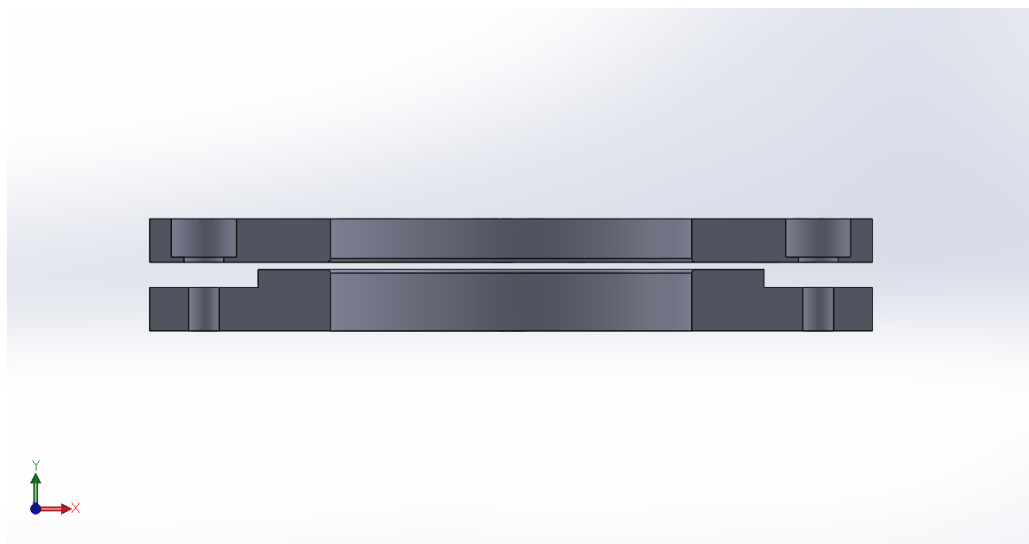


Figura 17: Diseño y disposición de los yunques del equipo

Una vez aclarados estos conceptos, se pasa a analizar el conjunto masas, o portador de masas, el cual en este caso está dotado de un punzón para la realización del ensayo por impacto.. El marco es, esencialmente, de aluminio y se compone por dos travesaños, superior e inferior, de duraluminio, que permite al portador ser lo suficientemente resistente como para soportar el impacto sin deformación. El hecho de fabricar las placas en duraluminio aligera el conjunto, de tal forma que este tenga la mínima masa posible en vacío. En el travesaño superior, se encuentra alojada una pieza de enganche, que sirve para que un actuador neumático pueda recoger el dispositivo desde su posición inicial y elevarlo a la posición deseada. Este mecanismo queda detallado más adelante (ver **4.6.1 Disposición del cilindro neumático y unión mecánica**). En el travesaño inferior, se aloja el punzón, junto con las piezas necesarias para su unión mecánica. El marco se cierra mediante dos perfiles de aluminio de 30x30 milímetros de sección.

Finalmente, se dispone de una varilla roscada de acero en el centro de los travesaños. La varilla tiene varias funcionalidades que es preciso destacar. La principal función de la varilla es permitir el alojamiento de las masas calibradas en el conjunto. Se depositan las masas con las ranuras en la varilla y, mediante una tuerca previamente insertada en la misma, se fijan las masas calibradas. Además, aporta una gran rigidez al conjunto dado que su posición de montaje coincide con el eje de impacto. El portador, sin masas calibradas incorporadas, acumula una masa en vacío de 8,15 kilogramos. Debido a esta limitación, con este dispositivo no podrán realizarse ensayos inferiores a 80 J de energía de impacto debido a la dinámica, dado que no es posible variar la altura puesto que se debe garantizar una velocidad de 4,2 m/s.

En lo referente a las piezas que unen mecánicamente el marco con el punzón, cabe destacar algunos aspectos. Existen varias piezas, lo suficientemente largas como para aportar la longitud suficiente para garantizar una mínima penetración del punzón sobre el material a ensayar. En concreto, el punzón podrá sobrepasar el material de ensayo, si se genera rotura, en un máximo de 90 milímetros hasta alcanzar el punto de altura nula o referencia. Además de esto, se dispone de varias piezas para componer el punzón. Esto es así para proporcionar rigidez al conjunto, y que este no sufra pandeo en el momento del impacto. Mediante la unión de varias piezas roscadas, se permite una mayor resistencia, dado que las piezas tienen diferentes secciones.

Se muestra una imagen en 3D del diseño del portador de masas o conjunto de masas para ensayo de plásticos y materiales compuestos.

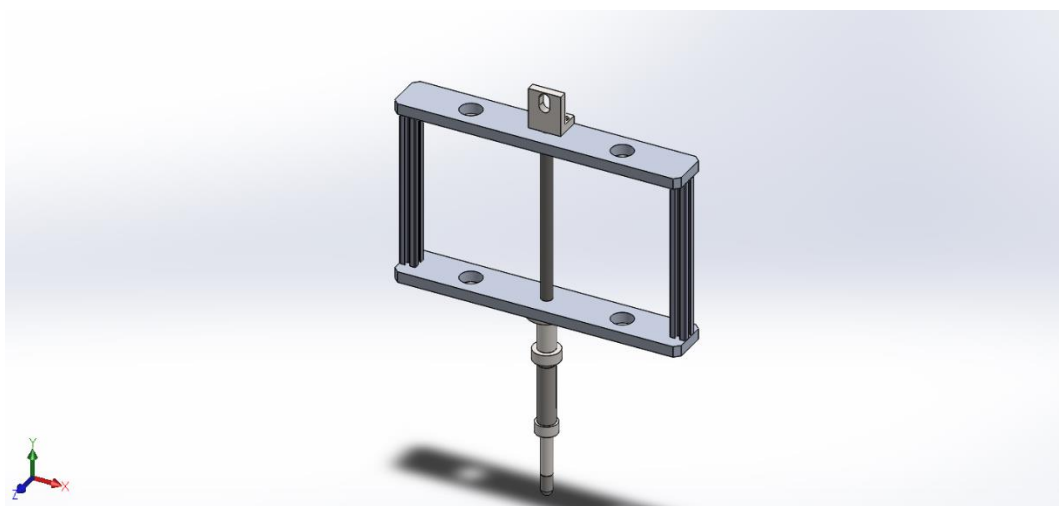


Figura 18: Conjunto de masas para ensayo de plásticos rígidos

En lo referente a los ensayos de adhesivos (UNE EN ISO 11343), cabe destacar algunos aspectos. Como se ha mencionado, el marco es común para cada ensayo. Por tanto, se deberá cambiar el sistema de punzonado según el ensayo que se vaya a realizar. Para realizar el ensayo de adhesivos, es necesario arrastrar una cuña por el adhesivo a causa de un impacto (ver **4.1.1 Normativas de ensayo**). Para ello, el portador de masas estará dotado de dos placas paralelas separadas una longitud específica, de forma que pueda arrastrar el utensilio que sustenta la cuña. En cuanto a la longitud de dichas placas, se ha calculado una longitud que permita, si se produce separación de las probetas, un sobrepaso en la longitud desde el punto de impacto de 90 milímetros. Como la longitud de sobrepaso es la misma en ambos ensayos, no se necesitará subir el portador a una distancia específica para cada ensayo, pudiendo subir siempre, independientemente del tipo de ensayo, hasta la misma posición.

El portador de masas para ensayo de adhesivos es el siguiente.



Figura 19: Conjunto de masas para ensayo de adhesivos

Como se puede apreciar en la figura, únicamente se reemplaza el sistema de punzonado, específico para la norma UNE EN ISO 6603, por el sistema diseñado para el ensayo de adhesivos de uniones metálicas. Las placas llevan incorporadas unas ranuras con el fin de garantizar una masa equivalente a la masa del portador con el sistema de punzonado por impacto directo. Esto es, ambos dispositivos, tanto el conjunto destinado para ensayo por impacto como el conjunto destinado para ensayo de adhesivos, tienen una masa de aproximadamente 8 kilogramos. Las dos placas con ranurado impactan sobre una pieza en la cual se aloja la cuña, que a su vez se encuentra suspendida en la unión de probetas debido al adhesivo. Tanto la cuña como la pieza en la que deben impactar dichas placas, se encuentran en la base de ensayo. Es lógico por tanto pensar que la base para el ensayo por impacto en caída libre no será válida en el ensayo de adhesivos. Se ha diseñado un sistema de alojamiento específico para alojar la cuña y las probetas a ensayar. A continuación se muestra una ilustración de dicho sistema.

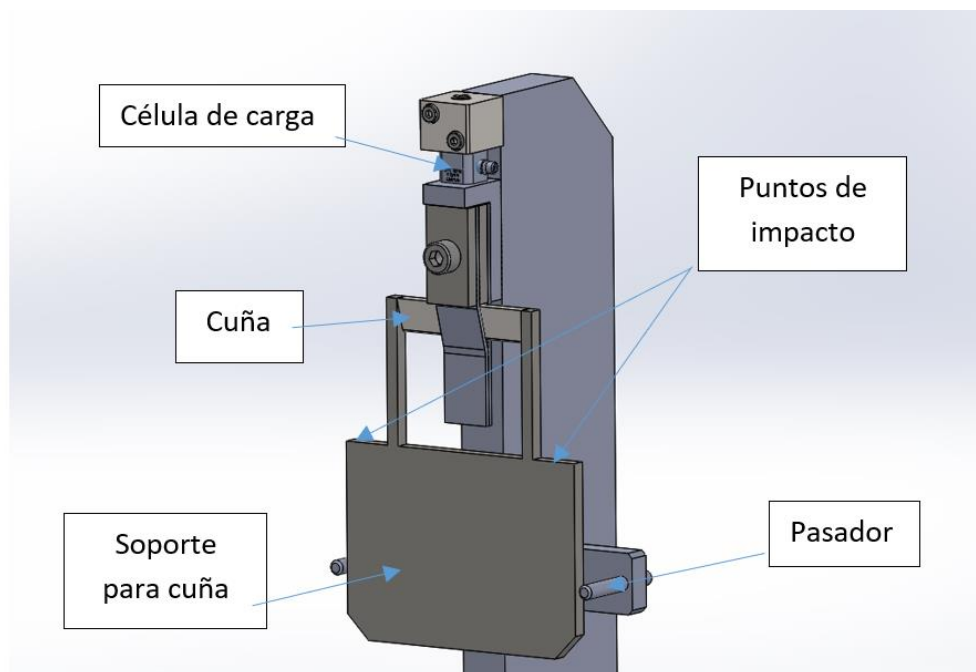


Figura 20: Base para ensayo de adhesivos

Como puede apreciarse, la cuña se encuentra suspendida entre las dos piezas de la probeta. La cuña está unida a la pieza soporte, en la cual impactarán las placas con ranura anteriormente mencionadas. Esta pieza soporte, se encuentra dentro de unos márgenes delimitados por dos pasadores. Estos pasadores cumplen una función muy sencilla, que no es más que servir de guía a la pieza soporte para evitar desplazarse en otra dirección que no sea la dirección vertical descendente cuando reciba el impacto.

Las dos piezas que componen la probeta se unen en su parte inferior con adhesivo, quedando libres en la parte superior. En la parte superior las piezas se encuentran separadas por un separador. Es preciso decir que las piezas deberán tener un taladro para poder ser atornilladas y fijadas en la posición de la figura. Todas estas aclaraciones se contemplan en la norma para adhesivos de uniones metálicas.

Se dispone, en la parte superior del sistema, de una célula de carga para poder medir la fuerza de impacto en el sistema cuando se produzca el ensayo. La célula de carga se encuentra atornillada por las caras en contacto con las piezas adyacentes. De esta forma, en la parte superior de la célula de carga, se tiene una brida fija, la cual se atornilla a la célula. En la parte inferior de la célula, se tiene un soporte en “L”, también fijado a la célula mediante tornillo, en el cual se alojan las piezas y el mecanismo de cuña anteriormente mencionado. Cuando el soporte recibe el impacto, la célula sufre una deformación elástica y es capaz de registrar la fuerza del ensayo que

es proporcional a la deformación. Más información sobre el funcionamiento de la célula se encuentra en **5.2.1 Selección de célula de carga o sensor de fuerza**

A continuación, se muestra el momento justo antes de producirse el impacto.

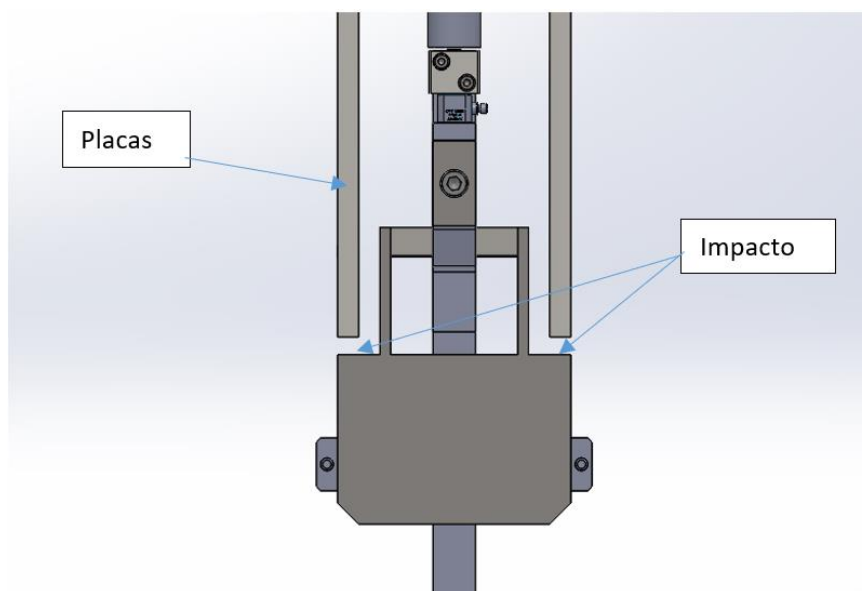


Figura 21: Impacto de las placas en soporte para cuña

El impacto produce el arrastre de la cuña a través del adhesivo. De esta forma, midiendo la fuerza mediante la célula de carga, se permite saber qué fuerzas el adhesivo es capaz de soportar y qué fuerzas superan la resistencia del adhesivo y separan las piezas.

4.3.2.2 Piezas y mecanismos relevantes

Es necesario analizar las piezas que participan directamente en el ensayo, aquellas que entran en contacto con el material que se pretende ensayar, ya sea un plástico o un adhesivo para unión metálica. Estas piezas han recibido el nombre de “piezas relevantes”, que son las siguientes:

- **Punzón:** En lo referente a esta pieza, solamente será utilizada en los ensayos de plásticos y materiales compuestos (según norma UNE EN ISO 6603). El punzón será el encargado de impactar contra el material que se pretenda ensayar. Su estructura es simple. El punzón consta de un pequeño cilindro macizo de 20 milímetros de diámetro que acaba en media esfera del mismo diámetro. Esta semiesfera será la encargada de entrar en contacto con

la muestra a ensayar. En la parte superior del punzón, debe mecanizarse una rosca macho, con el fin de poder unir mediante rosca el punzón al soporte que lo sustenta. Se ha previsto una rosca macho de 8 milímetros de diámetro. A continuación se muestra una imagen del punzón.

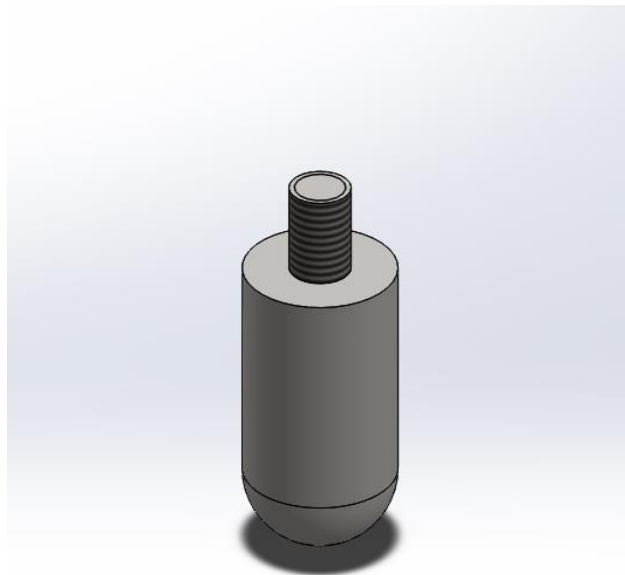


Figura 22: Punzón para ensayo de plásticos y materiales compuestos

Es necesario mencionar que, debido a la gran energía producida por la dinámica, el punzón en su totalidad debe ser fabricado con un material especial, que proporcione la dureza suficiente para que el punzón sufra las mínimas deformaciones en el ensayo y soporte la energía del impacto. Para ello, se ha estimado fabricar el punzón con acero 90MnCrV8 de la familia de aceros para herramientas. Este tipo de acero, una vez tratado, tiene una gran rigidez y dureza, siendo idóneo para la fabricación de punzones y herramientas, como ya se ha explicado.

- **Marco de probetas para ensayo de adhesivos:** El marco para probetas es de uso exclusivo para ensayos de adhesivos, los cuales se rigen por la norma UNE EN ISO 11343. El marco consta de la cuña para ensayos y el soporte para la misma. La cuña estará en continuo contacto con el adhesivo durante el ensayo, por lo que se fabricará con acero 42CrMo4 tratado. Por otro lado, el marco de ensayos se fabricará con acero inoxidable austenítico (AISI 304). Como se ha explicado anteriormente, las placas del conjunto de masas impactan sobre el soporte que, unido a la cuña, se desplazan de forma vertical y descendente, atravesando el adhesivo y separando las piezas o, en su defecto, no

desplazarse si el adhesivo tiene una gran resistencia a la separación. Se muestra una imagen del marco.

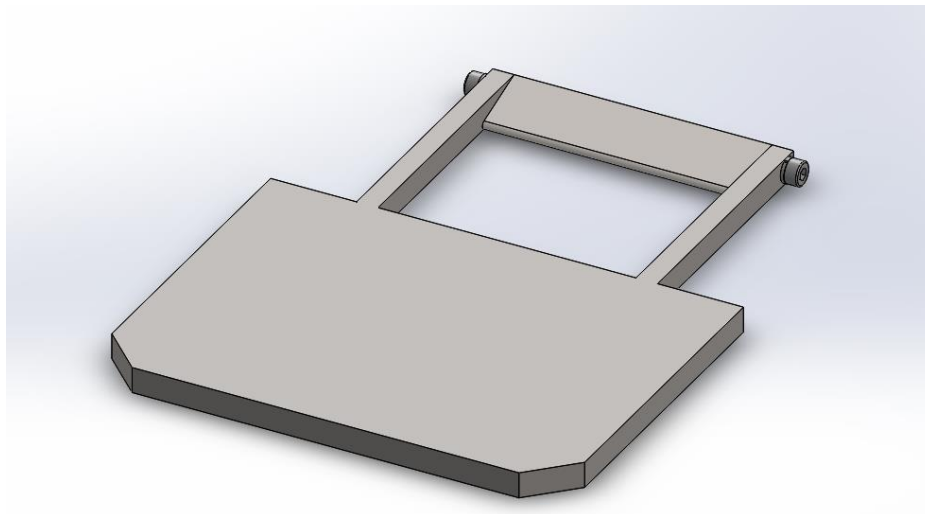


Figura 23: Marco de probetas formado por cuña y soporte

- **Resortes elastoméricos:** Se disponen de dos resortes con gran capacidad de deformación elástica en la base del marco de ensayos. El conjunto de masas, alcanzará su punto final de dinámica cuando llegue a la base de ensayos. Esto quiere decir que impacta primeramente sobre la muestra a ensayar, y, si consigue deformar la muestra lo suficiente o atravesarla, encontrará su punto final en los resortes. Estos resortes tienen la función de amortiguación de la vibración, además de absorber una gran cantidad de la energía debida a la dinámica que transforman en energía de deformación. De esta forma, se evita que el conjunto de masas absorba gran parte de la energía resultando en posibles deformaciones en el mismo.

Los resortes de los que se disponen tienen la resistencia suficiente como para soportar una carga de 192 kg sin deformar plásticamente, lo cual es más que suficiente para el caso que concierne. La disposición de estos resortes se puede ver en la siguiente figura.

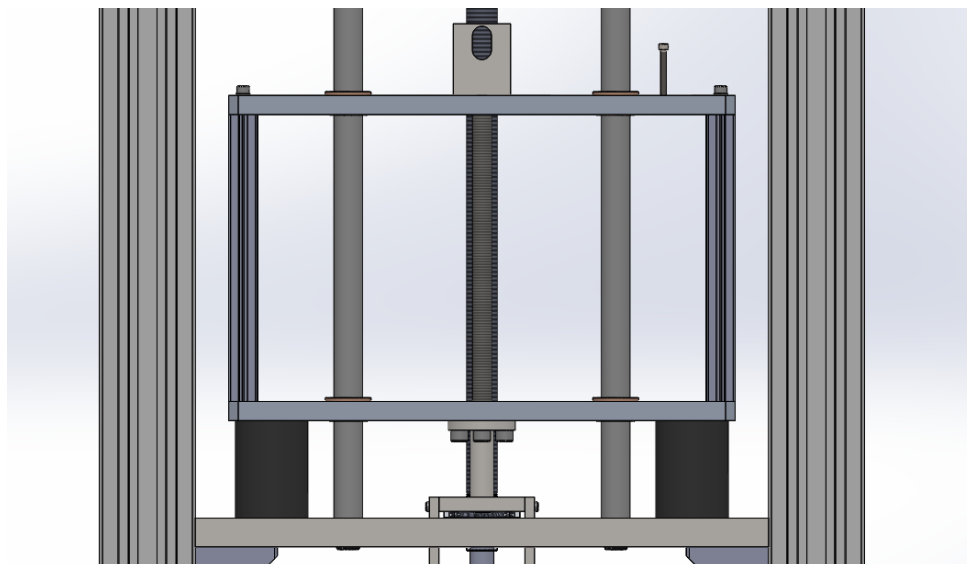


Figura 24: Resortes elastoméricos

La altura de los resortes es de 102 milímetros, los cuales se han tenido en cuenta para el cálculo de las alturas (ver **4.3.3 Cálculo de alturas necesarias para ensayo**). Las dimensiones de estos resortes pueden verse en el plano (ver *plano resortes elastoméricos*).

4.3.2.3 Masas calibradas

Se ha estimado, debido al diseño y sus características (ver **4.5 Análisis estructural de los elementos relevantes del equipo**) que la energía máxima a la que puede operar el equipo en sus ensayos sea de 200 J. Es por esto que se requiere una masa de 20,387 kg como máximo. Es necesario recordar que los conjuntos de masas, uno por ensayo, tienen una masa en vacío (esto es, sin masas calibradas) de 8,15 kg o, lo que es lo mismo, aporta una energía en vacío de 80 J. Es por tanto lógico pensar que deben añadirse masas si se quieren realizar ensayos con energías mayores. Por esta razón se han diseñado masas calibradas de distinto peso. Las dimensiones de las masas se han calculado con referencia a las energías de ensayo. Esto quiere decir que, las masas no serán de valores redondeados, porque lo que se pretende conseguir son energías exactas. A continuación, se muestra una tabla con las masas de las que se dispone.

MASA	ENERGÍA	CANTIDAD
2,5484 kg	25 J	2
2,038 kg	20 J	1

1,019 kg	10 J	5
----------	------	---

Tabla 5: Masas calibradas

El diseño de las masas es el siguiente. Todas las masas tienen la misma longitud y profundidad. La medida que varía según la masa es el espesor. De este modo, se sigue el siguiente cálculo a la hora de determinar dicho espesor.

Se plantea el diseño de las masas con sección en planta rectangular y un fresado en el punto medio para su sujeción al conjunto de masas. El diseño sigue la siguiente imagen.

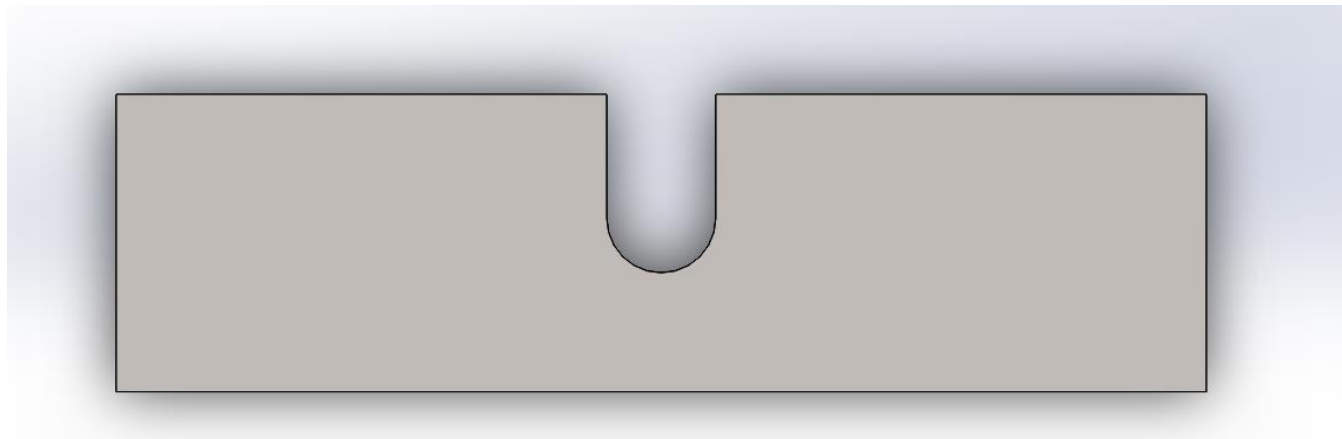


Figura 25: Diseño de masa calibrada

Considerando que las masas se fabricarán con acero C-45 o C-15, se determina una densidad a efectos de cálculo de 7850 kg/m³.

Dado que $d = \frac{m}{V}$, siendo “d” la densidad, “m” la masa y “V” el volumen:

$$V = 220 \cdot 60 \cdot z - \left(25 \cdot 22 \cdot z + \frac{\pi \cdot 11^2}{2} \cdot z \right)$$

Todas las masas tienen una sección en planta de 220 x 60 mm². Como se ha dicho, la variable dependiente de la masa que se quiera conseguir será la altura z. Sabiendo la masa que se quiera conseguir, ya sea 1,019 kg, 2,038kg o 2.5484 kg, se sabe en todo momento el valor de volumen deseado. Mediante la fórmula, se despeja la variable “z”. En ancho del ranurado, el cual corresponde con el diámetro de la media circunferencia, es de 22 milímetros, debido a las dimensiones de la varilla a la que deben sujetarse.

La disposición de las masas puede verse en la siguiente figura:

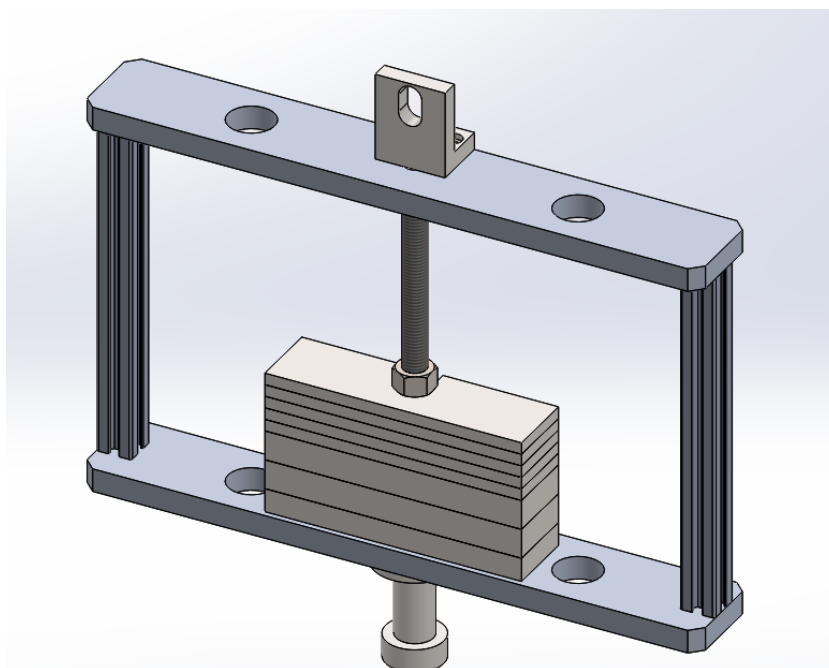


Figura 26: Conjunto de masas con masa máxima

4.3.3 Cálculo de alturas necesarias para ensayo

Para poder realizar los ensayos, es necesario calcular las alturas reales a las que deberá subir el conjunto de masas para poder garantizar una altura máxima de caída de un metro. Los ensayos de plásticos rígidos se realizan principalmente a una altura constante de un metro, variando así las masas en el portador para obtener diferentes energías de ensayo. Los ensayos para adhesivos de uniones metálicas se pueden realizar a varias alturas, pero garantizando en todo momento una energía mínima de impacto de 50 J.

Las medidas de altura corresponden a la distancia que existe entre la superficie del conjunto de masas que impacta y la muestra a ensayar. En el caso de estar realizando un ensayo de plásticos rígidos, la altura debe medirse desde la probeta hasta el punto mínimo del punzón. En el caso de estar realizando un ensayo para adhesivos, la altura deberá medirse desde la superficie de impacto de las placas hasta la superficie del marco de probetas en la que impactan dichas placas.

En lo referente a los ensayos, los conjuntos de masas deberán subir a las siguientes alturas máximas para garantizar un metro máximo de caída:

- Altura de caída para ensayo de plásticos rígidos (UNE EN ISO 6603)

Para poder calcular la altura a la que se debe elevar el conjunto de masas, es necesario ver primeramente la situación del conjunto en reposo. La situación en reposo se refiere a la posición en la cual el portador de masas recae en los resortes. En la posición de reposo, el punzón sobrepasa la posición en la cual han de colocarse las muestras de ensayo. En concreto, el punzón sobrepasa la posición destinada a las probetas en 90 milímetros. Puede verse esta situación inicial en la siguiente imagen.

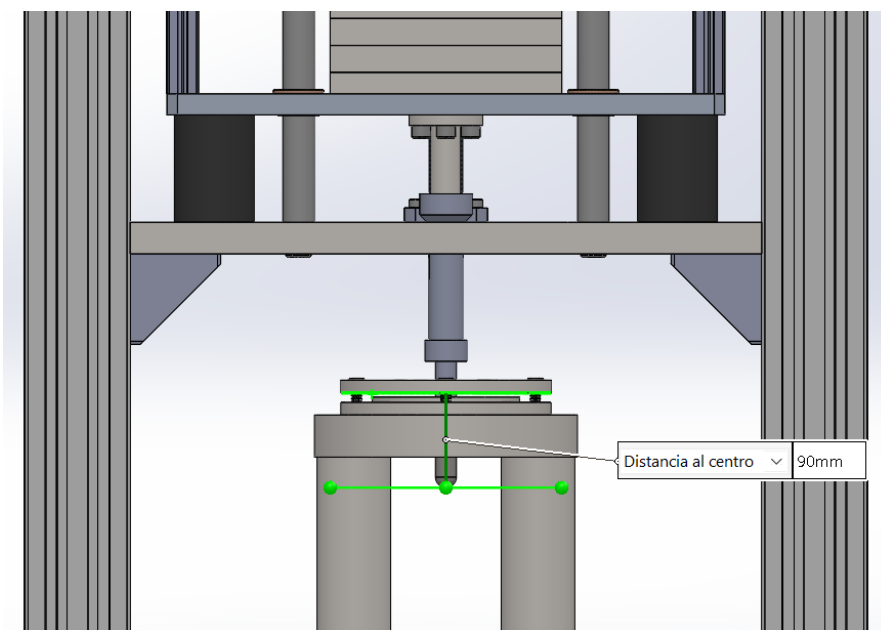


Figura 27: Paso de punzón sobre punto de impacto

Como es de esperar, se deberá elevar el conjunto de masas una distancia de 90 milímetros hasta el punto de impacto y posteriormente una distancia de 1000 milímetros equivalentes a un metro. Por tanto, el conjunto debe elevarse un total de 1090 milímetros desde su posición en reposo. Más adelante, cuando haya de programarse la distancia total a la que debe elevarse la placa elevadora, habrá que añadir 17,5 milímetros más a estos 1090 milímetros. Esto se debe a la geometría del enganche del cilindro neumático con la pieza de agarre. Esto puede verse detallado en Figura 51: Margen de unión para vástago. Por tanto, la distancia total a la que debe elevarse la placa elevadora es de 1107,5 milímetros, mientras que el conjunto de masas se elevará desde su reposo a 1090 milímetros.

La posición final de elevación queda de la siguiente forma:

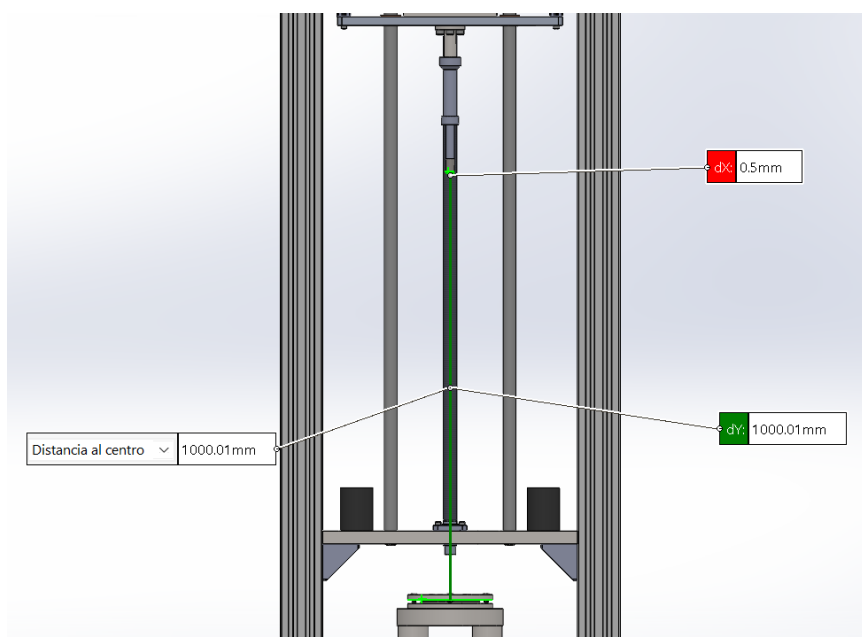


Figura 28: Altura máxima de ensayo para plásticos y materiales compuestos

- Altura de caída para ensayos de adhesivos (UNE EN ISO 11343)

En este caso, deberá seguirse el mismo procedimiento de cálculo que aquel realizado en el apartado anterior. Se deberá mirar la posición inicial en reposo y medir el sobrepaso de la superficie de impacto del conjunto de masas con referencia a la posición de alojamiento de la muestra. Se ha diseñado el equipo para que, independientemente del ensayo que se realice, se eleve el conjunto de masas a la misma altura en caso de querer realizar el ensayo a una altura de un metro. Por tanto, el sobrepaso de la superficie de impacto deberá ser de 90 milímetros. Se muestra una imagen con la posición inicial.

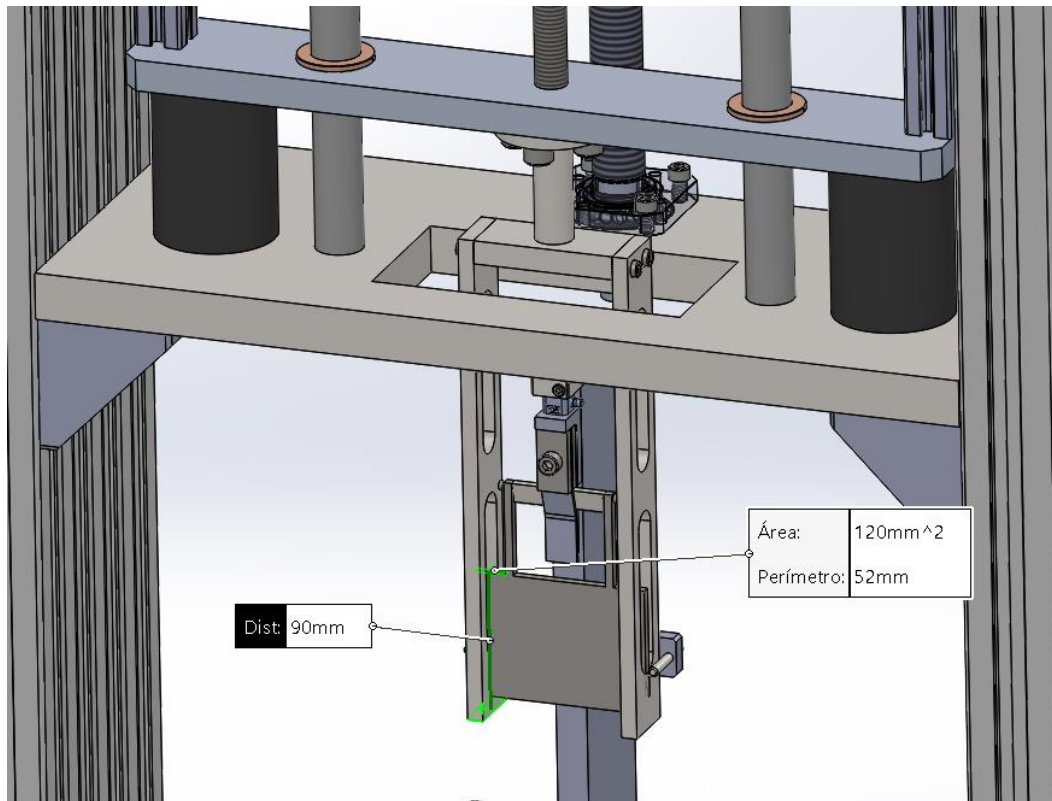


Figura 29: Paso de placas sobre punto de impacto

Como puede verse, la distancia de sobrepaso es de 90 milímetros. Por tanto, el portador de masas deberá elevarse 90 milímetros hasta el punto de impacto, para posteriormente elevarse 1000 milímetros, en caso de querer realizar el ensayo a un metro de altura. Bien se sabe que los ensayos de adhesivos pueden realizarse variando la altura de caída, pero garantizando en todo momento 50 J de energía de impacto mínima. En este caso, se produce la misma situación. La placa elevadora deberá elevarse 1107,5 milímetros y el conjunto de masas se eleva a 1090 milímetros. La posición final del portador de masas queda de la siguiente forma:

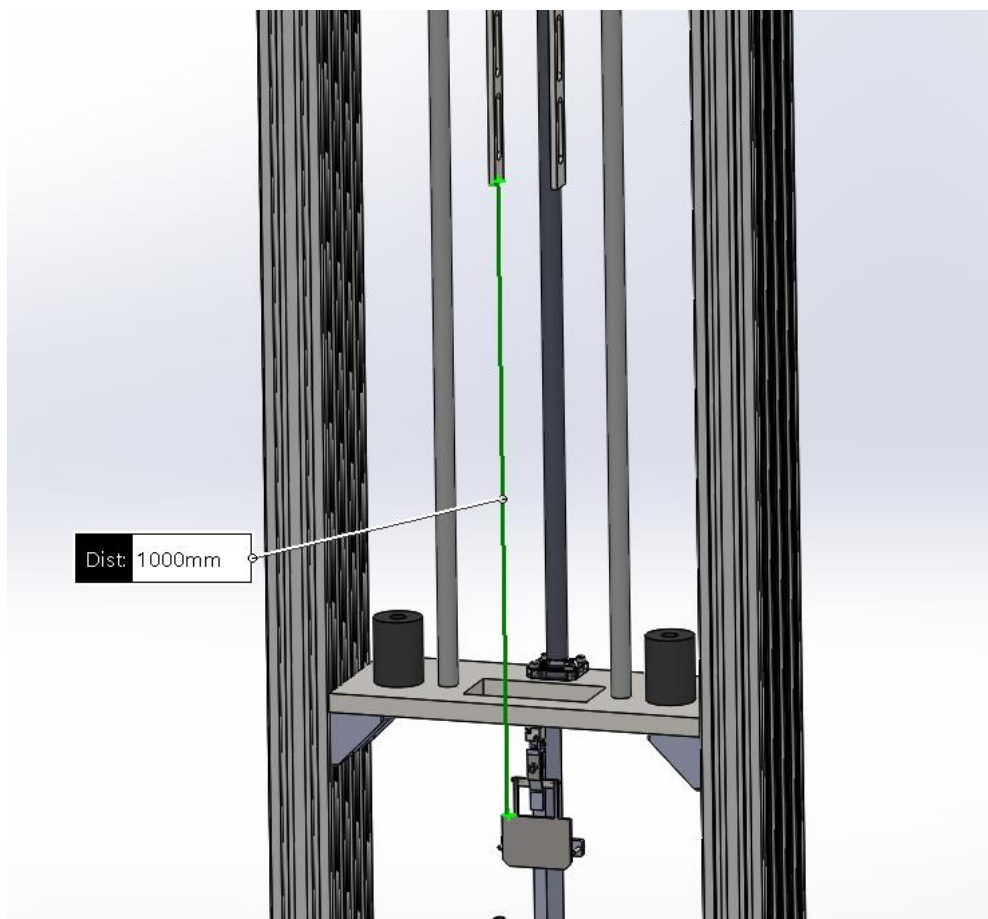


Figura 30: Altura máxima de ensayo para adhesivos

Cabe destacar, por último, que deberá elevarse primeramente el conjunto de masas, para poder luego colocar las muestras. Esto se debe principalmente a que el sobrepaso en la posición de reposo impide poder colocar la muestra a estudiar.

4.4 Diseño de accionamiento de elevación del conjunto de masas

Para hacer posible pues, que se pueda elevar el conjunto de masas junto con el punzón, en caso de seguir la norma UNE EN ISO 6603, o elevar el conjunto en caso de seguir la norma UNE EN ISO 11343, se hará uso de un sistema de accionamiento de elevación del conjunto. Se decide utilizar un sistema con husillo para poder transformar el movimiento giratorio del motor elevador en un movimiento lineal. Esto permite poder elevar el sistema portador de masas para posteriormente realizar el ensayo.

El diseño de dicho sistema constará de un conjunto de husillo a bolas, que estará unido mecánicamente al motor de elevación.

4.4.1 Selección del conjunto de husillo a emplear

Primeramente, destacar el tipo de conjunto que será elegido para el equipo, puesto que este conjunto de elementos es comercial y no necesita un diseño propio. Decirse que, existen diferentes tipos de husillos en el mercado, pero se seleccionará un conjunto husillo a bolas laminado, puesto que resulta el más idóneo para el equipo. Esta selección se respalda en razones que ligan directamente con las características del husillo. El husillo a bolas proporciona una gran precisión, en términos de paso y diámetro del mismo.

El conjunto consta de los siguientes elementos:

- Husillo con rosca
- Tuerca (32-10k) – 32 milímetros de diámetro y 10 milímetros de paso
- Rodamiento a bolas superior
- Rodamiento inferior

En lo referente al husillo con rosca, se opta por un husillo de una longitud de 2029,5 milímetros. Se estima este valor de longitud para poder garantizar la altura máxima de caída de un metro. Se necesita que el husillo quede unido a la placa superior del equipo, y que quede unido también a la base en la cual se marca la referencia de altura 0 milímetros del ensayo. Se ha seleccionado una rosca de diámetro 32 milímetros, para garantizar la resistencia suficiente de modo que se puedan elevar, tanto la pieza de elevación de portador, como el portador de masas. Por otro lado, se necesita un diámetro tal para disminuir al máximo las posibles vibraciones, o movimientos a causa de fuerzas que hagan pandear el husillo, debido a la gran longitud del mismo. En lo referente al paso, se ha previsto un paso de 10 milímetros, una dimensión idónea para elevar el conjunto. De esta forma se consigue la velocidad necesaria para elevar el conjunto de la forma correcta, no muy rápida, pero tampoco muy lenta. Si se dispone de un paso de 10 milímetros se sabe que, por cada revolución del motor, el portador de masas asciende 10 milímetros. Si el motor realiza una revolución por segundo, se sabe que:

$$60 \text{ rev/min} = 2\pi \text{ rad/s}$$

Como el diámetro del husillo es de 32 milímetros, la velocidad lineal resultante es de:

$$v = 2\pi \cdot 16 = 100,53 \text{ mm/s}$$

Además del tornillo con rosca de gran longitud, el conjunto de husillo dispone de una tuerca móvil, y rodamientos situados en la parte superior e inferior. En lo referente al rodamiento superior, éste se caracteriza por ser un rodamiento a bolas radial, mientras que el rodamiento inferior es un combinado axial-radial.

4.4.2 Esquema mecánico de accionamiento de elevación

A continuación, se muestran imágenes del modelo 3D del sistema de elevación.

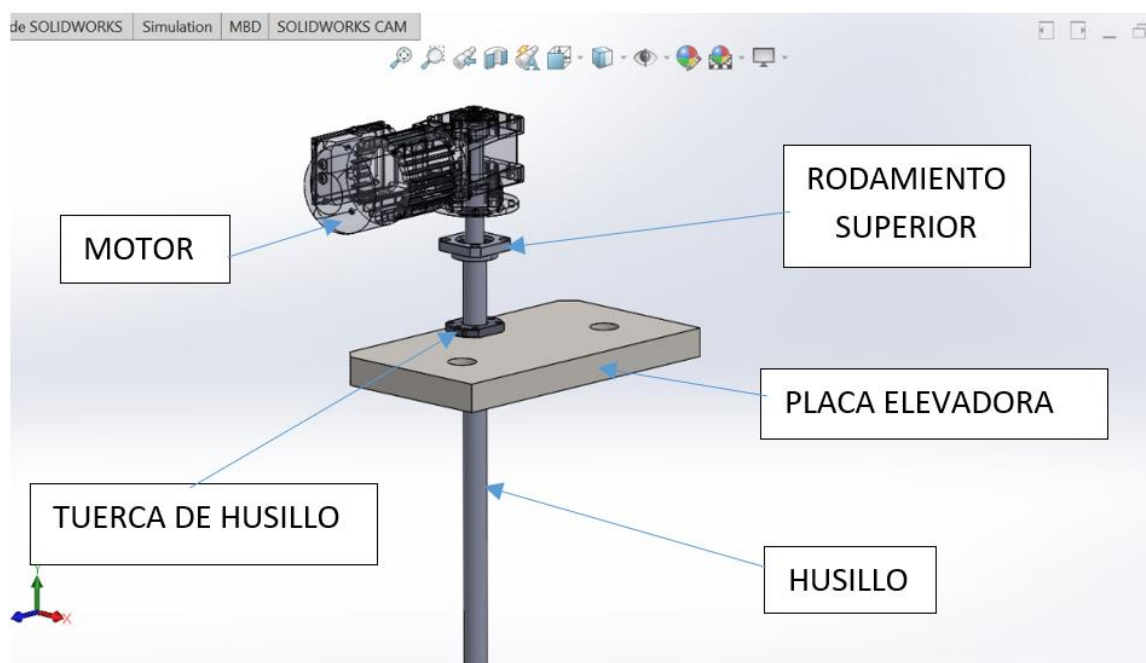


Figura 31: Parte superior del sistema de elevación del conjunto de masas

En la presente figura, se muestra la parte superior del sistema de elevación. En ella se pueden ver distintos elementos del sistema. Como se ha mencionado anteriormente, el husillo se encuentra unido mecánicamente al motor. El rodamiento a bolas permite el movimiento de giro de forma correcta, sin que el husillo pueda desplazarse del eje en el cual debe actuar su movimiento. Por otro lado, la tuerca de husillo, alojada en la placa elevadora, permite transformar el giro de rosca de husillo en movimiento rectilíneo. Mediante este sistema, se permite elevar el portador de masas de su posición actual en ese momento.

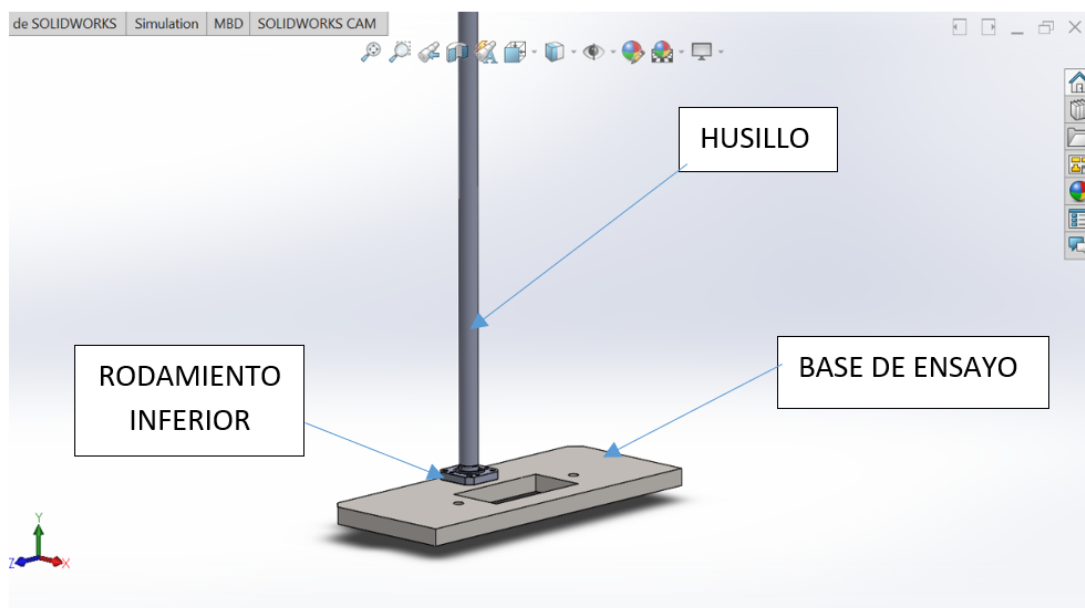


Figura 32: Parte inferior del sistema de elevación del conjunto de masas

En la presente imagen, se puede ver la parte inferior del sistema de elevación de masas. Se muestra el husillo en su parte inferior, así como el rodamiento inferior. El rodamiento inferior permite un anclaje a la base de ensayo, de manera que el husillo quede fijado tanto en su parte superior como inferior.

4.4.3 Selección de motor elevador

Para poder seleccionar un motor elevador que pueda elevar el conjunto masas, además de la pieza de anclaje, es necesario tener en cuenta algunos factores.

Se considera que un motorreductor es el más idóneo para el equipo. El motor acoplado a un reductor permite reducir la velocidad en cierta relación, para poder así aumentar el par a la salida del motor. El par a la salida del motor será aquel par torsional que permita la elevación de las masas mediante el giro del husillo.

Se considera el funcionamiento del motor de la siguiente forma:

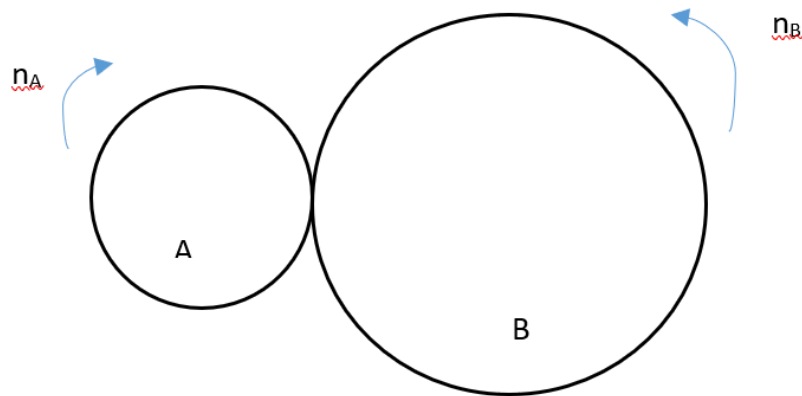


Figura 33: Esquema de funcionamiento de motorreductor

Si se observa la figura, la parte del motor correspondería a la rueda A, mientras que el reductor correspondería a la rueda B.

Se dispone de una relación de 1403/63. Esto puede interpretarse de dos formas distintas. Puede considerarse que la rueda A necesita realizar 1403 revoluciones para que la rueda B realice 63 revoluciones o, en su defecto, puede verse como que la rueda A es de 63 milímetros de diámetro mientras que la rueda B es de 1403 milímetros de diámetro.

Como es de esperar, si la rueda aumenta de tamaño y se mantiene el par realizado en el motor, la relación entre ambas ruedas permitirá amplificar el par motor en la rueda B. Ese aumento de par será exactamente de 1403/63 veces más.

Dada esta breve explicación, se puede entender este concepto empleando los datos del motor. Se sabe que el motor tiene las siguientes condiciones nominales (ver

Anexo I)

- Potencia – $P_n = 0,18 \text{ kW}$
- Velocidad de rotación - $n_n = 1365 \text{ rev/min}$
- Par – $M_n = 1,26 \text{ Nm}$

En el siguiente apartado, se calculan las variables relevantes atendiendo a las condiciones nominales del motor y el punto de funcionamiento máximo del husillo.

4.4.4 Cálculo de las variables relevantes del husillo y motor elevador

Para poder dar por válidas las elecciones del husillo y motor a emplear, es necesario realizar algunos cálculos con el fin de corroborar que tanto el husillo como el motor pueden elevar el conjunto de masas y vencer las fuerzas que el conjunto de masas ejerce en la rosca. Para ello se considerarán los casos máximos, es decir, el punto de funcionamiento máximo en caso del husillo y por otro lado las condiciones nominales del motor elevador.

4.4.3.1 Husillo

En primer lugar, se considera en el punto de funcionamiento máximo los siguientes datos de operación:

- Velocidad de rotación máxima: 60 rev/min (ver 4.4.1 *Selección del conjunto de husillo a emplear*).
- Par torsional máximo: 2,61 Nm

Se plantea un esquema general que refleja las fuerzas principales que actúan sobre la rosca del husillo.

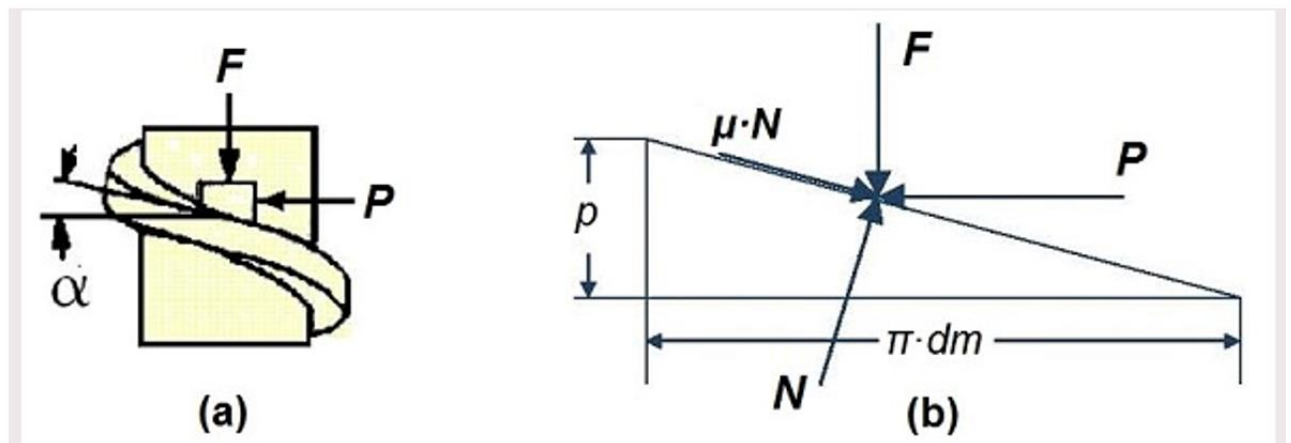


Figura 34: Fuerzas que intervienen en la rosca del husillo [17]

Como puede apreciarse, se muestran las fuerzas principales, aunque, debido a la rosca, interviene un ángulo en algunas fuerzas. Se consideran pues las siguientes fuerzas:

- F: sumatorio de todas aquellas fuerzas externas que inciden de forma axial en la rosca del husillo.
- P: Fuerza necesaria para vencer la fuerza de rozamiento y poder subir la carga por la rosca del husillo. Esta fuerza determinará la masa que puede hacer subir el husillo en relación con el par aplicado por el motorreductor.
- p: paso del husillo
- α : ángulo de rosca del husillo
- dm : diámetro medio. Considerando un diámetro exterior de 32 milímetros y un diámetro interior de 28 milímetros, el diámetro medio es de 30 milímetros.

Se debe considerar que las fuerzas son incidentes a lo largo de la rosca, por lo que puede verse como un triángulo rectángulo de base ($\pi \cdot dm$) y altura (p).

Se considera un coeficiente de rozamiento de husillo con bolas de $\mu=0,2$

Realizando el equilibrio de fuerzas estático, se tiene que:

$$E.6 \quad P - N \cdot \sin \alpha - \mu \cdot N \cos \alpha = 0$$

$$E.7 \quad F + \mu N \cdot \sin \alpha - N \cos \alpha = 0$$

Mediante el uso de trigonometría, por otro lado, se obtiene que:

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot dm} = 0,106$$

$$\alpha = 6,056^\circ$$

Por tanto, si la fuerza P actúa en la rosca del husillo, puede calcularse el par torsional que actúa en el husillo por medio de esta fuerza y el radio del husillo. Cabe recordar que el par torsional sigue la dirección longitudinal del husillo. De esta forma se obtiene que:

$$M_T = P \cdot \frac{dm}{2}$$

Si se aplica un par torsional de 2,61 Nm, se obtiene que la fuerza P en el eje x toma el siguiente valor:

$$P = 174 \text{ N}$$

A partir de esta fuerza, sustituyendo en las ecuaciones E.6 $P - N \cdot \sin \alpha - \mu \cdot N \cos \alpha = 0$ y E.7 $F + \mu N \cdot \sin \alpha - N \cos \alpha = 0$ pueden obtenerse tanto la fuerza normal N como la fuerza F .

$$N = 571,645N$$

$$F = 556,39N$$

Por tanto, la fuerza P en el eje x , puede vencer la fuerza de rozamiento máxima debido a la máxima masa de la que dispone el conjunto de masas. La fuerza de rozamiento, teniendo en cuenta el ángulo de incidencia y el coeficiente de rozamiento, es aproximadamente de 40 N. Por otro lado, la fuerza máxima F que puede soportar el husillo es de 556,39 N. Cabe destacar que la fuerza F es prácticamente el peso del conjunto de masas. El husillo puede soportar, por tanto, una masa de 56,71 Kg, la cual es superior a la masa máxima de 20 Kg a utilizar en el equipo.

Debido a los cálculos realizados, puede decirse que el husillo soporta las condiciones de operación.

4.4.3.2 Motorreductor

Si el motor funciona a condiciones nominales, pueden obtenerse las siguientes características del reductor, aplicando la relación entre ambos.

La relación R es:

$$R = \frac{1403}{63} = 22,27$$

De esta manera, puede calcularse la velocidad de rotación que aporta el reductor. Esta velocidad de rotación se transmite en 90 ° al husillo.

$$n_r = \frac{1365}{22,27} = 61,3 \text{ rev/min}$$

De la misma forma, puede calcularse el par torsional nominal que el motorreductor aplica al husillo para poder elevar el conjunto de masas. Considerar que el rendimiento del reductor, esto quiere decir, la capacidad del reductor para transmitir el par al husillo, es de 0,95.

$$T_n = 1,26 \cdot 22,27 \cdot 0,95 = 26,65 \simeq 27 \text{ Nm}$$

Una vez se sabe el par transmitido al husillo, se debe calcular la masa que el motorreductor podrá elevar mediante el empleo del husillo. Para ello se tendrán en cuenta tanto las características del husillo como el par torsional nominal de 26,65 Nm.

Como el par del motorreductor es de 26,65 Nm, se aplica este dato a las ecuaciones anteriores E.6 $P - N \cdot \sin \alpha - \mu \cdot N \cos \alpha = 0$ y E.7 $F + \mu N \cdot \sin \alpha - N \cos \alpha = 0$. Sustituyendo y realizando los cálculos pertinentes, se obtiene que:

- $P = 1776,67 \text{ N}$
- $F = 5681,19 \text{ N}$

Sabiendo que la fuerza F que actúa sobre el husillo está compuesta principalmente por la carga a elevar, se puede concluir que el motorreductor, mediante el husillo seleccionado, sería capaz de elevar, funcionando a condiciones nominales, una masa de 579,12 kilogramos. Por otro lado, considerando la fuerza P necesaria para vencer la fricción, esta fuerza P alcanza un valor de 1776,67 N, valor suficiente para vencer la fuerza de rozamiento.

El portador de masas junto con las masas, adquiriendo la máxima masa posible para el ensayo, no supera este valor calculado, por lo que la selección del motorreductor resulta viable.

Destacar que puede plantearse la selección de un motor con menos potencia, pero el coste no resulta suficientemente económico como para asumir riesgos.

4.4.5 Convertidor de frecuencia de motor

Se desea que el motor funcione en varias condiciones a la hora tanto de preparar un ensayo como de realizarlo. Para ello, se dispondrá de un convertidor o variador de frecuencia para el motor. Este convertidor, se encuentra situado entre el motor y el sistema de control mediante PLC, también siendo conectado a la fuente de alimentación para su funcionamiento. El sistema de control manda señales al motor, que primero deberán pasar por el convertidor de frecuencia. La principal función del convertidor o variador de frecuencia será la de variar la misma, con el fin de variar la velocidad de rotación del motor. Con esto se permite al operario realizar operaciones a velocidad lenta o rápida.

Por ejemplo, gracias al variador de frecuencia, podrá elevarse el portador de masas a una velocidad rápida en la subida, reduciéndose esta velocidad cuando el portador se aproxime a la altura deseada. Mediante la conexión de un encoder de hilo al convertidor, se sabe el momento en el que el portador de masas se acerca a su destino, por lo que es sencillo saber en qué momento debe disminuirse la velocidad de rotación del motor. Con esto se consigue que el tiempo de subida sea relativamente corto, pero a su vez preciso. Por otro lado, también se permite la opción de freno, mediante el sistema del control. Gracias al convertidor de frecuencia, cuando el operario requiera frenar cualquier dinámica de subida o bajada del portador, podrá hacerse, ya que el convertidor reducirá la frecuencia que llega al motor.

Como se ha seleccionado un motor trifásico, se elige un convertidor de frecuencia de tensión nominal 400 V. El convertidor se encontrará conectado a la red de 220 V monofásica. (ver características generales en

Anexo I)

4.4.6 Sistema de unión de husillo y motor

En el presenta apartado, se explica el montaje de distintos componentes en la parte superior del equipo. El motorreductor se alojará en la parte superior del equipo, y quedará unido mecánicamente al husillo, de forma que se produzca el par necesario que haga girar dicho husillo. Con el giro del husillo, se permite el movimiento ascendente o descendente de la pieza elevadora, para poder elevar el portador de masas a la altura deseada. Una vez a esa altura, se libera el conjunto masas para realizar el ensayo.

Para el correcto funcionamiento del mecanismo, es necesario disponer de una pieza en forma de campana, que permita el espacio suficiente para alojar el rodamiento a bolas en la base superior. La parte superior del husillo se hace pasar por este rodamiento, terminando por unirse mecánicamente al motorreductor. Cabe recordar que el motor se encuentra ligeramente elevado, ya que se deposita encima de la pieza campana. En la siguiente imagen se muestra la disposición de los elementos.

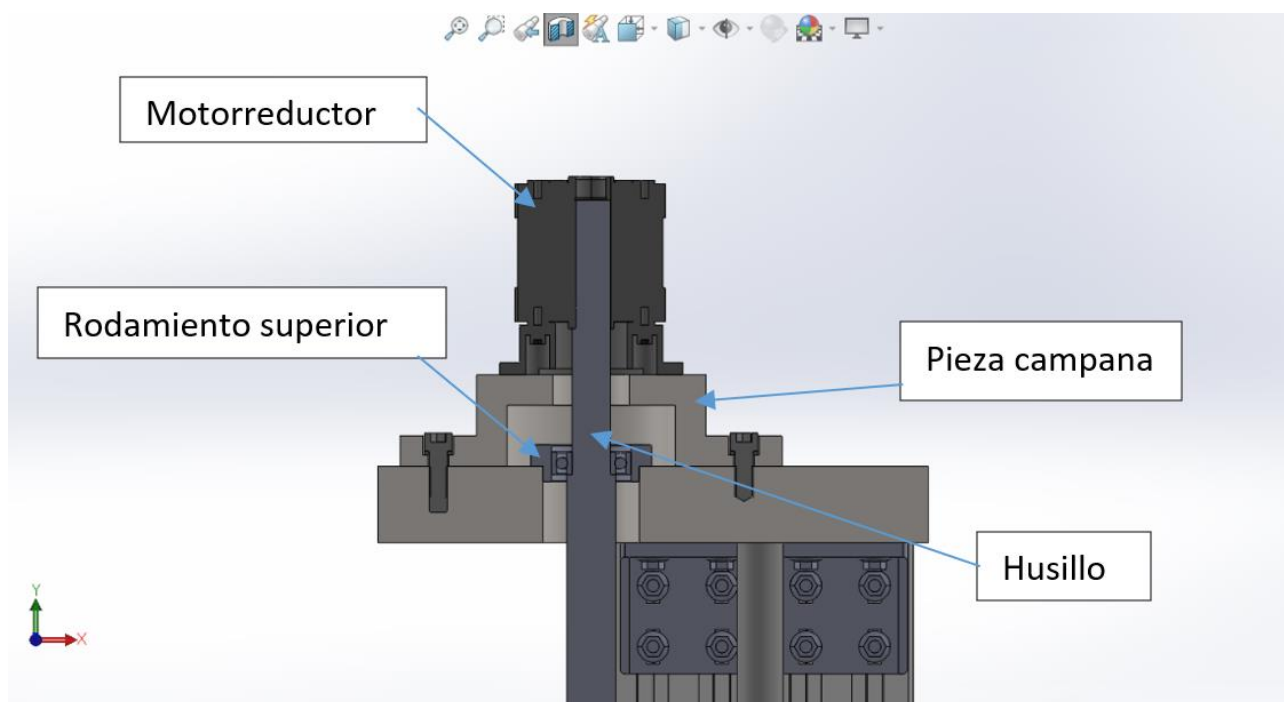


Figura 35: Disposición de los elementos de unión de husillo y motor

Como puede verse en la figura, se dispone del rodamiento unido al husillo, el cual también se mantiene unido al motorreductor, este último encargado de transmitir el par al husillo.

4.4.7 Implantación de sensor de proximidad

Es necesario implantar un sensor de proximidad en la placa elevadora con el fin de que la misma tenga conocimiento artificial sobre en qué momento debe detenerse. El sensor realiza una función muy sencilla. Se regula el sensor para que, cuando este detecte una pieza a X milímetros, envíe una señal al sistema de control, para que este pueda hacer parar el motor.

Para que el sensor siempre detecte el conjunto de masas, se dota al mismo de un tornillo en la posición de plano del sensor, de forma que el sensor lo detecte cuando la placa elevadora llegue a la posición deseada. El sensor se implanta mediante un soporte de chapa, ya que no se necesita una pieza compleja para la sujeción del mismo. Se muestra una imagen de la disposición del sensor y del tornillo.

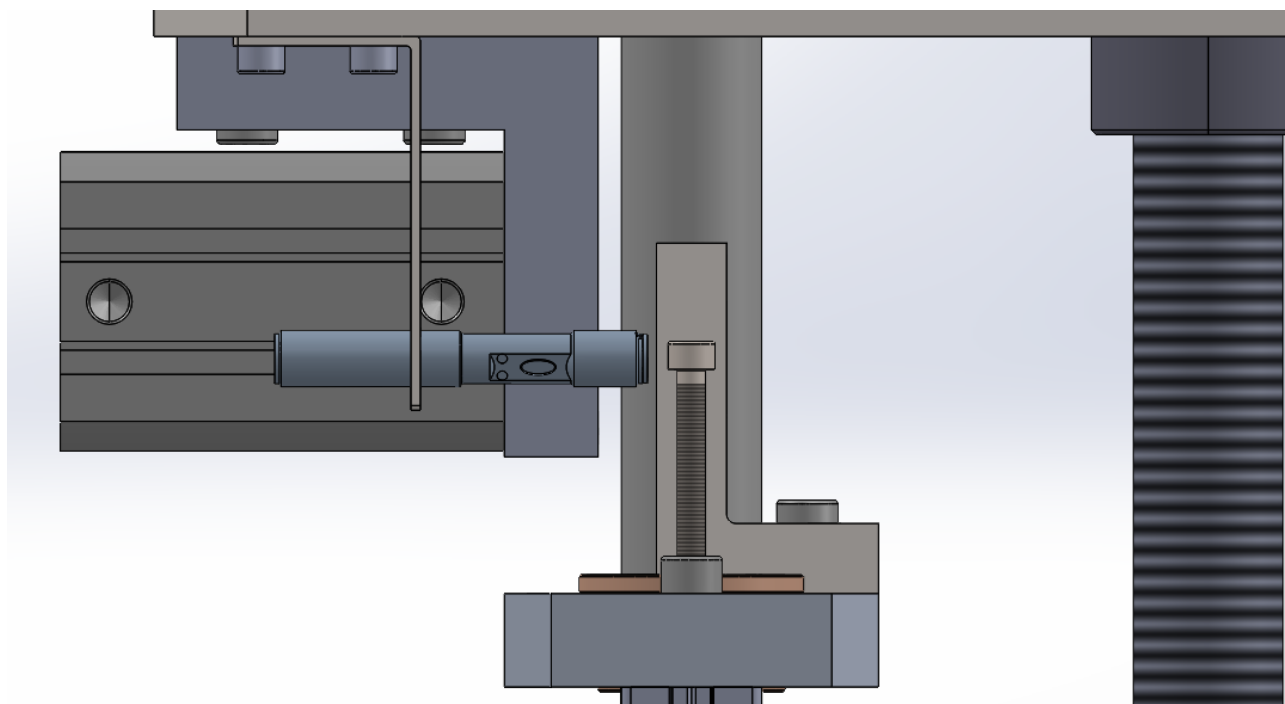


Figura 36: Disposición del sensor de proximidad

Como puede verse en la figura, el sensor se encuentra alineado con el tornillo de referencia. La posición ilustrada es la posición en la cual la placa elevadora debe detenerse y permitir la unión mecánica del conjunto de masas con el cilindro neumático. Una vez realizada la unión, el operario autoriza la subida de todo el conjunto mediante el sistema de control. Las características generales del sensor de proximidad pueden encontrarse en

Anexo I.

4.5 Análisis estructural de los elementos relevantes del equipo

Para verificar que el diseño es válido para su construcción, es necesario realizar un análisis estructural con el fin de poder saber el comportamiento de las distintas piezas que se someten a la dinámica de los ensayos. El presente análisis juega un papel muy importante, puesto que se debe tener seguridad en lo referente a la resistencia a impacto y fatiga de las distintas piezas.

El análisis estructural se centrará principalmente en la estructura del conjunto de masas. En ambos ensayos, el conjunto de masas impacta sobre el material a ensayar, y absorbe gran parte de la energía generada debido a la dinámica. El conjunto de masas se estudiará para el ensayo por impacto de plásticos y materiales compuestos, puesto que se realiza mediante un único impacto con punzonado.

Por otro lado, para el ensayo de adhesivos, se considerarán los resultados del análisis realizado para el ensayo de plásticos y materiales compuestos, ya que este es el ensayo que maneja más fuerzas y deformaciones.

4.5.1 Análisis estructural para estructuras de ensayos por impacto de plásticos y materiales compuestos

En lo referente a este ensayo, se analizará el conjunto de masas que incluye el marco con posibles pesas y el punzón. Este conjunto es el que sufre más y soporta más deformación a la hora de llevar a cabo el ensayo. El conjunto de masas deformará elásticamente la muestra a ensayar primeramente, para después deformarla plásticamente y, en la mayoría de casos, generar la rotura. Este procedimiento variará notablemente dependiendo de la muestra que se pretenda ensayar, ya que pueden ensayarse materiales más rígidos o más elásticos.

Por tanto, es necesario estudiar el marco con el fin de determinar si, después del impacto, la fuerza provocada por esta colisión genera pandeos en las piezas que forman el punzón, y por consecuencia tensiones y deformaciones debidas a flexión en las placas horizontales del marco.

Debido a que las fuerzas de impacto se deben a la dinámica de la caída, será necesario obtener una fuerza estática equivalente a estas fuerzas dinámicas con el fin de obtener las deformaciones y fatiga de las piezas del conjunto de masas.

La dinámica del ensayo puede representarse como en la siguiente figura:

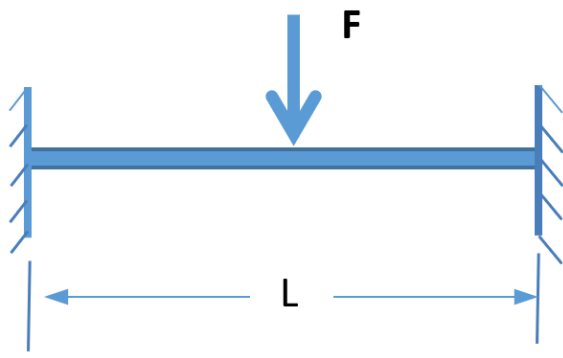


Figura 37: Esquema de equivalencia estática de la muestra de ensayo de plásticos y materiales compuestos

Siendo

F: la fuerza dinámica del impacto .

L: la longitud libre entre el sistema de apriete de los yunques.

Bien es cierto que las probetas serán mayoritariamente de 140 milímetros, aunque pueden ser de 60 milímetros si se requiere. Se estudiará el caso más desfavorable posible, por lo que se seleccionaran para este análisis muestras de 140 milímetros de diámetro, con un espesor de 4 milímetros, según contempla la norma vigente.

Aunque el diámetro de la muestra es de 140 milímetros, se debe considerar que la longitud L expresada en la figura anterior debe ser la distancia entre puntos de agarre, la cual es de 100 milímetros. La distancia entre puntos no es más que el diámetro del yunque inferior en el cual se deposita la probeta. (ver plano *MONTAJE_BASE_6603*).

Debido al agarre por parte de los yunques, puede considerarse la muestra como una barra empotrada por ambos extremos, a la cual se le aplica una fuerza en su punto medio. Dicho esto, se puede calcular una equivalencia entre estática y dinámica.

Para calcular dicha equivalencia, se sabe que las energías debidas a ensayo deben poder igualarse en sus puntos inicial y final, según los principios de conservación (*ver 4.3.1 Cálculo teórico de las variables principales del equipo*). Se tiene que el conjunto de masas se deja caer desde una altura, impactando, mediante el punzón, con una fuerza Q en el centro geométrico de la muestra circular. La muestra se deformará, dependiendo de las propiedades mecánicas de la misma, de forma elástica en un período de tiempo, para pasar a deformar plásticamente y posiblemente generarse la rotura. Bien es cierto que puede darse el caso en el cual el material se

deforma elásticamente pero no se genera la rotura. Este sería el caso más desfavorable para el marco, puesto que el material responde a las fuerzas dinámicas y el marco absorbe una cantidad elevada de la energía mecánica generada.

En ese caso, se busca realizar este análisis con el fin de demostrar que el conjunto de masas puede deformar elásticamente, de forma minúscula, y ser capaz de soportar la fuerza debida a su propio peso sin llegar a deformar plásticamente.

Dicho esto, se tienen las siguientes ecuaciones:

$$E_1 = Q \cdot (h + \delta) \quad (1)$$

Siendo E_1 la energía potencial debido al peso (mg) en el punto inicial, el cual sería el punto situado a una altura $h+\delta$, tomando como referencia el punto máximo al cual se deforma la muestra.

Para poder calcular la deformación de la muestra, se debe calcular la energía de deformación, con el uso de una fuerza estática equivalente a la fuerza dinámica Q . La energía de deformación será por tanto:

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot \int \sum_{i,j} \sigma_{ij} \cdot \varepsilon_{ij} \cdot dV \quad (2)$$

La integral de las tensiones se realiza de forma volumétrica. Se tienen diferenciales en las tres direcciones del espacio. Solamente ha de tenerse en cuenta la energía de deformación volumétrica. Se consideran los siguientes conceptos:

- ε_{ij} : deformación unitaria. Se trata de un parámetro adimensional.
- σ_{ij} : Tensión normal a las caras del cuerpo a estudiar. Dado que las caras del cuerpo son dimensionales, se tiene que las tensiones normales se rigen según i y j .

Considerando que la muestra se encuentra en una deformación elástica, puede decirse que:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Sabiendo que ΔL es el alargamiento de la muestra a estudiar debido a las tensiones en la misma, y L es la longitud de la muestra a estudiar. Por otro lado, debe considerarse la Ley de elasticidad de Hooke para la resolución del problema. La ley plantea la siguiente ecuación:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Siendo E el módulo de elasticidad o módulo de Young. Dicho parámetro marca el comportamiento elástico debido a una tensión derivada de una fuerza aplicada en la pieza de estudio. El módulo de elasticidad se mide en MPa, lo cual es equivalente a N/mm^2 . El módulo de elasticidad toma la misma unidad de medida que las tensiones σ . Siguiendo la Ley de Hooke, a mayor módulo de elasticidad, más rígido es el material, y por tanto más tensión se necesita para deformar dicho material.

Además de las ecuaciones anteriormente planteadas, en relación con las tensiones se sabe que:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Siendo P la fuerza estática aplicada en una sección del cuerpo a estudiar, y A dicha sección en la que la fuerza incide.

Se considera que, el eje en el cual se desarrolla la dinámica en la figura () es el eje Y . Sustituyendo en (2), se tiene que:

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot \int \frac{P^2}{A^2 E} dx dy dz$$

Sabiendo que la deformación tiene lugar en la dirección del eje Y , los diferenciales en las direcciones X y Z integradas, son constantes que multiplicadas forman la sección A . Por tanto, se tiene que:

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot \int_0^L \frac{P^2}{AE} dy$$

Integrando, la energía de deformación debido a esfuerzo queda de la siguiente forma:

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P^2}{AE} L$$

Dado que se considera en la ecuación de energía potencial, el alargamiento de la muestra δ (corresponde a la flecha por flexión), se opera la ecuación anterior, resultando en:

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \delta \quad (3)$$

Además de esto, la energía de deformación puede explicarse por medio de la curva fuerza-alargamiento.

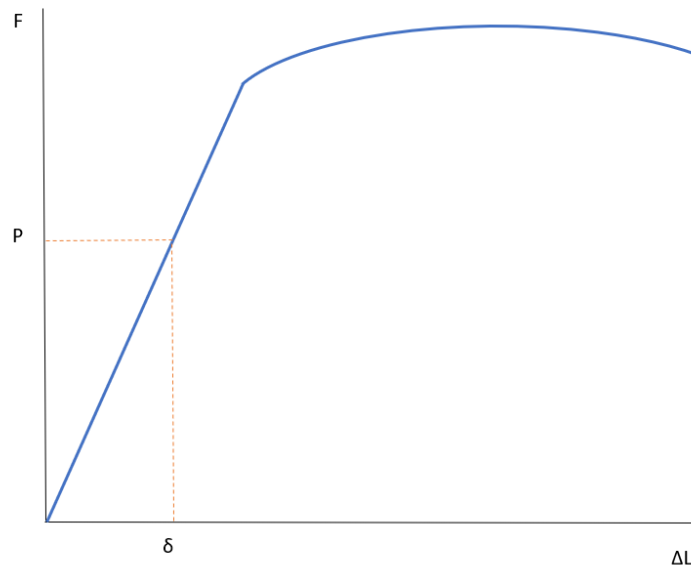


Figura 38: Curva de fuerza – alargamiento de la muestra a ensayar

Como puede verse en la figura, en una región elástica, la energía de deformación se calcularía como el área encerrada en la curva con límite en alargamiento δ debido a una fuerza P aplicada. Como puede verse, el área bajo la curva no es más que el área de un triángulo rectángulo de altura P y base δ . La energía de deformación resulta en:

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \delta$$

Teniendo ambas energías, pueden igualarse, puesto que se tiene en cuenta que la fuerza estática aplicada P es equivalente a la fuerza de impacto Q debido a la caída del conjunto de masas. Así, igualando (1) y (3):

$$Q \cdot (h + \delta) = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \delta$$

Dado que no se conoce la fuerza estática equivalente P, se debe operar la barra biempotrada de forma estática. Si se consulta el prontuario de vigas, se puede obtener la flecha generada por tal caso a estudiar. Bien es cierto que podría realizarse el cálculo, pero no es objeto de estudio de este proyecto. Ya que es un caso hiperestático, se debería dividir en caso estáticos considerando la barra en voladizo, integrando el par y la reacción del extremo que ha quedado libre. Imponiendo que la flecha y el ángulo debidos a deformación en ese extremo son nulos, puesto que realmente se encuentra empotrado, puede obtenerse el valor de la flecha y el ángulo. La flecha resultante de este caso hiperestático es la siguiente:

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

Puede despejarse P de la ecuación planteada,

$$P = \frac{192 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot \delta$$

Sustituyendo en la ecuación de igualdad de energías, se tiene que

$$Q \cdot (h + \delta) = \frac{1}{2} \cdot \frac{192 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot \delta^2$$

Cabe destacar que las muestras a ensayar varían notablemente en términos de módulo de elasticidad. Se han contemplado materiales muy elásticos, para los cuales se supone en este diseño que puedan tener un módulo de elasticidad de 0,1 GPa. Por otro lado, se contempla que puede ensayarse materiales con más rigidez, como puede ser la fibra de carbono. Teniendo en cuenta que este es un material compuesto con propiedades bastante elevadas, se tiene que el máximo módulo de elasticidad de las muestras a ensayar será próximo a 10 GPa.

Como se ha mencionado, en el presente análisis se busca tratar el caso más desfavorable, por lo que se selecciona como módulo de elasticidad E=10 GPa. Además de esto, se calcula el momento de inercia de la siguiente manera.

Se supone que, aunque las muestras son circulares, se simplifican a perfiles rectangulares de longitud 100 milímetros (debido a los agarres de yunques) y ancho 4 milímetros (debido al espesor de la muestra impuesto por norma). De esta forma, el momento de inercia es el siguiente,

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Siendo b la longitud de 100 milímetros y h el espesor de 4 milímetros.

Operando la ecuación de igualdad de energías, puede obtenerse la flecha de deformación, considerando que las muestras se deforman elásticamente.

$$\delta = 20,45 \text{ mm}$$

Una vez calculada la flecha de deformación, puede obtenerse de manera sencilla la fuerza estática P , la cual sería la fuerza estática equivalente a la fuerza dinámica Q .

$$P = \frac{192 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot \delta = 20949,43 \text{ N}$$

La muestra, por tanto, estaría sufriendo una fuerza estática de 21 kN en equivalencia.

Con esta fuerza equivalente, por medio del principio de acción-reacción, se debe aplicar, al marco de ensayos y el punzón. Se determinará si existe pandeo en las piezas que conforman el punzón. Si existe pandeo en el punzón, las placas horizontales del marco de ensayos sufrirían fatiga debida a flexión.

Dado que el punzón se encuentra atornillado a la placa horizontal inferior del marco, se considerará el punzón como una viga circular empotrada y libre en su extremo opuesto. El punzón está formado por varias piezas atornilladas, de distintos diámetros, por lo que el pandeo se dificulta en el punzón al estar conformado por varias piezas. No obstante, se considerará el caso más desfavorable, el cual es considerar el punzón como una viga circular de 20 milímetros de diámetro. Recordar que la norma UNE EN ISO 6603 contempla un punzón semiesférico de diámetro 20 milímetros. Se tiene la siguiente figura.

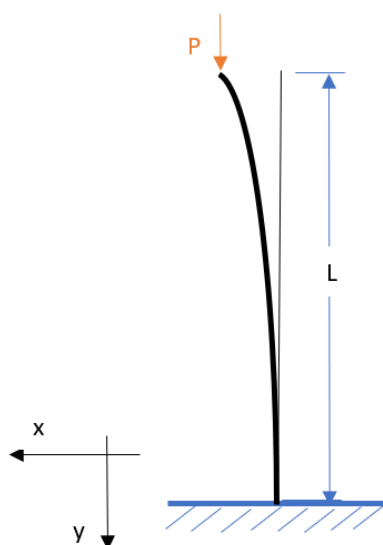


Figura 39: Croquis de posible pandeo del punzón

El esquema de la figura es lo que se conoce comúnmente como uno de los tipos de columna de Euler. El extremo empotrado es aquel en el que el punzón se encuentra atornillado a la base de ensayo. La fuerza estática P aplicada corresponde con la fuerza estática equivalente calculada anteriormente.

Para estudiar si existe pandeo en el punzón, debe calcularse la fuerza estática crítica, por medio de la teoría de columna de Euler formulada para estudiar el pandeo, la cual determina que fuerzas por debajo de la misma no generan pandeo. El cálculo sigue la siguiente ecuación diferencial:

$$P \cdot x + E \cdot I \cdot x'' = 0$$

Por medio de matemática de ecuaciones diferenciales, y aplicando las correspondientes condiciones de operación, puede obtenerse el valor de la fuerza estática P . Esta fuerza corresponde con la fuerza crítica de pandeo.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Le^2}$$

El denominador de la fórmula correspondiente a esta fuerza crítica hace referencia a la longitud efectiva de la columna a analizar. La longitud efectiva depende de las condiciones de la columna, ya que las deformaciones por pandeo son distintas dependiendo de las condiciones del

extremo libre, ya sea articulado, libre o empotrado. En el caso a estudiar, el extremo es libre, lo que corresponde a

$$Le = 2L$$

Se considera un módulo de elasticidad de 210 GPa, propio de los aceros. En lo referente al momento de inercia, debe considerarse que, como el punzón es geométricamente circular, se tiene que el momento de inercia corresponde con

$$I = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot R^4$$

La fuerza crítica de pandeo resulta

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Le^2} = 32474,5 \text{ N}$$

Por tanto, dado que la fuerza aplicada en el caso más desfavorable es $P=20949,43 \text{ N}$, y la fuerza crítica es mayor a la fuerza aplicada, no se tiene pandeo en el punzón. Es necesario decir que el estudio de pandeo se ha realizado para un caso en el que el punzón en su totalidad es una sola pieza circular, pero en el caso real está conformado por varias piezas atornilladas. Esto refuerza aún más si cabe el punzón, por lo que no hay peligro de deformación del conjunto de masas debido al impacto.

Dado que no existe pandeo, la flexión en las placas es mínima, y no hay peligro de deformación en las mismas.

4.5.2 Análisis estructural

Con el fin de corroborar los cálculos realizados en relación con el análisis estructural, se someterán los portadores de masas a un análisis estático equivalente con condiciones que permitan asemejarse a los ensayos por impacto.

Se estudiarán ambos casos, de forma que puedan verse las tensiones y deformaciones que sufren los marcos. Se realizarán los análisis con la condición más restrictiva posible, por lo que serán sometidos a la fuerza estática equivalente calculada en el apartado anterior, con un valor de 20949 N.

4.5.2.1 Análisis de conjunto de masas para ensayo de plásticos y materiales compuestos

Para llevar a cabo dicho análisis, se tienen en cuenta algunas condiciones:

- Aplicar una fuerza estática equivalente de 21 kN. Esto es así debido a que se considera el material más rígido posible, con un módulo de elasticidad de 10 GPa, que sería aquel de, por ejemplo, fibra de carbono.
- Empotrar la parte superior del conjunto de masas. Con esto se permite poder someter el conjunto a una compresión.
- Considerar el conjunto como una unión rígida.

Considerando estas condiciones, se obtienen los siguientes resultados:

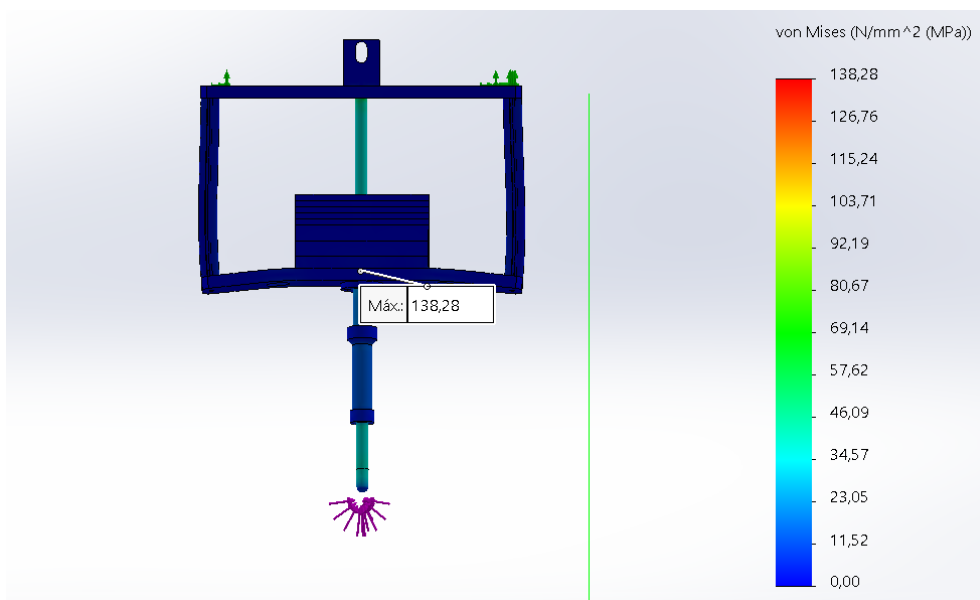


Figura 40: Tensiones debidas a ensayo de plásticos y materiales compuestos

Como puede verse en la figura, la tensión más elevada a la que podría someterse el conjunto en el caso más desfavorable es de 138,28 MPa. Dado que los materiales que forman el conjunto tienen un límite elástico bastante mayor, siendo el menor de ellos de 400 MPa, no hay riesgo de provocar deformaciones plásticas en las piezas del marco.

A continuación se muestra una imagen donde se aprecia la zona sometida a mayor tensión.

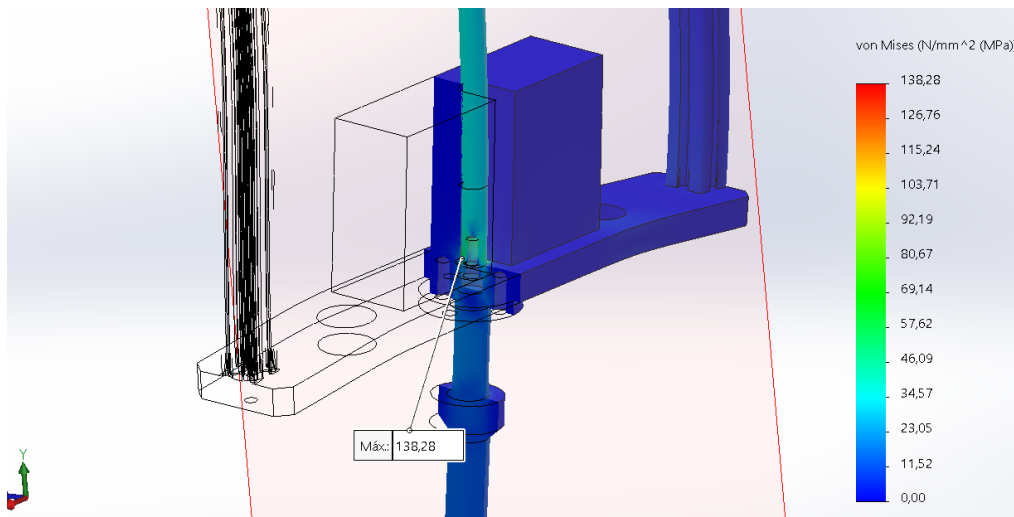


Figura 41: Tensión máxima debido a ensayo de plásticos y materiales compuestos

En lo referente a los desplazamientos, el mayor desplazamiento se produce en la zona del punzón, como es lógico, pues es esta zona aquella que se somete directamente a la fuerza estática equivalente.

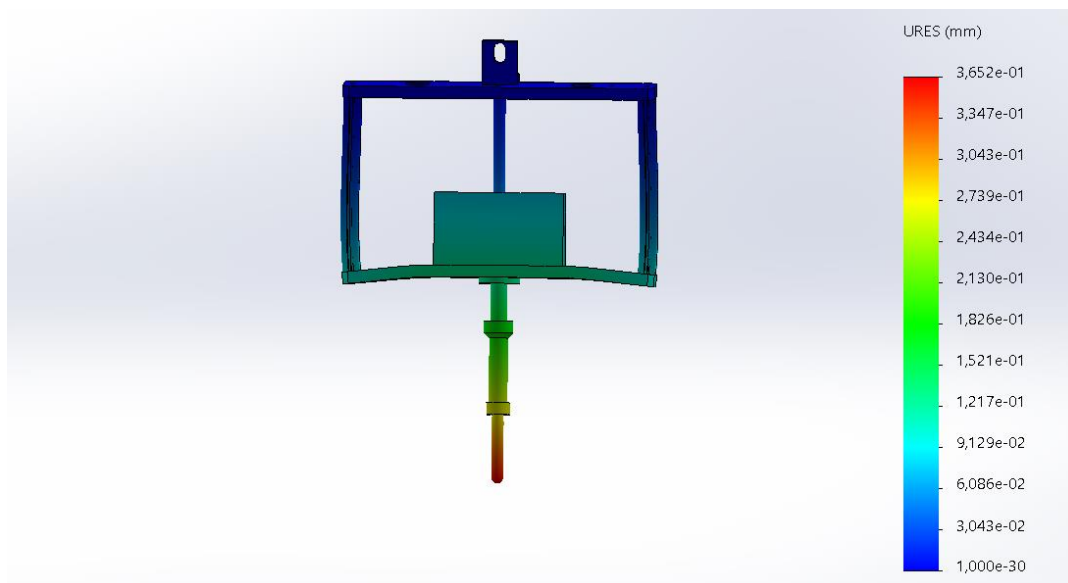


Figura 42: Deformaciones debidas a ensayo de plásticos y materiales compuestos

Como puede apreciarse, el desplazamiento máximo es de 0,365 milímetros, el cual se produce en el punzón. Este desplazamiento se produciría en un ensayo de un material de módulo elástico 10 GPa, como la fibra de carbono, aplicando la carga máxima.

4.5.2.2 Análisis de conjunto de masas para ensayo de adhesivos

Como se ha mencionado, se aplica la misma fuerza estática equivalente calculada al ensayo de adhesivos, aunque es preciso decir que los ensayos de adhesivos manejan fuerzas dinámicas de menor magnitud, puesto que el adhesivo a ensayar se aplica en una zona lo suficientemente pequeña.

No obstante, se realizará el análisis aplicando las fuerzas del caso anterior, analizando por tanto el caso más desfavorable. Se obtienen los siguientes resultados:

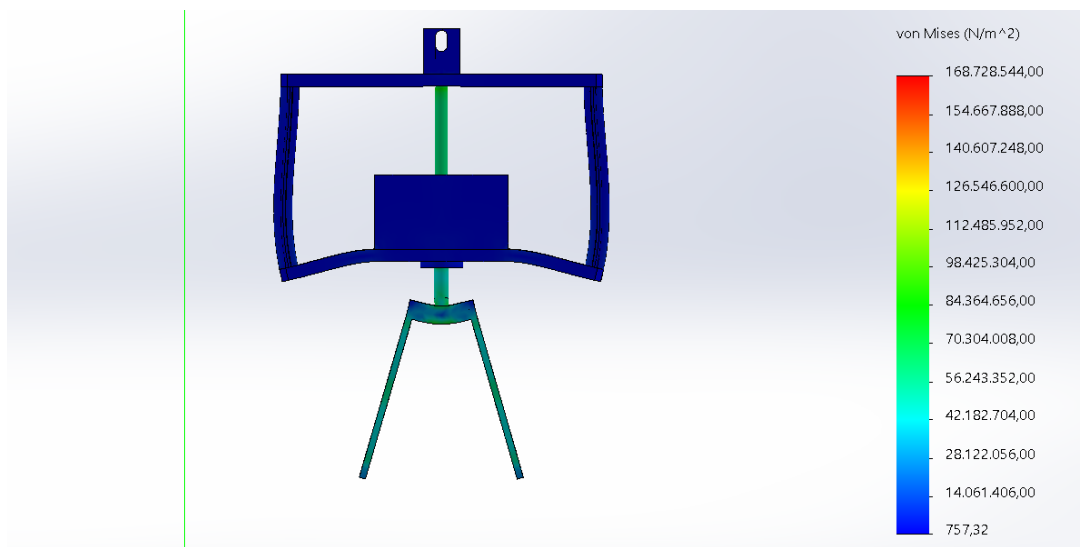


Figura 43: Tensiones debidas a ensayo de adhesivo

Como puede apreciarse, se producen tensiones que no son superiores a los límites elásticos de los materiales, siendo el menor de ellos de 300 MPa. Por tanto, no se produciría una deformación plástica en los materiales, y no hay riesgo de deformaciones permanentes.

A continuación, se muestra una imagen con la zona en la cual se produce la tensión máxima.

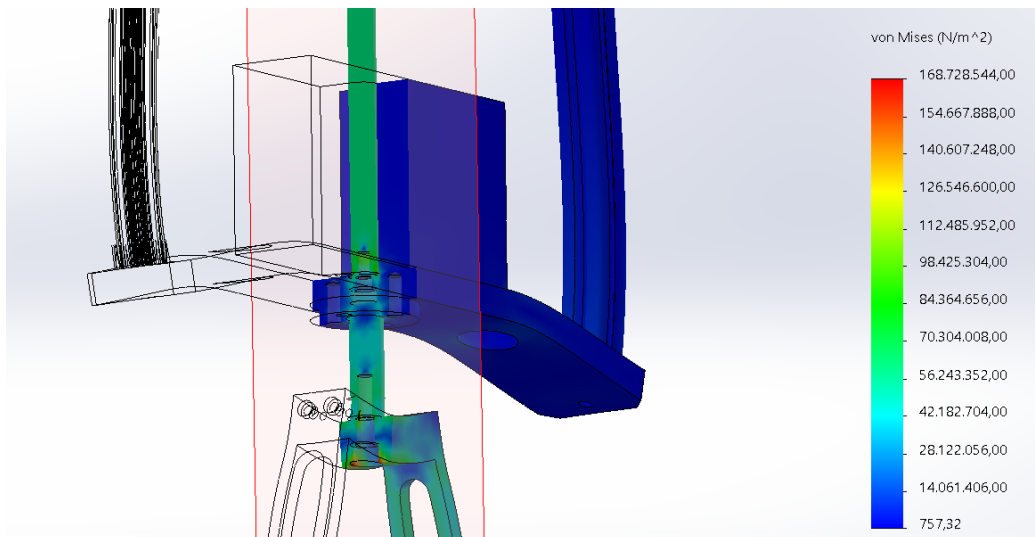


Figura 44: Tensión máxima debido a ensayo de adhesivos

La zona con tensión de 168,73 MPa se encuentra donde se aloja el tornillo para sujetar la pieza horizontal, a la que se le unen las placas, con el marco. Aún así, no es una tensión lo suficientemente elevada como para suponer un problema para el marco.

En lo referente a los desplazamientos, se obtienen los siguientes resultados.

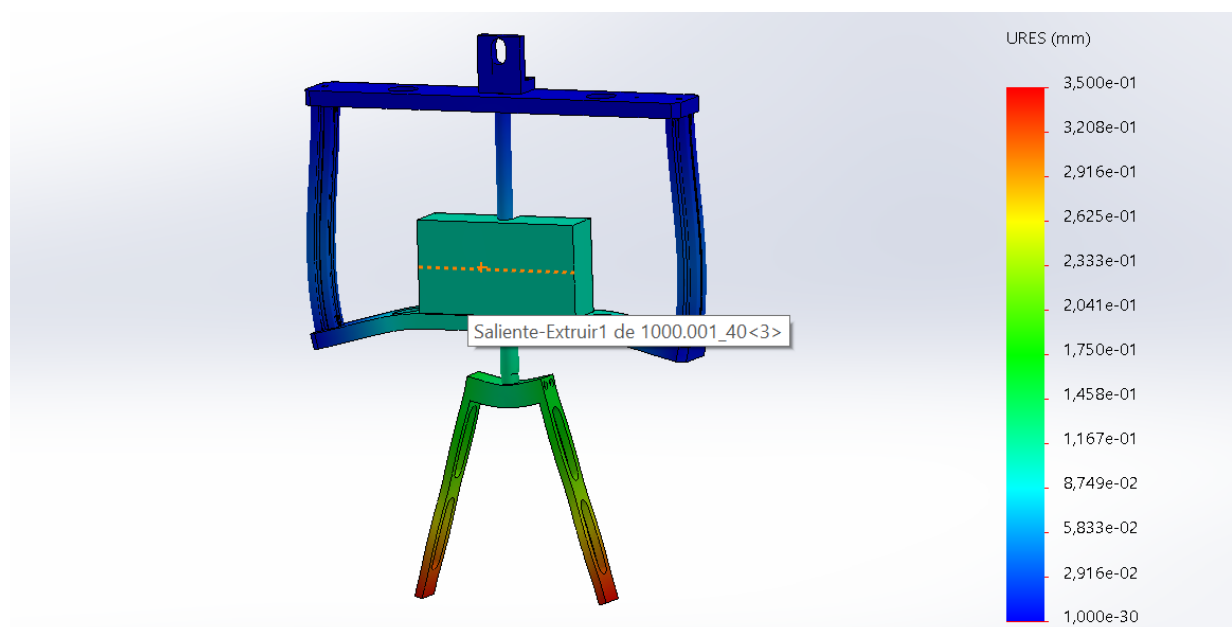


Figura 45: Desplazamientos debidos a ensayo de adhesivo

Los desplazamientos son similares a los desplazamientos del caso, anterior, no resultando lo suficientemente elevados como para suponer deformaciones plásticas.

4.6 Diseño de circuito neumático

Para que el portador de masas pueda elevarse hasta la posición deseada, que habitualmente será de un metro, es necesario implementar un cilindro neumático. Un cilindro neumático, está dotado en su interior de un pistón, el cual permite la separación de dos cámaras distintas en el interior del cilindro, y de un vástago. Dicho vástago, cuando se introduzca o se retire presión de las cámaras, saldrá del cilindro para unir la placa elevadora con el portador de masas, o en su defecto se recogerá para soltar el conjunto y realizar el ensayo una vez este haya sido elevado a la posición deseada. El cilindro neumático permite la unión de la placa elevadora con el conjunto masas por medio de dicho vástago. Para que esta acción de recogida o salida del vástago se produzca, es necesario implementar un circuito neumático. Se dispondrá de dos válvulas de presión, una para cada cámara del cilindro. Con esto se permite, mediante cuadro eléctrico, poder accionar las válvulas para permitir la entrada o salida de presión en cada una de las cámaras. Como se ha mencionado, se juega con la presión en las cámaras para poder liberar el vástago o recogerlo en el caso en el que se necesite. A continuación, se muestran las posibles posiciones del vástago.

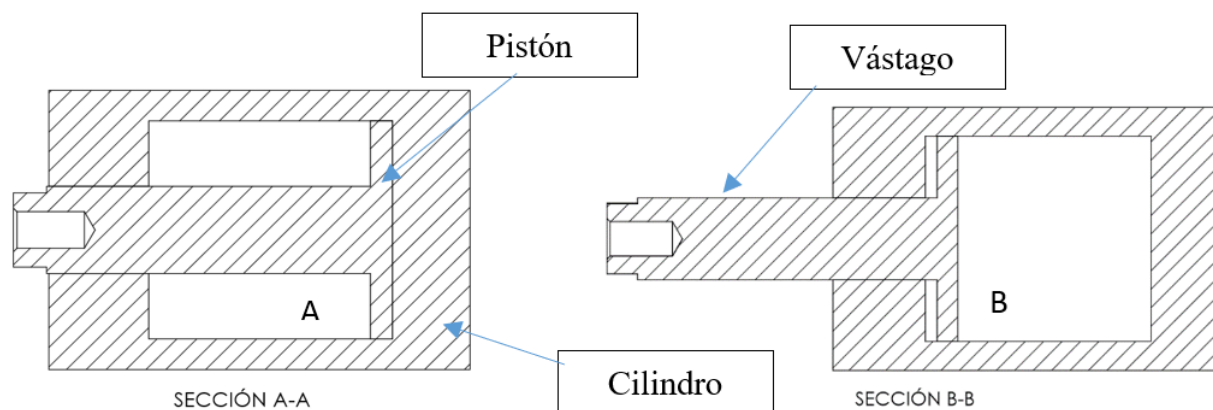


Figura 46: Cilindro con vástago recogido y vástago extendido respectivamente

Existen dos posibles casos en funcionamiento para el vástago del cilindro. Se considera un cilindro de doble efecto. Esto es, poder regular mediante dos vías, cada una conectada a una sección del cilindro, el funcionamiento y la carrera del vástago.

La cámara B necesariamente debe tener mayor presión que la cámara A, para mantener el vástago fuera del cilindro. Debido a que esta posición se utiliza para subir el conjunto masas,

es necesario que el vástago no se mueva de su posición, manteniéndose unido al conjunto masas para elevarlo a la posición deseada.

Dicho esto, se deben realizar dos análisis, con el fin de poder seleccionar un cilindro neumático cuyas características sean válidas para elevar el conjunto, e idear un circuito neumático, el cual se accionará por medio de cuadro eléctrico.

En primer lugar, es preciso realizar algunos cálculos. Se deberá calcular la fuerza proporcionada por el pistón para retirar el vástago del conjunto masas cuando haya de realizarse el ensayo. Es importante que la fuerza de retirada del vástago para liberar el conjunto sea mayor a la fuerza de rozamiento que dicho conjunto someterá con su peso al vástago. Se sabe que, en el cilindro, existen dos secciones. En concordancia con las imágenes, llámese sección A, la sección que incluye el vástago, y sección B la sección que no incluye el vástago. Como es de suponer, la sección efectiva de A será menor que la sección B, debido al espacio que ocupa el vástago.

Se toma como posible cilindro un cilindro neumático con un diámetro de 50 milímetros de pistón y un diámetro de 20 milímetros de vástago. Tener en cuenta que la carrera del vástago debe ser de 50 milímetros, distancia mínima para asegurar la correcta unión entre placa elevadora y portador de masas. Por tanto, las secciones de ambas cámaras serán las siguientes:

$$S_A = \frac{\pi}{4} \cdot (5^2 - 2^2) = 16,4933 \text{ cm}^2$$

$$S_B = \frac{\pi}{4} \cdot 5^2 = 19,6349 \text{ cm}^2$$

Como puede verse, las secciones son distintas. Destacar que el pistón debe mantenerse en equilibrio, y dado a que las secciones son distintas, las presiones son distintas. Por tanto, a la hora de diseñar el circuito neumático, la vía conectada a la sección B deberá tener un reductor de presión. La presión será, generalmente, de unos 6 bar aproximadamente en las dos vías de conexión con el cilindro. En este caso, lo que se calcula es la fuerza F que proporciona la presión de 6 bar en la sección A, para poder recoger el vástago y liberar el conjunto. Se muestra a continuación, una imagen ilustrativa del funcionamiento.

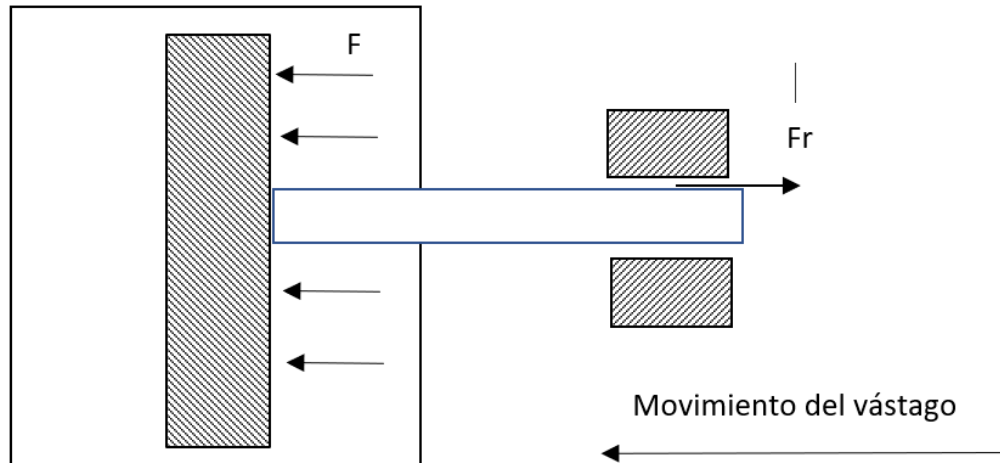


Figura 47: Esquema de fuerzas que intervienen en la recogida del vástago

Se pretende poder vencer la fuerza de rozamiento que realiza el portador de masas con su peso. Aplicando una presión de 6 bar en la cámara A, se tiene que la fuerza realizada sobre el pistón, teniendo en cuenta que la presión se distribuye de forma uniforme,

$$F = P \cdot S_A$$

Teniendo en cuenta que:

F: fuerza realizada en el pistón debido a la presión

P: presión inyectada en la cámara A

S_A : Sección efectiva de la cámara A

μ : se plantea un coeficiente de rozamiento de 0,2

Se debe tener en cuenta, que debe liberarse la presión de la sección B, con el fin de que esta presión en la sección B suponga la mínima fuerza contraria a la que se quiere. Entonces,

$$P = 6 \text{ bar} = 60 \text{ N/cm}^2$$

$$F = 60 \cdot 16,4933 = 989,6 \text{ N}$$

Se sabe pues, que la máxima fuerza que podrá realizar el cilindro para vencer el rozamiento y liberar el portador de masas es de 989,6N. Esta fuerza, corresponde a una masa total de 100Kg. En el caso que nos ocupa, la masa máxima del portador debe ser aproximadamente de 20 kg. Como bien se ha mencionado, el coeficiente de rozamiento se estima en 0,2. Por tanto, la fuerza de rozamiento debido al conjunto masas es de:

$$Fr = 0,2 \cdot 200 = 60N$$

Teniendo en cuenta, tanto la fuerza de rozamiento Fr , como la fuerza debido a la presión F , puede verse que se puede vencer la fuerza de rozamiento sin problema.

No obstante, cabe destacar que deberá instalarse un cojinete que permita el ajuste entre vástago y el orificio de la pieza que sustenta al cilindro. El cojinete permite que las juntas del cilindro no se sometan a una carga demasiado elevada al levantar el conjunto de masas, además de disminuir el efecto de flexión que se produciría en el vástago. De esta manera, la mayoría del peso recae sobre el cojinete y a su vez sobre la pieza en la que se aloja el cilindro, disminuyendo la fatiga a la que se encontrará sometido el cilindro cuando tenga que elevar o bajar el conjunto de masas por medio del husillo.

En lo referente al diseño del circuito neumático, cabe destacar algunos aspectos. En primer lugar, recordar que se plantea el uso de un cilindro de doble efecto. Esto es, que el cilindro tiene conectadas dos vías hidráulicas a ambas cámaras, tanto la cámara A como la cámara B. Se muestra la siguiente figura del circuito neumático.

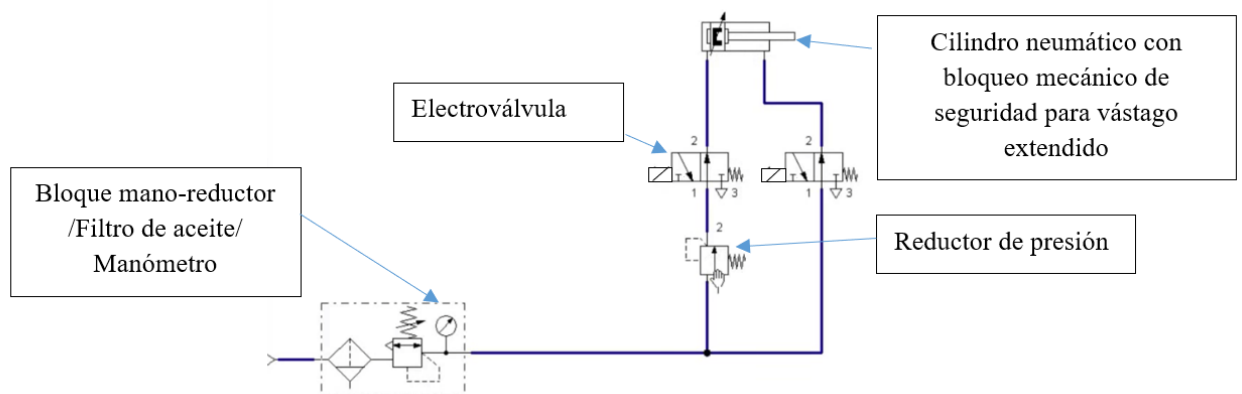


Figura 48: Circuito neumático

En el presente circuito, se tienen varios elementos que deben ser analizados. Como se ha mencionado anteriormente, se tiene un cilindro neumático de doble efecto, el cual lleva dos vías, controladas por las electroválvulas, alojadas en cada una de las cámaras. Se tienen dos electroválvulas, una por cada vía. Mediante esto se consigue regular la presión que circula por las vías hacia las cámaras del cilindro. Es preciso recordar que estas válvulas se accionan mediante cuadro eléctrico por PLC (ver 5.1 *Sistema de control mediante PLC*). En el caso de la

figura, ambas válvulas se encuentran abiertas, permitiendo la entrada de presión en el pistón. Debido a la acción del reductor de presión, se permite que se produzca un equilibrio entre cámaras y el vástago permanece en reposo. Como ya se ha dicho, el reductor de presión se utiliza para disminuir la presión en la cámara sin vástago, dado que esta sección efectiva será mayor que la cámara con vástago. Para poder llegar al equilibrio, es necesario reducir la presión de tal forma que:

$$P_A \cdot S_A = P_B \cdot S_B$$

Siendo

P_x : presión en función de la cámara x

S_x : sección de la superficie de la cámara x

Aquello que se obtiene de la última ecuación planteada es la igualdad de fuerzas entre cámaras para mantener el equilibrio.

Por último, en el circuito neumático se tiene un bloque mano-reductor, acompañado de un filtro de aceite y un manómetro. El bloque mano-reductor sirve para poder regular la presión que llega del compresor al sistema neumático. En este caso, se regula la presión a 6 bar aproximadamente. Por otro lado, se tiene un manómetro capaz de medir la presión a la que se encuentra sometido el circuito neumático, previamente ajustada por el operario con el bloque mano-reductor. Este pequeño sistema debe ir dotado de un filtro de aceite, con el fin de retener partículas y otros restos provenientes del compresor. Con este filtro se impide que estas partículas lleguen al cilindro neumático y causen problemas en su funcionamiento.

4.6.1 Disposición del cilindro neumático y unión mecánica

Una vez seleccionado el cilindro neumático a emplear, es necesario diseñar la disposición del mismo de forma que se pueda permitir el correcto funcionamiento de la unión. Recordar que la unión se produce entre el conjunto de masas y la placa elevadora, la cual lleva incorporado el cilindro. Para poder incorporar el cilindro a la placa, se ha diseñado un soporte con forma de L, sujeta a la placa mediante tornillería.

Con el fin de que el vástago sufra la menor deformación posible debido a flexión, se ha incorporado un cojinete a la pieza de soporte, el cual sirva de apoyo para el vástago y mitigar parte de la fatiga debida al peso del conjunto de masas. Se muestra en la siguiente imagen la disposición del cilindro.

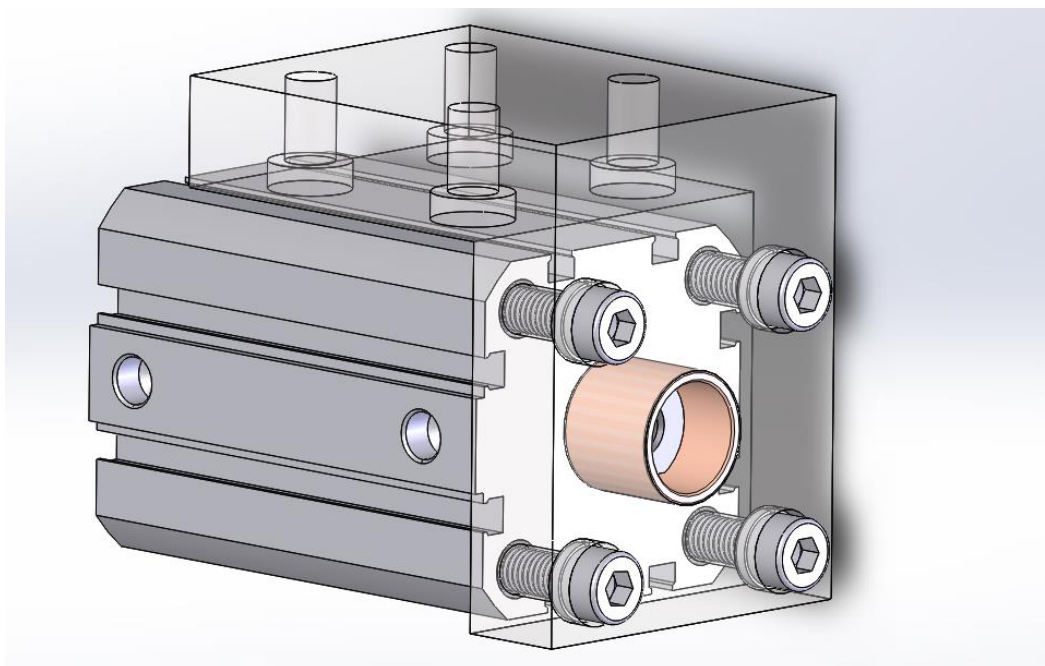


Figura 49: Disposición del cilindro neumático en el equipo

Como puede verse, el cilindro queda unido al soporte mediante cuatro tornillos M8 con arandela grower, de manera que se asegure la sujeción. En el centro del soporte, se ha alojado, como se ha comentado, un cojinete de bronce fosforoso para aliviar en una cierta parte, al vástago de la fatiga producida por el peso del conjunto de masas. El vástago sobresale cuando se necesite elevar el conjunto de masas por medio de las presiones en sus cámaras, como se ha explicado en el apartado anterior.

La disposición del conjunto de la figura anterior con el equipo de ensayos queda de la siguiente forma.

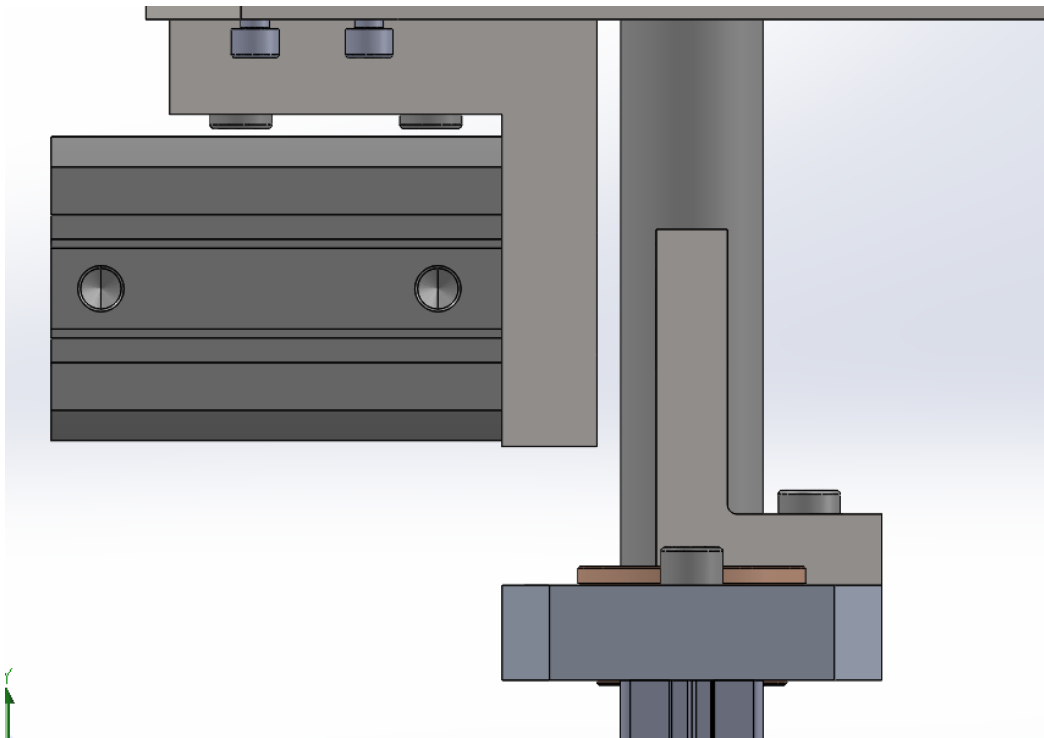


Figura 50: Sistema de unión de placa elevadora y conjunto de masas

Es necesario analizar algunos aspectos de la imagen. La pieza en forma de L que forma parte del conjunto de masas se caracteriza por tener un ranurado en la parte central geométrica. Mediante esta ranura se permite una cierta holgura para el vástago del cilindro neumático. Se permite un cierto margen para el vástago para asegurar que se produce la unión entre placa elevadora y conjunto de masas. Si se diseña la pieza en la que se introduce el vástago con un corte circular de la misma sección que el propio vástago, podrían surgir problemas a la hora de producirse el enganche. Por estos motivos se ha establecido diseñar un margen para la unión por medio de este ranurado. A continuación se muestra una imagen de lo mencionado.

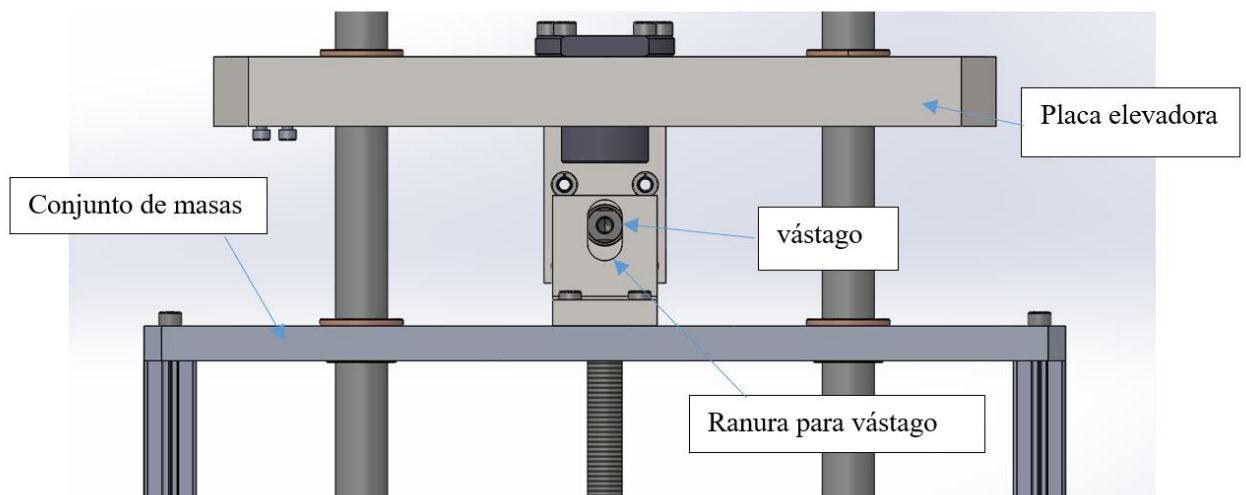


Figura 51: Margen de unión para vástago

Para que la altura de caída en los ensayos pueda ser realmente la establecida por el operario, deberá tenerse en cuenta esta pequeña holgura, ya que la placa elevadora se desplazará por la ranura cuando comience a elevarse hasta su tope. Una vez alcanzado este tope, la placa elevadora tirará mecánicamente del conjunto de masas hasta la altura establecida. Es decir, si se quiere elevar el conjunto de masas, por ejemplo, a un metro, y el vástago atraviesa la ranura en el centro geométrico, deberá elevarse la placa en 17,5 milímetros más, aparte de los 90 milímetros calculados en 4.3.3 ***Cálculo de alturas necesarias para ensayo***, teniendo en cuenta que la ranura tiene una longitud de 15 milímetros sin tener en cuenta las medias circunferencias y 20 milímetros de espesor.

4.6.2 Seguridad del cilindro

Puede darse el caso en el cual, por alguna razón, se produce un fallo en el circuito neumático y las presiones se pierden en las cámaras. El caso más desfavorable, o el que supone un mayor peligro en lo referente a la seguridad del operario, sería aquel en el que se pierde la presión en la cámara para mantener el vástago extendido cuando se eleva el conjunto de masas.

Para ello, se ha seleccionado un cilindro neumático con bloqueo mecánico para vástago extendido. Esto quiere decir que, cuando el vástago esté extendido, un bloqueo mecánico incorporado lo mantenga extendido, independientemente de si hay presión o no en la cámara para mantener el vástago en dicha posición. Así, se asegura con certeza que el vástago se mantenga extendido en aquellos momentos en los que se requiera si se produce fallo en la presión. Es preciso decir que el bloqueo liberará el vástago cuando el operario quiera realizar el ensayo.

Capítulo 5

Sistema de control mediante PLC e instrumentación

5.1 Sistema de control mediante PLC

Si bien no está dentro del alcance de este proyecto el diseño específico de las partes eléctricas y electrónicas del sistema de mando y control de maniobras de la máquina, se detalla a continuación una descripción de los componentes necesarios para poder realizar las diferentes operaciones para un correcto funcionamiento de la máquina.

5.1.1 Sistema de control

El sistema de control está formado por los siguientes componentes:

- PLC con pantalla táctil de 3,5", que permitirá al usuario configurar y realizar los ensayos de acuerdo con la norma aplicable. El PLC se instalará en un armario eléctrico que se montará sobre el costado derecho del equipo.
- Encoder lineal digital (tipo hilo), que tendrá la función de realizar la medida de altura de caída del conjunto de masas que generaran la energía a aplicar a la muestra objeto de ensayo. Tiene una resolución de 0,01 mm y se instala en el travesaño superior del equipo. La referencia de altura nula por tanto, se determina en la parte superior, pudiendo medir como longitud máxima una longitud de 1500 milímetros.

- Cuadro eléctrico. Situado dentro del armario eléctrico, incorpora los siguientes elementos:
 - Fuente de alimentación de 24 V. para alimentar a todos los componentes de baja tensión (PLC, Encoder, Detectores de proximidad, Final de carrera, Parada de emergencia, Detector bloqueo puerta de seguridad).
 - Variador o convertidor de frecuencia. Mediante el variador de frecuencia se realiza el control del motor eléctrico mediante el que se realiza la maniobra de subida del conjunto de masas. El variador permite además configurar dos velocidades; por un lado la velocidad rápida para minimizar el tiempo de subida/bajada y por otro lado la velocidad lenta para realizar una aproximación segura al punto muerto inferior (punto de recogida del conjunto de masas) y una aproximación precisa a la altura de caída seleccionada, la cual será, por defecto, un metro para el cumplimiento de la norma que así lo requiere, aunque el usuario podrá elegir otras alturas de caída. (sólo en ensayos de adhesivos).
 - Interruptores para activar la caída del sistema de masas una vez se realice el posicionado de las mismas. Se incorporarán 2 interruptores, para garantizar que se tienen las 2 manos ocupadas y cumplir así con la norma de seguridad de máquinas.
 - Parada de emergencia. Permite abortar la maniobra de subida y bajada del travesaño móvil en cualquier momento.
- Final de carrera superior. Realiza la parada del travesaño móvil en caso de que se supere la carrera máxima del mismo. Se incorpora como elemento de seguridad, con el fin de poder parar el motor de forma mecánica en caso de falle algún elemento de medida eléctrico.
- Final de carrera inferior. Realiza la parada del travesaño móvil en caso de que se supere la carrera mínima del mismo.
- Sensor de proximidad para la recogida del conjunto masas.
- Interruptor de seguridad puerta cerrada zona superior. Permite bloquear la puerta de acceso superior, siempre que el conjunto de masas se encuentre en posición de lanzamiento.
- Interruptor de seguridad puerta cerrada zona inferior. Permite bloquear la puerta de acceso inferior, siempre que el conjunto de masas se encuentre en posición de lanzamiento.

El sistema de control mediante PLC, tiene una forma tal que:



Figura 52: Imagen real del sistema de control a instalar en el equipo [18]

Mediante el sistema de control, el operario puede ordenar la subida y bajada del conjunto de masas, además de proporcionar la seguridad suficiente para poder llevar a cabo los ensayos. Por ejemplo, si la puerta de seguridad se encuentra cerrada, se manda una señal con el fin de permitir la subida del portador. Por otro lado, se tienen dos finales de carrera, de manera que pueda controlarse de forma mecánica un rango máximo y mínimo de movimiento del portador de masas.

El sistema de control PLC, deberá contar con algunos elementos para poder llevar a cabo las operaciones anteriormente mencionadas. La configuración será la siguiente:

- Pantalla táctil en color de 3,5" con teclado virtual para la introducción de datos por parte del usuario.
- Teclas de navegación mediante pantalla táctil y externas.
- 16 entradas digitales
- 3 Entradas analógicas
- 2 Entradas de encoder
- 10 Salidas digitales
- 4 salidas 24V
- Entrada para tarjetas SD (recomendado)
- Conexión a ordenador mediante puerto USB o Ethernet

5.1.2 Diagrama de bloques para el sistema de control

Para saber las conexiones entre los elementos del equipo y el sistema de control, ha de desarrollarse un diagrama de bloques con el fin de poder entender las conexiones existentes. Se muestra, en primer lugar, un diagrama de forma conceptual.

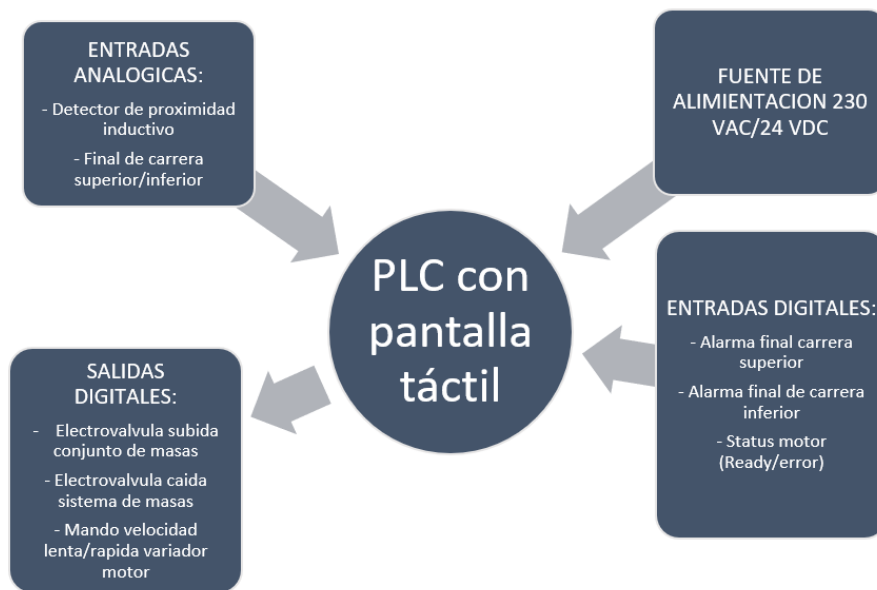
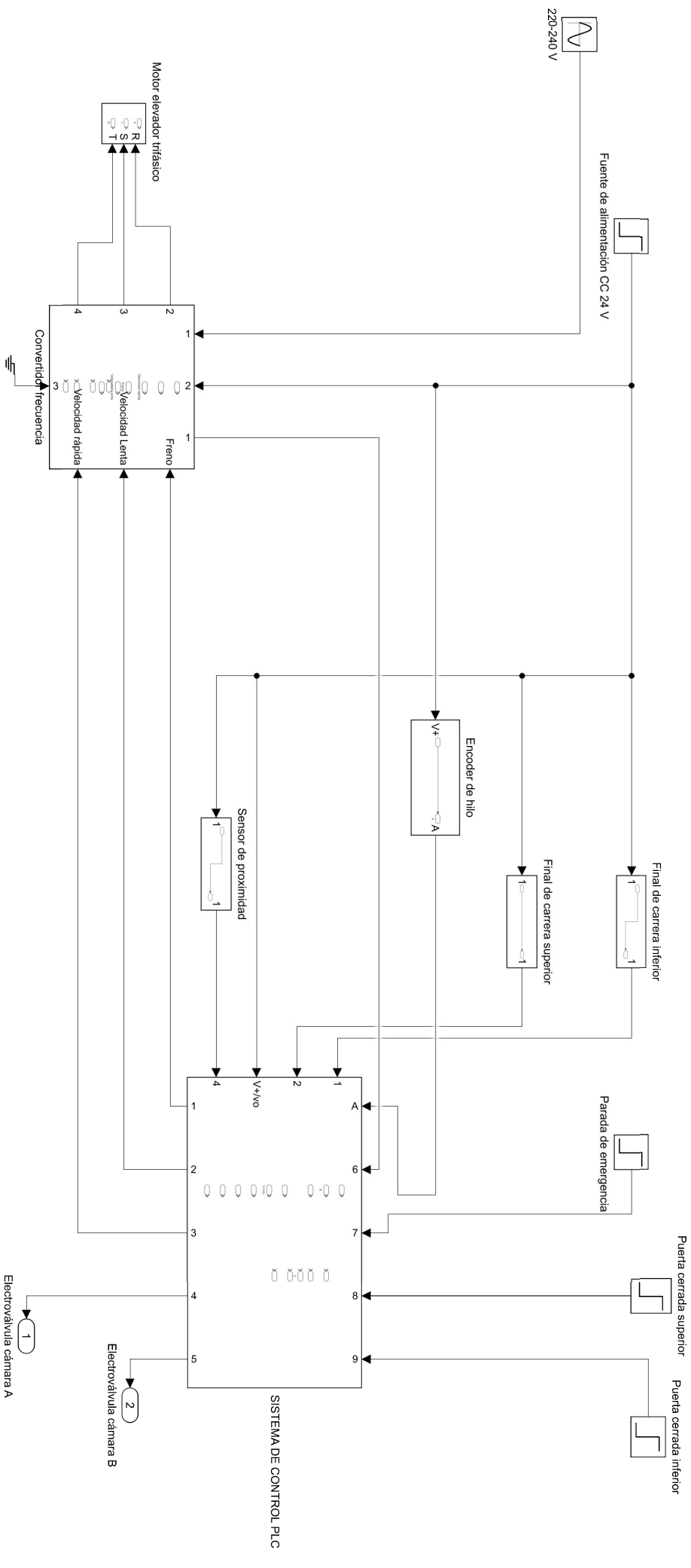


Figura 53: Esquema de funcionamiento del sistema de control

Tomando como entradas y salidas las vistas en la figura, se puede diseñar un diagrama de bloques más complejo, el cual resultaría de la siguiente forma:



5.2 Instrumentación

La instrumentación constará de dos elementos que actúan de forma conjunta. Es preciso mencionar que la instrumentación solamente tendrá cabida en el ensayo por impacto de adhesivos para uniones metálicas (según norma UNE EN ISO 11343). Se ha determinado que el ensayo por impacto de plásticos y materiales compuestos será un ensayo no instrumentando, aunque bien es cierto que su norma contempla que pueda serlo. Si el usuario lo requiere, también puede instrumentarse este ensayo, aunque no será desarrollado en el presente proyecto.

Como bien se ha dicho, solamente se instrumentarán los ensayos de adhesivos. Para ello, se utilizará una célula de carga o sensor piezoeléctrico, y un grupo de adquisición de datos, para recoger los datos de medida de la célula de forma electrónica.

5.2.1 Selección de célula de carga o sensor de fuerza

Los sensores de fuerza piezoeléctricos, funcionan por medio del principio de piezoelectricidad, valga la redundancia. El principio de piezoelectricidad determina que algunos cristales, al estar sometidos a fuerzas, sufren una deformación que origina una polarización eléctrica entre caras

opuestas del elemento. La polarización origina por tanto, una diferencia de potencial, la cual debe ser directamente proporcional a la fuerza aplicada.

Un sensor piezoeléctrico funciona de forma correcta cuando la fuerza y la diferencia de potencial debido a esa fuerza son directamente proporcionales la mayoría del tiempo. Para la explicación presente, se considerará como factor proporcional una cantidad λ , tal que:

$$V = \lambda \cdot F$$

El comportamiento del sensor piezoeléctrico a seleccionar en el presente proyecto sigue este principio. En el ensayo de adhesivos, la célula sufrirá una tensión de deformación debido a una fuerza de impacto instantánea de energía a determinar por el usuario. La deformación que sufre la célula se puede representar de la siguiente forma:

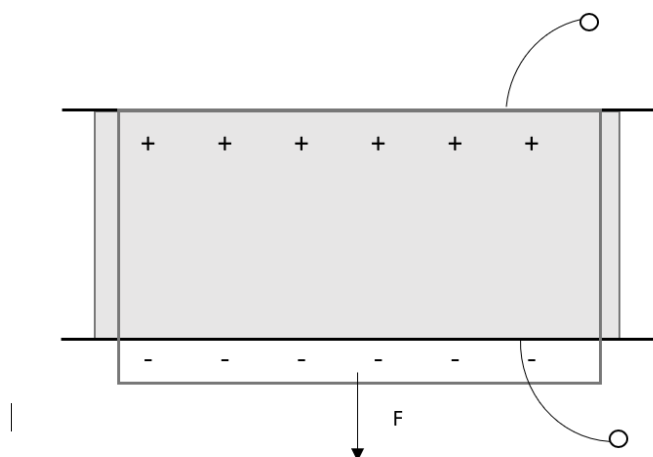


Figura 54: Funcionamiento piezoeléctrico de célula de carga

Como puede verse, la fuerza causa una deformación en el sensor piezoeléctrico. Esta deformación será captada y amplificada por medio del grupo de adquisición de datos, el cual deberá tener cierta habilidad para recoger los datos de manera rápida, ya que la deformación se produce en un intervalo minúsculo de tiempo.

La fuerza proveniente de la dinámica del ensayo se estudiará atendiendo a tres aspectos: fuerza debida a la dinámica, fuerza debida a la fricción y fuerza debida a la elasticidad del sensor.

- Fuerza debida a la dinámica $\rightarrow F = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$
- Fuerza debida a fricción o rozamiento $\rightarrow F = \mu \cdot \frac{dx}{dt}$
- Fuerza debida a la elasticidad $\rightarrow F = \varepsilon \cdot x$

Si se juntan las tres fuerzas, se tiene una ecuación tal que:

$$F = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \mu \cdot \frac{dx}{dt} + \varepsilon \cdot x$$

Para que la fuerza pueda relacionarse con la diferencia de potencial a causa del fenómeno de piezoelectricidad, se dispone de un circuito eléctrico, el cual es análogo al funcionamiento del sensor piezoeléctrico. Planteando el modelo, cabe destacar que el sensor dispone de elementos resistivos, capacitivos e inductivos, con el fin de tratar todas las fuerzas presentadas en la ecuación anterior.

Por tanto, es preciso decir que se puede plantear una ecuación eléctrica con diferencia de potencial, de manera que sea análoga a la ecuación de la fuerza anteriormente planteada. De esta forma, se deben considerar resistencias, capacitancias e inductancias. La ecuación se plantea tal que:

$$V = L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i + \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt$$

Siendo el primer término el efecto inductivo, seguido respectivamente de los efectos resistivo y capacitivo. Si se comparan ambas ecuaciones, puede verse que son completamente análogas.

El circuito modelo sería el siguiente:

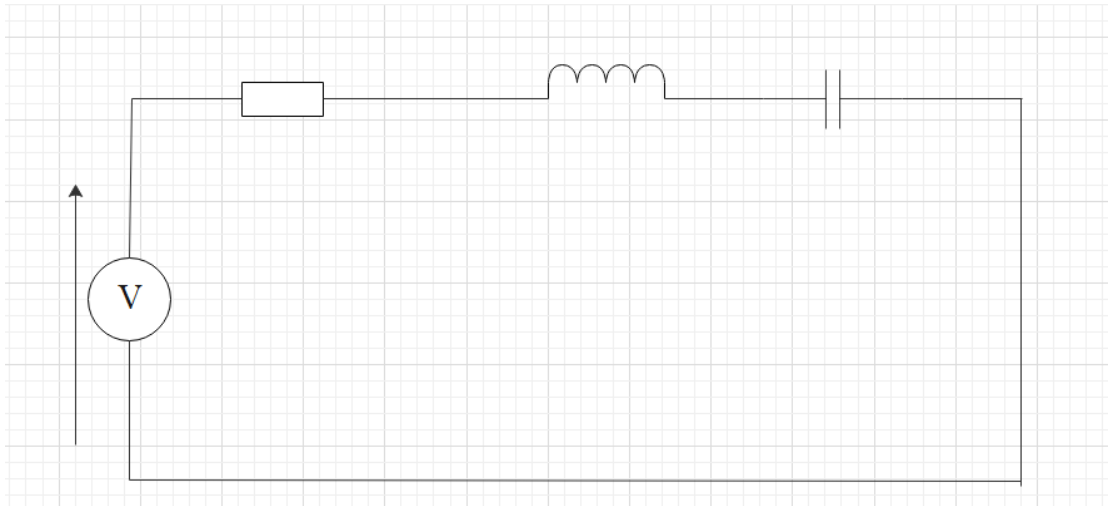


Figura 55: Esquema eléctrico de funcionamiento de célula de carga

Se tiene una constante de proporcionalidad del valor λ / K , que permite operar con parámetros eléctricos equivalentes en vez de operar con parámetros mecánicos. Es necesario mencionar que los parámetros de resistencia, inductancia y condensador vienen determinados por el fabricante de la célula de carga, por lo que no son incógnitas del problema.

Es preciso decir que, cuando se realiza la medición, se tiene un condensador equivalente en paralelo (C_2), pero además debe considerarse un condensador equivalente ficticio que simularía la estructura cristalina física del sensor (C_1). De esta forma, pueden considerarse dos condensadores (llámese C_1 y C_2), que si se operan de forma conjunta, C_1 en serie a C_2 , se obtiene un condensador serie dando como resultado el valor de C_p anteriormente mencionado.

Se puede considerar el circuito anterior en función de C_1 y C_2 .

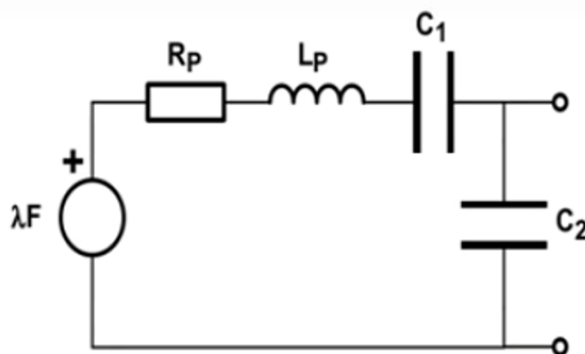


Figura 56: Simplificación de circuito eléctrico de célula

A partir de este circuito, puede conectarse un aparato de medida con su propia resistencia que sea capaz de recoger la diferencia de potencial, amplificarla y poder establecer la relación que tiene esta tensión con la fuerza de impacto. Este proceso se realiza mediante el grupo de adquisición de datos.

Para la selección de la célula de carga, se han tenido en cuenta estos factores. De esta forma, se establece que pueden considerarse células de carga entre 20 kN y 50 kN. Se elige para el equipo una célula de 50 kN, ya que la diferencia en el precio no es considerable en comparación con la célula de carga de 20 kN y disponer de un sensor que soporte cargas elevadas supone menos riesgo. (ver características generales en

Anexo I).

5.2.2 Selección del sistema de adquisición de datos

La principal función del sistema de adquisición de datos es la de realizar la lectura de datos en tiempo real cuando se requiera instrumentar los ensayos de impacto para obtener el gráfico fuerza – deformación.

Para ello es necesario disponer de una electrónica de adquisición de datos en tiempo real de alta velocidad, capaz de realizar la lectura del sensor de medida de fuerza durante el momento del impacto ($< 1s$) de forma que se puedan almacenar en un fichero el mayor número de datos posible para poder definir la curva fuerza-tiempo en el momento del impacto con resolución adecuada. El tiempo del impacto en el ensayo, se estima que varía entre 0,1 y 0,3 segundos, dependiendo de la fragilidad y elasticidad de la muestra a ensayar.

La frecuencia de muestreo mínima necesaria, de acuerdo al apartado 5.2.1 de la norma ISO 6603-2 es de 100 kHz. La frecuencia determinada de 100 kHz tiene una explicación sencilla que es preciso mencionar. La unidad de Hz tiene una equivalencia de s^{-1} . Un Hz representa la frecuencia, esto es, la cantidad de datos que pueden ser recogidos o enviados en un segundo. Por tanto, con una frecuencia de 100 kHz, pueden leerse 100.000 datos a cada segundo. El grupo de selección de datos tiene una lectura máxima de 100 kHz. Como se ha mencionado anteriormente, el impacto sobre la muestra en cada ensayo tendrá una duración de 0,1 a 0,3 segundos. Si se analiza en el caso más rápido, esto es, en 0,1 segundos, el equipo será capaz de leer 10.000 datos, dado que el tiempo de recogida es el 10 % de un segundo.

Si se realiza el ensayo a menor frecuencia, se tendrían de menos datos y podrían haber zonas en la curva de fuerza-tiempo que quedarían indeterminadas y no se sabría a ciencia cierta el comportamiento de la muestra. Por tanto, la frecuencia de 100 kHz es la frecuencia mínima necesaria en la recogida de datos.

Las normas contemplan, además, que la frecuencia mínima necesaria para ensayos instrumentados debe ser de 100 kHz, tal y como se especifica en el apartado 5.2.1 de la norma UNE EN ISO 6603-2. Disponer de un aparato capaz de leer datos a mayor frecuencia tiene un coste demasiado elevado y no es rentable para el proyecto que concierne.

Bien es cierto que el ensayo instrumentado diseñado en el presente proyecto es únicamente el ensayo de adhesivos, pero se puede disponer de la célula de carga y el equipo de adquisición para instrumentar también el ensayo por impacto de plásticos rígidos.

El sistema de adquisición de datos está compuesto por:

- Módulo de medida de frecuencia e impulsos MX460B. Se ha seleccionado este equipo dado que se trata de un módulo digital altamente dinámico de 4 canales de la familia QUANTUM X de HBM. Si bien inicialmente solo se necesita un canal de medida de la magnitud de fuerza, este módulo permitiría si fuera necesario medir otras magnitudes (desplazamiento, velocidad, etc..)
- Célula de carga con principio de medida piezoeléctrico, modelo U93 de 50 kN de capacidad de HBM. Se ha seleccionado este tipo de transductor dado que son de tamaño reducido, disponen de una elevada rigidez y son fáciles de implementar en este tipo de aplicaciones. Por otro lado, el principio de medida piezoeléctrico es especialmente adecuado para aplicaciones con variación muy rápida de la fuerza, puesto que se obtienen señales con baja distorsión y nivel de ruido. Puede verse el funcionamiento en **5.2.1 Selección de célula de carga o sensor de fuerza**).
- Software de análisis de datos CATMAN de HBM. Se trata de un software de adquisición y análisis de datos que permite:
 - Visualizar en tiempo real los datos de medición.
 - Analizar los datos tratados matemáticamente en tiempo real dado que dispone de una biblioteca muy potente que permite visualizar pseudo-canales gráficos simultáneamente que operan la magnitud de entrada y la representan en tiempo real.
 - Almacenar y exportar datos en varios formatos
 - Realizar análisis de datos
 - Realizar informes

En lo referente al funcionamiento del proceso de adquisición y la programación del mismo, destacar distintos aspectos:

1. La curva ideal para la lectura de las medidas es la curva fuerza-deformación. La complejidad de esta curva es que no puede medirse en sí, porque el aparato de medidas no goza de galgas extensométricas incorporadas en la muestra, además de no resultar viable. Se deberían tener, por un lado, un sistema con galgas extensométricas que midiesen la deformación, y por otro lado la recogida de las medidas de fuerza. Para poder llevar a cabo la medición de forma correcta, deberían coordinarse los aparatos, lo cual es una idea bastante engorrosa.

Para poder obtener esta curva fuerza-deformación, el sistema recoge los datos de la fuerza en función del tiempo, y mediante matemática de integración, puede calcularse la deformación de la muestra en función del tiempo. La ecuación para ello es la siguiente:

$$l(t) = v_o t - \frac{1}{m_c} \cdot \int_0^t \left[\int_0^{t_1} F(t) \cdot dt_1 \right] \cdot dt + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Una vez obtenida la curva de fuerza-deformación, puede integrarse la misma para obtener la energía de deformación. Este concepto puede verse detallado en 4.5 ***Análisis estructural de los elementos relevantes del equipo.***

2. Introducir los conceptos explicados en el punto anterior en el software del sistema. Se debe programar la matemática para que el programa calcule la deformación en función del tiempo en el cual toma la medida de fuerza, de manera que pueda representar en tiempo real, la curva de fuerza-deformación.

Dependiendo del material a ensayar, puede obtenerse distintas curvas de fuerza-deformación.

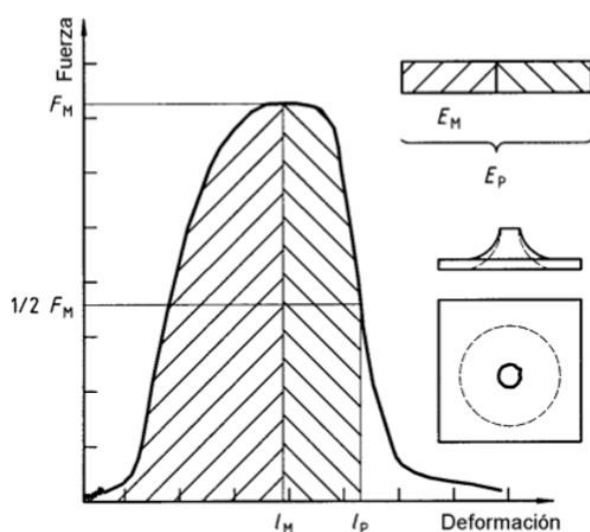


Figura 57: Curva fuerza-deformación de un material plástico [13]

En el caso de la figura, puede tratarse de un material plástico con comportamiento típico, esto es, con deformación elástica primeramente, seguido de una deformación elástica para acabar en rotura.

Podría darse el caso en el que el material a ensayar es demasiado frágil y no deforma pero si rompe, o darse el caso de un material en el cual no hay rotura. Estos casos siguen la siguiente curva.

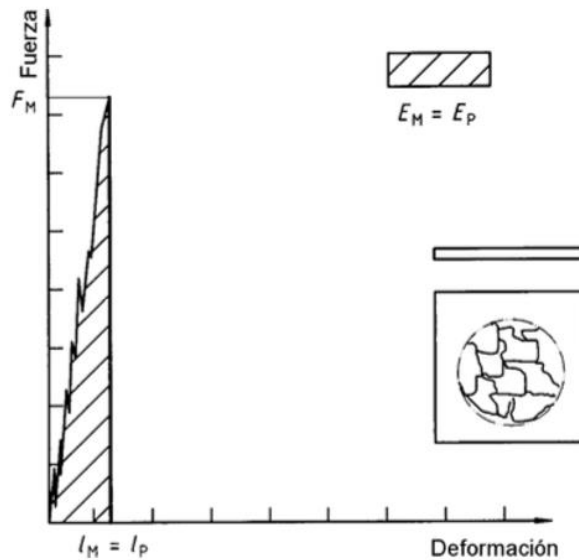


Figura 58: Curva fuerza-deformación sin rotura de material [13]

Destacar que esta figura representa una lectura de ensayo en el cual el material no rompe, pero esta curva es muy similar a un material con elevada fragilidad en el se produce rotura. En ambos casos las curvas son muy similares.

Capítulo 6

Diseño final del conjunto

Una vez realizado el diseño con todos sus elementos, además de haber realizado los cálculos necesarios para verificar su buen funcionamiento y seguridad, es necesario recoger y analizar, de forma más general, los resultados obtenidos tras este diseño.

Se ha diseñado un equipo con algunas características propias y poco comunes. El diseño permite poder realizar dos tipos de ensayo por impacto, atendiendo a dos normas distintas, mediante piezas intercambiables en el conjunto de masas y las respectivas bases para alojar las muestras a ensayar. Para poder llevar a cabo esto, se han tenido que diseñar las piezas de forma que pueda garantizarse en todo momento una altura máxima de un metro, pudiendo realizar ensayo a diferentes alturas, gracias a un sensor de proximidad en la recogida de los conjuntos y un encoder de hilo que mide la distancia desde un origen.

Por otra parte, un análisis clave a la hora de diseñar el equipo es el análisis estructural. Se debe verificar que el conjunto de masas es capaz de soportar un impacto en caída libre en el caso más desfavorable. Esto es, verificar que el conjunto de masas no se deforma al ensayar los materiales con mayor módulo de elasticidad. Los resultados son óptimos y han permitido poder diseñar el marco del conjunto de masas y los punzones de la manera en que se han diseñado.

Por último, es necesario diseñar un sistema de control, el cual lleve incorporadas las medidas de seguridad mínimas, para que el operario pueda controlar el ensayo que va a realizarse. Mediante el sistema de control, se permite al operario poder recoger el conjunto de masas y soltarlo en la altura deseada para realizar el ensayo. El sistema de control está dotado con una parada de emergencia, en caso de que pueda haber peligro para un integrante a la hora de realizar el ensayo. No obstante, se dota al sistema de control con medidas de seguridad, las cuales deben de estar activadas para que pueda soltarse el conjunto de masas. En su defecto, el conjunto de masas no se liberará desde la altura de origen.

Finalmente, se dispone de una instrumentación, principalmente para el ensayo de adhesivos de uniones metálicas, que permite obtener los datos de la fuerza que participa en el ensayo en función de la deformación. De esta forma, al obtenerse la curva fuerza-deformación, es posible realizar una gran cantidad de cálculos que permitan determinar el comportamiento del material ensayado con la energía aplicada.

Mediante el equipo, se puede ensayar una gran variedad de materiales con el fin de realizar estudios en relación con los mismos. El equipo diseñado puede resultar de gran utilidad para organizaciones de investigación si se fabrica.

A continuación se muestran imágenes del equipo completo con los dos dispositivos.



Figura 59: Equipo completo para realizar ensayos de plásticos y materiales compuestos

Como puede apreciarse, la imagen anterior ilustra el aspecto del equipo con los dispositivos montados para ensayar plásticos y materiales compuestos por impacto.



Figura 60: Equipo completo para realizar ensayos de adhesivos

Como puede verse en la figura, se muestra los dispositivos montados en el equipo para poder realizar el ensayo de adhesivos para uniones metálicas. Cabe desatacar que, en la mesa adyacente se encuentra el grupo de adquisición de datos, el cual debe ir conectado a la célula de carga y a un ordenador con el software anteriormente mencionado

Capítulo 7

Conclusiones y trabajos futuros

En conclusión, se ha diseñado un equipo completo de ensayos por impacto para plásticos, materiales compuestos y adhesivos. La demanda de estos materiales aumenta día a día en la industria y, actualmente, se buscan materiales ligeros que puedan reemplazar a los metales en ciertas situaciones.

El presente diseño permite ensayar plásticos y materiales compuestos por impacto, con el fin de determinar sus comportamientos y propiedades, que pueden ser de gran utilidad para la industria, en especial para la industria automovilística y aeronáutica. Además, el diseño permite ensayar adhesivos para uniones metálicas, los cuales pueden servir en muchas ocasiones para unir materiales en caso de que la soldadura no sea posible, o la tornillería resulte geométricamente inviable. Puede darse el caso en el que por geometría es muy complicado taladrar y atornillar, y que no se permitan además soldar esos materiales porque son de distinta composición. En estos casos, resulta viable estudiar la posibilidad de unir los materiales mediante adhesivo.

En algunas ocasiones, lo que impulsa a usar los materiales anteriormente mencionados no es gracias a causas técnicas, sino más bien por causas económicas. En ocasiones, utilizar materiales como plásticos o materiales compuestos resulta viable en términos de seguridad y normalmente son más económicos que los metales.

Se han cumplido todos los objetivos planteados. Entre estos encontramos los diseños de todas las partes del equipo, ya sea diseño de la zona de ensayos, sistema de control, instrumentación, etc... Por otro lado, se ha conseguido diseñar un equipo que albergue la posibilidad de ensayar materiales siguiendo dos normativas distintas. Se permite ensayar plásticos y materiales compuestos por impacto directo (UNE EN ISO 6603) y adhesivos por arrastre de cuña (UNE EN ISO 11343). Esta posibilidad otorga cierta peculiaridad al equipo, siendo rentable su construcción.

En definitiva, se ha diseñado un equipo que puede realizar ensayos de ciertos tipos materiales sometidos a distintas energías de impacto, lo que permite poder estudiar el comportamiento y la deformación de estos materiales. Mediante el diseño de este equipo, se da pie a poder desarrollar estudios futuros en relación con la deformación y la fatiga de plásticos, materiales compuestos y adhesivos.

Capítulo 8

Referencias

- [1] AEN/CTN 53 - PLÁSTICOS Y CAUCHO, «UNE EN ISO 6603-1. Determinación del comportamiento de los plásticos rígidos a la perforación por efecto de un impacto. Ensayo de impacto no instrumentado,» AENOR, Madrid, España, 2001.
- [2] AEN/CTN 143 ADHESIVOS, «UNE EN ISO 11343. Determinación de la resistencia dinámica al agrietamiento de uniones adhesivas de alta resistencia bajo condiciones de impacto,» AENOR, Madrid, España, 2005.
- [3] Ensayos_Charpy_Izod, «Enciclopedia Libre Universal en Español,» 2005. [En línea]. Available: http://enciclopedia.us.es/index.php/Archivo:Ensayos_Charpy_e_Izod.png. [Último acceso: 22 Marzo 2020].
- [4] ApplyNano Solutions, «Demanda de materiales compuestos en el sector aeronáutico,» 2018. [En línea]. Available: <https://applynano.com/materiales-compuestos-una-solucion-en-la-industria-aeronautica/>.
- [5] AMI Consulting, «Aplicaciones de los polímeros en Asia en 2017,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/209920-La-demanda-de-polimeros-en-Asia-sigue-mostrando-un-fuerte-crecimiento.html>. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [6] J. Setién Marquínez, J. A. Casado del Prado, S. Diego Cavia y C. Garcia, «Universidad de Cantabria,» [En línea]. Available: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/287/course/section/217/leccion_16.pdf. [Último acceso: 25 Junio 2020].
- [7] W. Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales, Madrid, España: Reverte S.A., 1996.
- [8] J. Coreño-Alonso y M. Méndez-Bautista, «Scielo,» 15 Abril 2010. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2010000400006. [Último acceso: 22 Marzo 2020].
- [9] W. D. Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales, Madrid, España: Reverte S.A., 1996.
- [10] D. Askeland, La Ciencia e Ingeniería de los materiales, México, DF.: Grupo Editorial Iberoamérica, 1987.
- [11] M. Madrid Vega, «Introducción,» de *Tecnología de la adhesión*, Madrid, España, pp. 17-21.

- [12] J. del Real Romero, M. Madrid Vega y F. López Martín, «Propiedades de los adhesivos y selladores después del curado,» de *Tecnología de la adhesión*, pp. 55-61.
- [13] AEN/CTN 53 PLÁSTICOS Y CAUCHO, «UNE EN ISO 6603-2. Determinación del comportamiento de los plásticos rígidos a la perforación por efecto de un impacto. Ensayo de impacto instrumentado,» 2001, Madrid, España, AENOR.
- [14] Mecanizados Sinc, «Mecasinc. Mecanizados de precisión,» 23 noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/acabado-pavonado-funcional-y-estetico/>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [15] Electro Níquel Forcan, «Niquelado de metales,» [En línea]. Available: <https://electroniquelforcan.com/niquelado-de-metales/>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [16] Duralcrom, «Duralcrom,» [En línea]. Available: <http://www.duralcrom.com/productos/tubo-cromado-exterior>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [17] Ingemecanica, «Tornillos de potencia,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [18] Unitronics, «Unitronics PLC,» [En línea]. Available: <https://unitronicsplc.com/vision-series-vision570/>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [19] Escola Oficis Catalunya, «Escola d'Oficis Catalunya (EOC),» [En línea]. Available: <https://escoladofiscatalunya.com/category/automatas-programables-plc/>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [20] P. A. Tipler y G. Mosca, «Conservation of Energy,» de *Physics for Scientists and Engineers*, New York, United States of America, W.H. Freeman and Company, 2008, pp. 203-23.
- [21] P. Coca Rebollero y J. Rosique Jiménez, CIENCIA DE MATERIALES, Madrid, España: Ediciones Pirámide, S.A., 1996.
- [22] A. Koprivc, «Interempresas,» [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/216248-La-funcion-del-ensayo-de-materiales-para-la-construccion-de-vehiculos-ligeros.html>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [23] H. Kuhn, ASM Handbook: Mechanical Testing and Evaluation, Almere, Países Bajos: ASM International, 2000.
- [24] L. Ortiz Berrocal, «Flexión lateral. Pandeo,» de *Resistencia de materiales*, Madrid, España, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U, 2007, pp. 625-39.
- [25] L. Ortiz Berrocal, «Flexión simple de vigas producida por impacto,» de *Resistencia de materiales*, Madrid, España, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U, 2007, pp. 406-10.
- [26] EcuRed, «EcuRed,» 15 noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Duraluminio>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [27] J. A. Barreiro, Tratamientos térmicos de los aceros, Madrid, España: Dossat, S.A., 1981.

Anexo I

Catálogos de piezas comerciales:

- Perfiles de aluminio 30x30 BoschRexroth
- <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements/strut-profiles/strut-profiles-slot-8-modular-dimensions-30/30x30>
- Perfiles de aluminio 100x200 BoschRexroth
- https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements/strut-profiles/strut-profiles-slot-10-modular-dimensions-50/100x200I?p=p846360&cat=Assembly-Technology-Catalog&pi=03CEECF9-FB91-C937-474437E4A5DCBC07_IC5_97&sapCat=MT&o=portal
- Caja de mando con brazo móvil DelValle
- <https://www.delvallebox.com/es/armarios-de-acero-inoxidable-cuadros-cajas-inox/caja-de-mando-y-brazo-movil-inoxidable-ip66-cobra>
- Convertidor de frecuencia LENZE
- <https://www.lenze.com/es-es/productos/convertidores/montaje-en-armario-electrico/convertidor-de-frecuencia-i550/>
- Encoder de hilo ASM
- <https://www.asm-sensor.com/en/produkt-detail-import-en.html?page=120&prod=6>
- Sensor inductivo analógico Microdetectors
- <https://www.microdetectors.com/prodotti/sensori-di-prossimita/C12P@00-3E/cap-m12-dc-plastico-no-nc>
- Cilindro neumático con agarre de seguridad FESTO
- https://www.festo.com/net/es_es/SupportPortal/InternetSearch.aspx?tab=0&q=1463770
- Motor LENZE
- http://www.lenze.org.ua/pdf/gears/CAT_g500_B_MD_MH_en-GB.pdf
- Reductor LENZE
- <https://www.lenze.com/es-es/productos/reductores/engranajes-angulares/reductor-conico-g500-b/>
- Conjunto Husillo- tuerca HIWIN
- <https://www.tecnopower.es/sites/default/files/tecnopower-husillos-de-bolas-laminados.pdf>
- Grupo de adquisición de datos QUANTUM HBM

- <https://www.hbm.com/es/2135/quantumx-mx460b-amplificador-rotacion-y-torsion-de-cuatro-canales/>
- Sensor de fuerza HBM U93 50 kN
- <https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/B02083.pdf>

Anexo II

Objetivos de desarrollo sostenible

El equipo diseñado sigue algunos de los objetivos planteados para un desarrollo sostenible, especialmente en aquellos relacionados con la industria y la producción. A continuación, se analizan aquellos objetivos de desarrollo sostenible que se han alcanzado:

- **Trabajo decente y crecimiento económico:** En el presente objetivo, se quiere poder disponer de puestos de trabajo en los cuales se promueva la innovación y la productividad. El equipo diseñado puede alcanzar estos objetivos si se fabrica y se vende a distintas compañías de la industria. Se pueden crear puestos de trabajo, ya que se necesitan operarios para manejar el equipo. Por otro lado, las universidades y centros de investigación disponen de este tipo de equipos, con el fin de poder estudiar, en este caso, el comportamiento de los materiales, y de esta forma poder realizar estudios exhaustivos de los mismos y poder innovar en distintos campos.

Finalmente, este tipo de equipos pueden usarse con fines educativos. Esto quiere decir que son perfectamente manejables, siempre con la máxima seguridad, por alumnos universitarios con el fin de poder aprender conceptos en relación con los materiales y sus propiedades de una forma práctica y real en el mundo laboral.

- **Industria, innovación e infraestructuras:** En este caso, se busca poder desarrollar infraestructuras más resilientes y sostenibles, además de promover el desarrollo de tecnologías e innovación. Mediante el equipo diseñado, pueden ensayarse un gran número de materiales plásticos y compuestos, los cuales pueden ser de gran utilidad para el desarrollo de infraestructuras. Por ejemplo, materiales tales como la fibra de carbono o fibra de vidrio, pueden utilizarse para la fabricación de vigas que sustentan el tablero con hormigón armado de los puentes de carreteras. La fibra de carbono es capaz en estos casos de sustituir a las vigas de hormigón y acero, lo cual es más eficiente, ya que su ligereza es muy notable, además de sostenible. Estos materiales deberán ser ensayados previamente antes de su utilización, ya sea por tracción, flexión, impacto, etc... con el fin de determinar si son válidos para su cometido.

Por otro lado, se propone como objetivo poder aumentar el acceso a la tecnología, además de incentivar la innovación. El equipo diseñado puede ser adquirido por centros de investigación, los cuales pueden realizar investigaciones acerca de los materiales para su posterior progreso e innovación, así como centro educativos como universidades, lo que supone un mayor acceso y un mayor conocimiento del

entorno industrial de los ensayos de materiales.

- **Producción y consumo responsables:** Como principal objetivo, se promueve el desarrollo de una producción sostenible con el entorno y ayudar a países en desarrollo a fortalecer sus capacidades tecnológicas para que su producción y consumo sean sostenibles. El equipo se centra principalmente en poder ensayar materiales poliméricos y compuestos, los cuales son capaces de sustituir varias funciones de los materiales convencionales, ya sea en la industria automovilística, aeronáutica, en la industria de infraestructuras, deportiva, de juguetería, etc... Estos materiales, en muchas ocasiones, suponen un avance en la sostenibilidad y la responsabilidad en la producción, ya que son materiales con más funcionalidades que los materiales convencionales, aunque pueden ser más costosos de implementar.

Este diseño es capaz de ensayar los materiales mencionados anteriormente, lo que promueve que ciertas industrias dispongan de los datos reales acerca de las propiedades mecánicas de estos materiales a impacto, resultando en una mayor utilización de los mismos.

Como se ha mencionado en el apartado de introducción y planteamiento, las industrias buscan actualmente poder desarrollar productos de una mejor calidad y con mejores materiales. Esta demanda recae en los materiales poliméricos y compuestos, ya que sus funcionalidades son muy variadas y pueden ser utilizadas en muchos campos de producción. La disponibilidad de equipos de ensayos que permitan ensayar el comportamiento de estos materiales, más sostenibles que los materiales convencionales, es de suma importancia para su posterior implementación.

Finalmente, destacar la importancia que están adquiriendo actualmente los polímeros biodegradables tales como la celulosa o el almidón. Estos materiales pueden ser reutilizados, ya se ha visto repetidamente el caso de la celulosa con la producción de papel. Este avance puede suponer el futuro de la industria, y disponer de equipos que permitan estudiar el comportamiento de estos nuevos materiales es esencial.

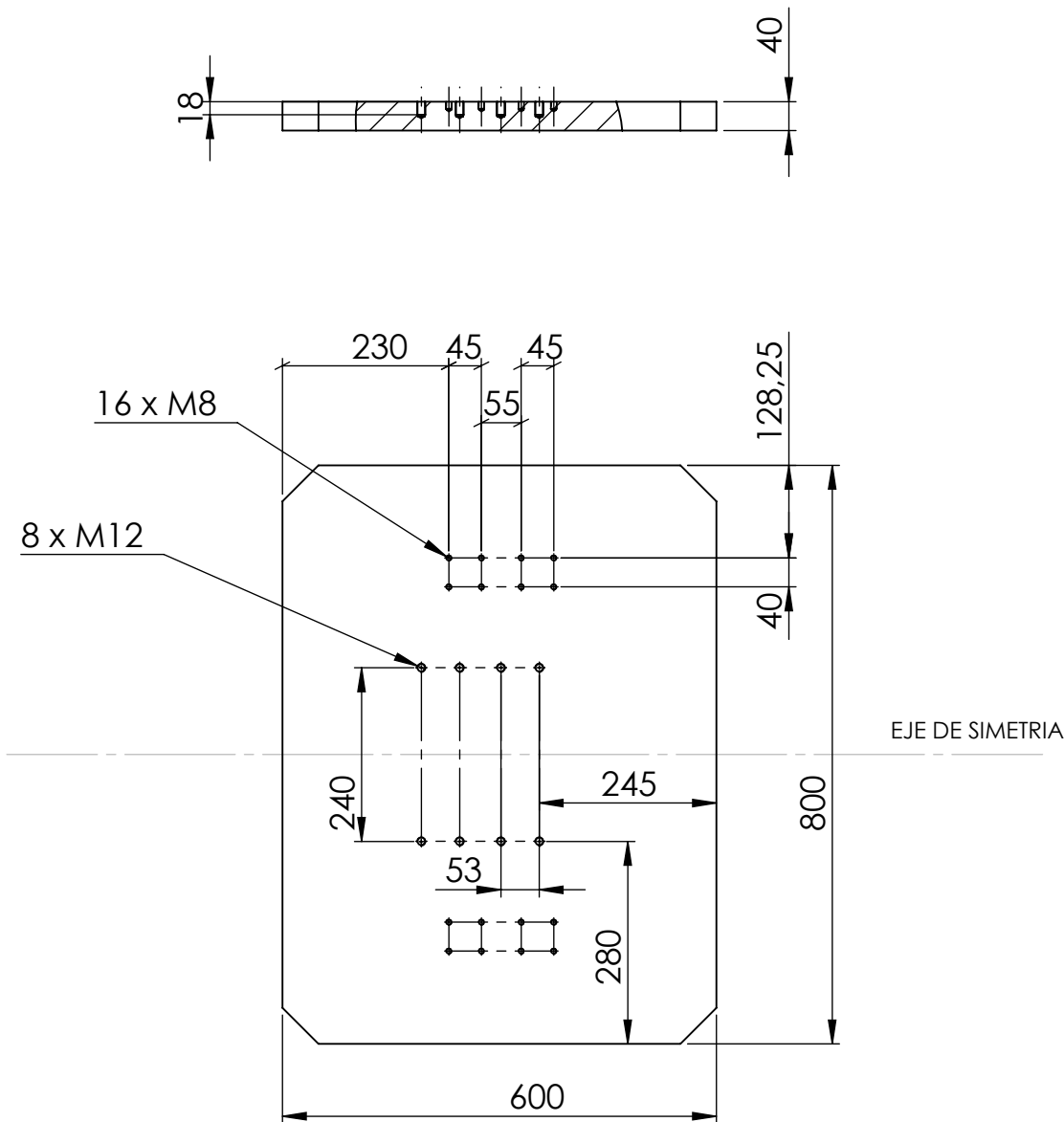
DOCUMENTO II

PLANOS

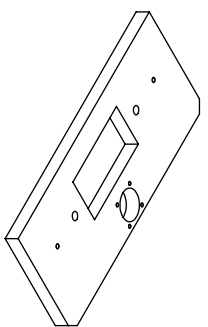
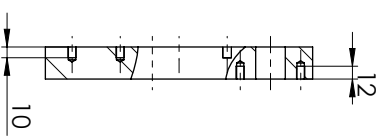
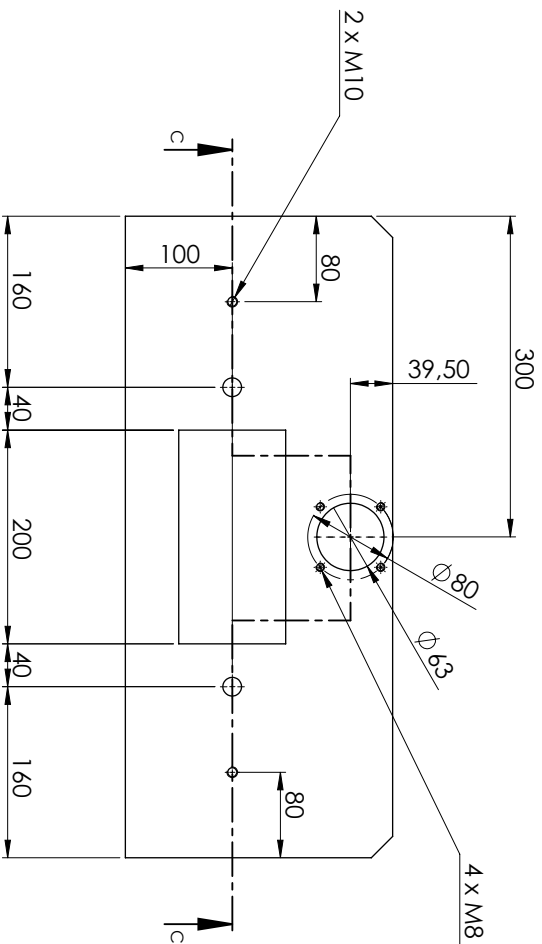
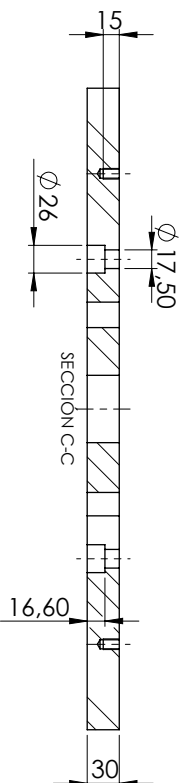
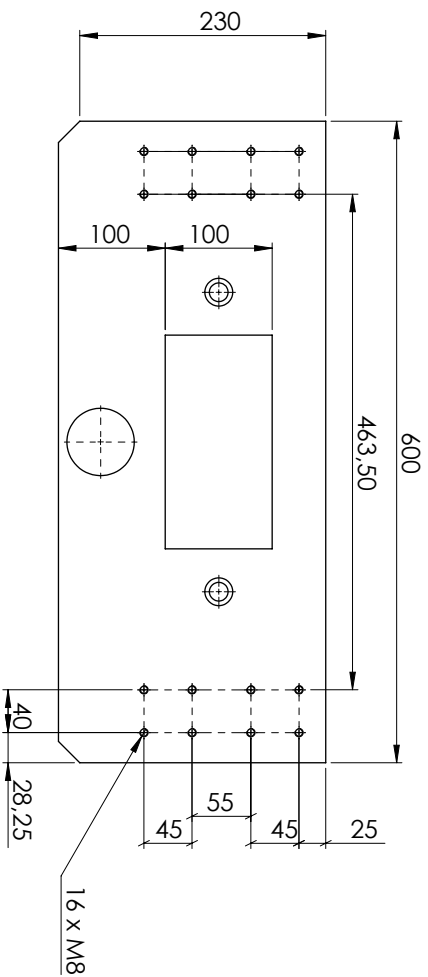
4		3		2		1	
Nº	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	MATERIAL		
F	1	1000.001_1		Placa base	1	F-1120	
	2	1000.001_2		Base de ensayo	1	F-1140	
	3	1000.001_3		Placa elevadora	1	F-1140	
	4	1000.001_4		Placa superior	1	F-1120	
	5	1000.001_5		Yunque superior	1	F-1250 tratado	
E	6	1000.001_6		Yunque inferior	1	F-1250 tratado	
	7	1000.001_7		Guía	2	F-1140	
	8	1000.001_8		Enganche	1	F-1140	
	9	1000.001_9		Placa superior de marco	1	Duraluminio 7075	
	10	1000.001_10		Placa inferior de marco	1	Duraluminio 7075	
D	11	1000.001_11		Pieza de unión marco-punzón	1	F-1140	
	12	1000.001_12		Campana	1	F-1140	
	13	1000.001_13		Alargador	1	F-1140	
	14	1000.001_14		Pieza sujeción de punzón	1	F-1140	
	15	1000.001_15		Columna para yunques	2	F-1140	
C	16	1000.001_16		Pieza de anclaje a base	1	F-1140	
	17	1000.001_17		Base para yunques	1	F-1140	
	18	1000.001_18		Punzón	1	F-5220	
	19	1000.001_19		Soporte para cilindro	1	F-1140	
	20	1000.001_20		Soporte para resorte elastomérico	2	F-1140	
B	21	1000.001_21		Resorte elastomérico	2	Incluído en tornillería	
	22	1000.001_22		Varilla roscada para masas	1	F-1140	
	23	1000.001_23		Masa 5 Kg	1	F-1140	
	24	1000.001_24		Masa 1 Kg	5	F-1140	
	25	1000.001_25		Masa 2.5 Kg	2	F-1140	
A	26	1000.001_26		Masa 2 Kg	1	F-1140	
	27	1000.001_27		Chapa para sensor	1	F-1140	
	28	1000.001_28		Chaveta cortada	1	F-1140	
	29	1000.001_29		Perfil de aluminio 30x30x300 BOSCH REXROTH 3 842 993 703	2	Aluminio	
	30	1000.001_30		Perfil de aluminio 100x200x2500 BOSCH REXROTH 3 842 993 687	2	Aluminio	
31		1000.001_31		Husillo		1	F-1140
MATERIAL				TORRE DE CAIDA			
TOLERANCIA		UNE EN ISO 22768-f					
DIBUJADO		NOMBRE		FECHA		LISTA DE MATERIALES	
COMPROBADO		M.GARCIA		04/20			
ESCALA:		FIRMA		I.C.A.I.		Nº DE LAMINA:	

4		3		2		1	
F	Nº	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		MATERIAL	
	1	1000.002_1	Cuña para ensayos	1		F-1250 tratado	
E	2	1000.002_2	Soporte	1		AISI 304	
	3	1000.002_3	Separador de probetas	2		AISI 304	
	4	1000.002_4	Soporte de punzón	1		F-1140	
D	5	1000.002_5	Base	1		F-1140	
	6	1000.002_6	Placa lateral	2		F-1140	
	7	1000.002_7	Columna	1		F-1140	
C	8	1000.002_8	Soporte para guías	1		F-1140	
	9	1000.002_9	Base para columna	1		F-1140	
	10	1000.002_10	Soporte para probetas	1		F-1140	
B	11	1000.002_11	Brida	1		F-1140	
	12	1000.002_12	Columna auxiliar	2		F-1140	
	13	1000.002_13	Pasador guía	2		F-1140	
A	MATERIAL				TORRE DE CAIDA		
	TOLERANCIA		UNE EN ISO 22768-f				
	DIBUJADO		NOMBRE		LISTA DE MATERIALES		
	COMPROBADO		M.GARCIA		DISPOSITIVO DE ADHESIVOS		
ESCALA:		FIRMA		I.C.A.I.		Nº DE LAMINA:	

4		3		2		1	
Nº		Nº PIEZA		DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	
F	-	FK-25		Rodamiento inferior axial-radial Hiwin		1	
	-	32-10K5-FSC		Tuerca para husillo Hiwin		1	
	-	FF-25		Rodamiento superior axial Hiwin		1	
E	-	Motor asíncrono		Motor MD 063-32 reductor g500-B45 LENZE		1	
	-	C12P/00-3E		Sensor de proximidad		1	
	-	DSBC-50		Cilindro normalizado FESTO		1	
D	-	WS10SG		Encoder de hilo ASM		1	
	-	Escuadra		Escuadra 90x90 para perfil BOSCH		12	
	21	Resorte elastomérico		Resorte AMC		2	
C	-	PACeline CFT 20 kN		Sensor piezoeléctrico HBM		1	
	-	MX460B		Grupo de adquisición de datos Quantum		1	
B	-	Serie Cobra Ip66		Caja de mando DelValle		1	
MATERIAL				TORRE DE CAIDA			
TOLERANCIA		UNE EN ISO 22768-f					
DIBUJADO		NOMBRE		FECHA		PIEZAS COMERCIALES	
COMPROBADO		M.GARCIA		04/20			
ESCALA:		FIRMA		I.C.A.I.		Nº DE LAMINA:	
4		3		2		1	

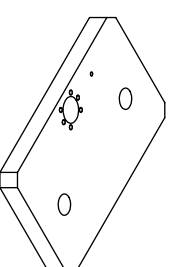
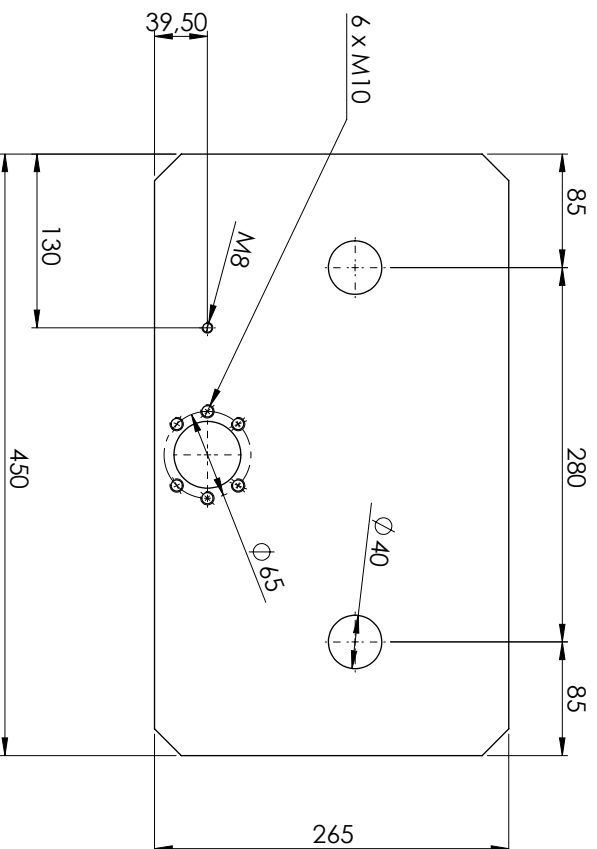
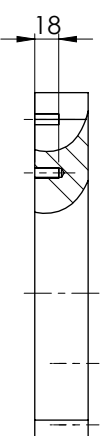
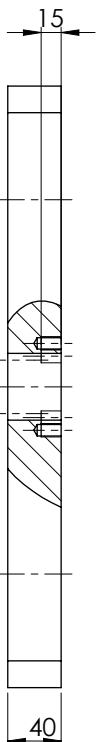
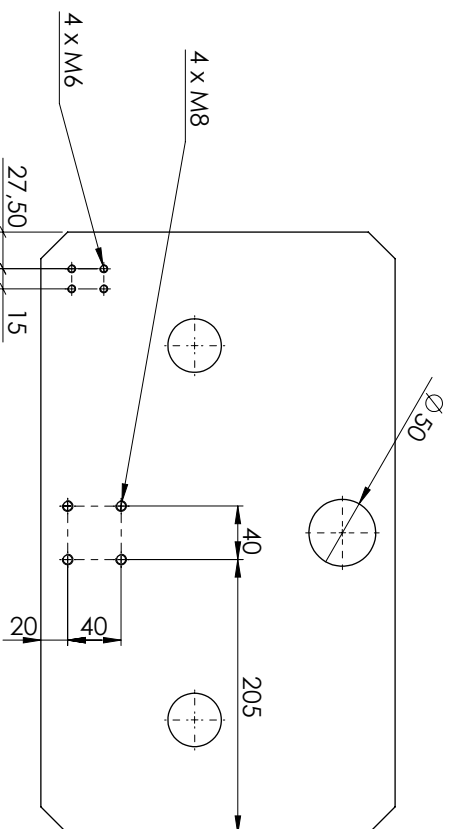


MATERIAL	Acero F-1120		1000.001_1
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PLACA BASE
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:10			1
		I.C.A.I.	



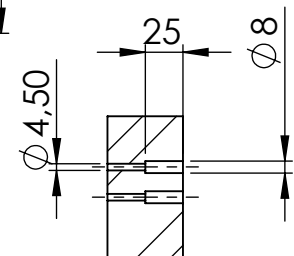
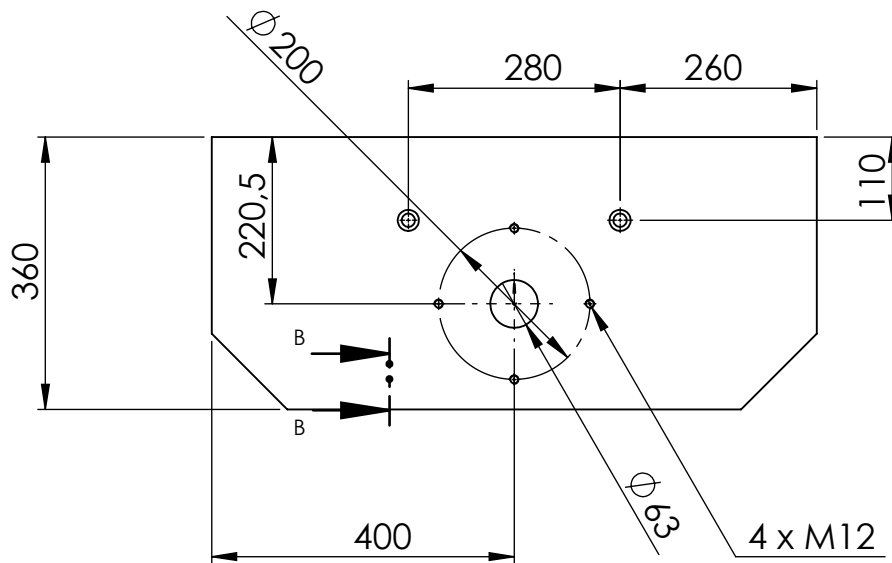
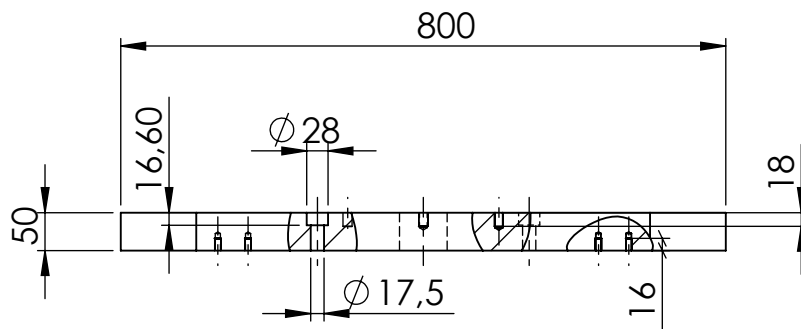
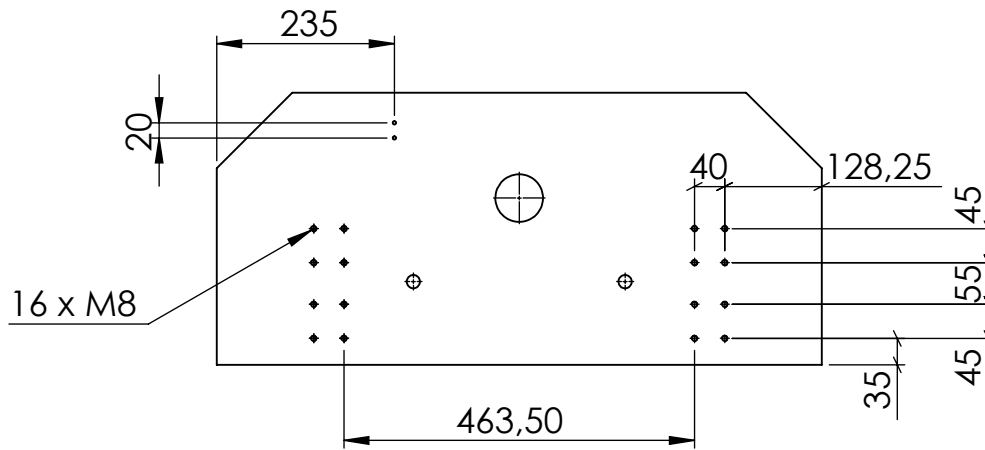
TODOS LOS CHAFLANES 10x45°
ARISTAS MATADAS
CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 29,3 KG
PIEZA N°:2

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_2	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
DIBUJADO	NOMBRE		FECHA	
COMPROBADO	M.GARCIA		04/20	
ESCALA:	FIRMA		BASE DE ENSAYO	
1:5			I.C.A.I.	
			N° DE LAMINA:	
			2	

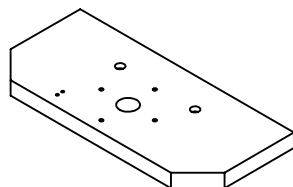


TODOS LOS CHAFLANES 20x45°
ARISTAS MATADAS
CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavoronado
PESO: 35.47 KG
PIEZA N°: 3

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_3	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
DIBUJADO	NOMBRE		FECHA	
COMPROBADO	M.GARCIA		04/20	
ESCALA:	FIRMA		PLACA ELEVADORA	
1:4			I.C.A.I.	
			N° DE LAMINA:	
			3	



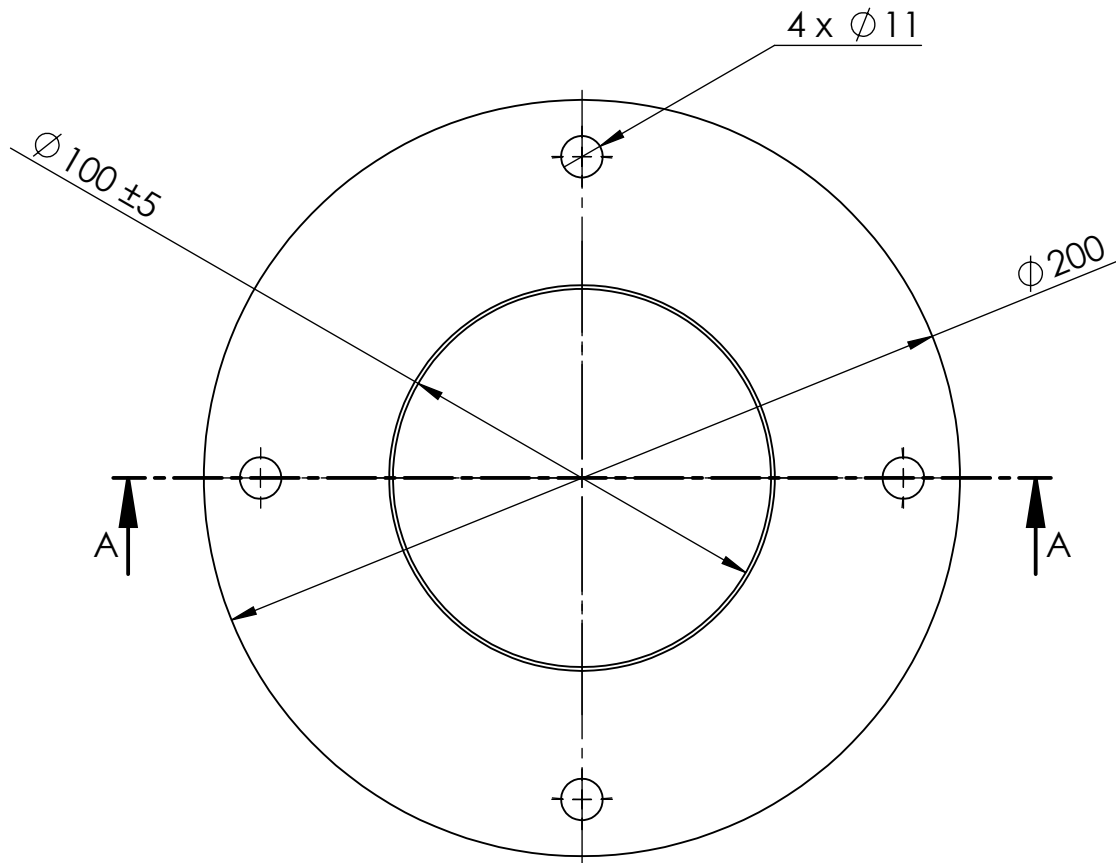
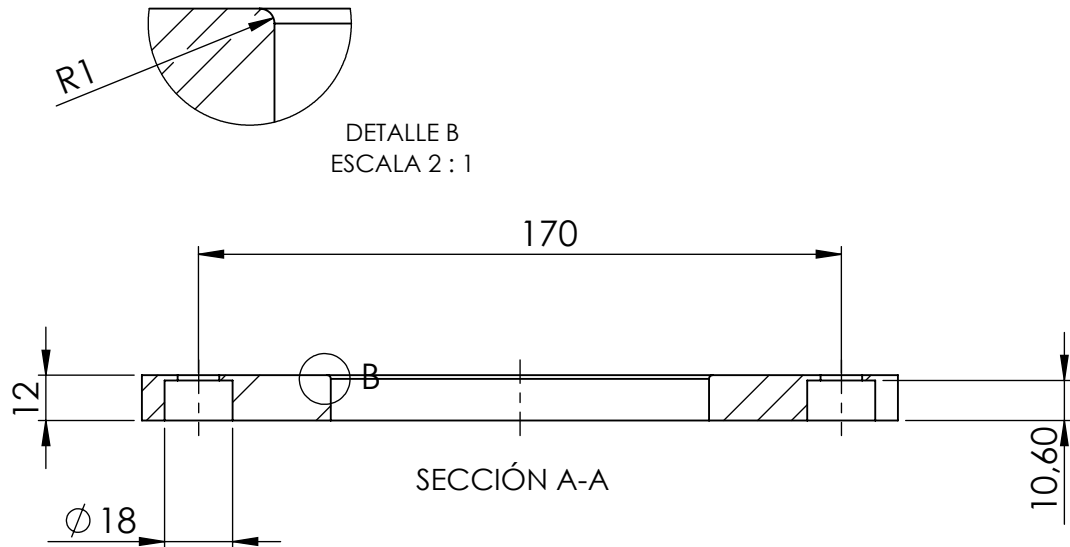
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5



TODOS LOS CHAFLANES 100x45°
ARISTAS MATADAS
TALADRADO M12 A 90°

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 106.74 KG
PIEZA N°:4

MATERIAL	Acero F-1120		1000.001_4
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	BASE SUPERIOR
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:10			4
		I.C.A.I.	

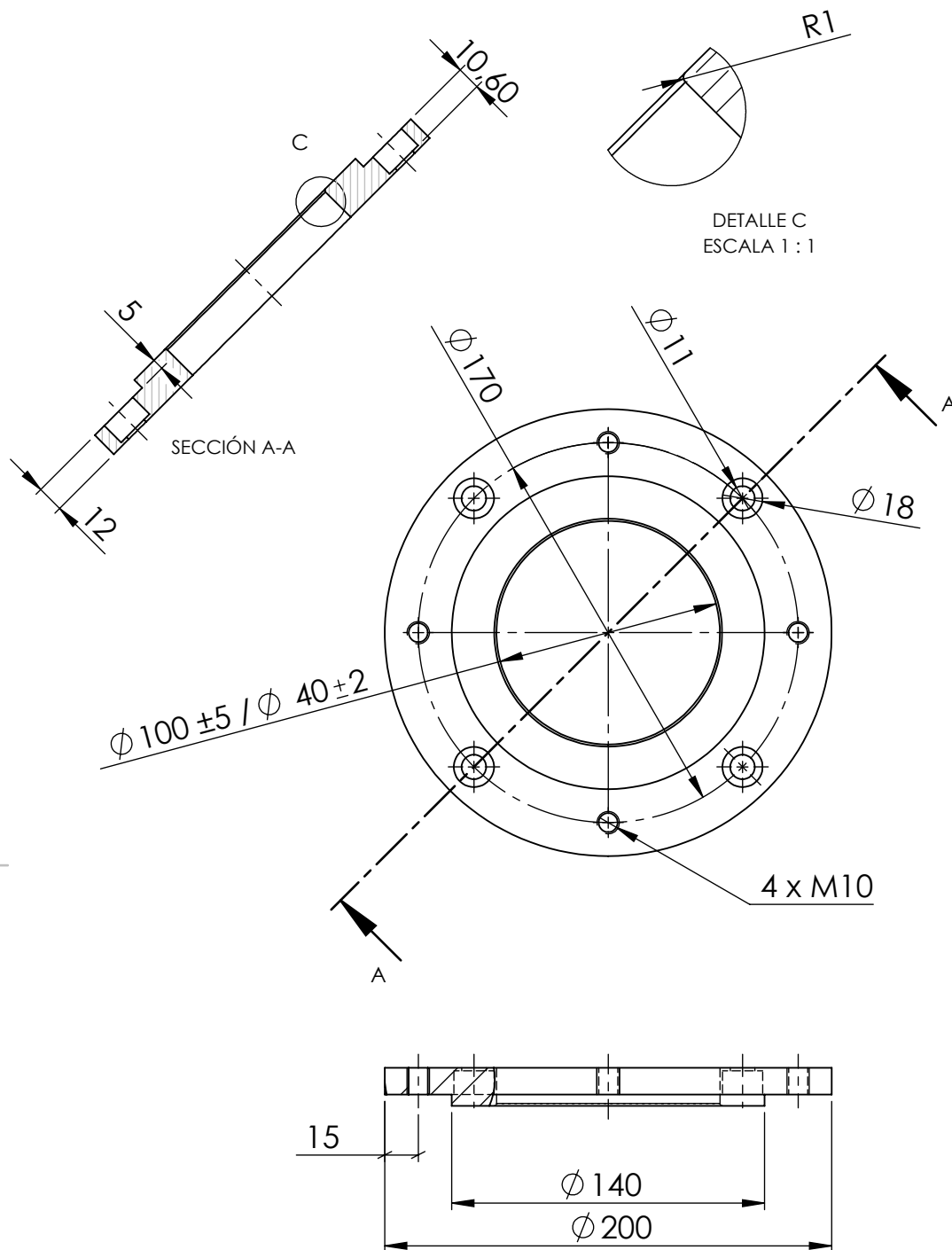


NOTA: SE PUEDE DISPONER DE YUNQUE CON DIAMETRO INTERIOR DE 40 mm +/- 2 mm PARA PROBETAS DE 60 mm de diametro

ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Tratado
PESO: 2.12 KG
PIEZA N°:5

MATERIAL	Acero F-1250		1000.001_5
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	YUNQUE SUPERIOR
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:2		I.C.A.I.	5



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza

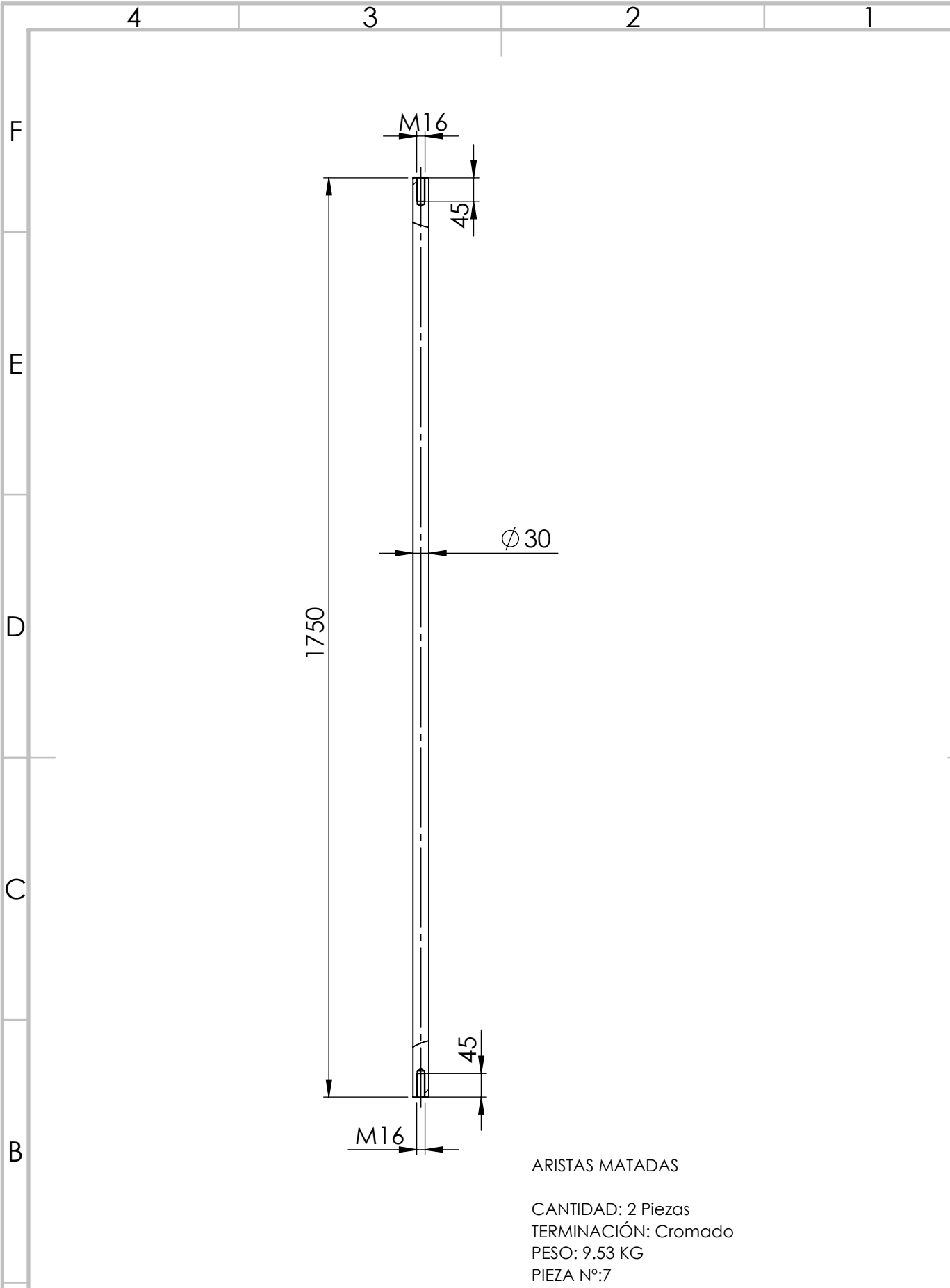
TERMINACIÓN: Tratado

PESO: 2.39 KG

PIEZA N°:6

NOTA: SI SE QUIERE ENSAYAR PROBETAS DE 60 mm ,
DISPONER DE YUNQUE CON DIÁMETRO INTERIOR 40 mm

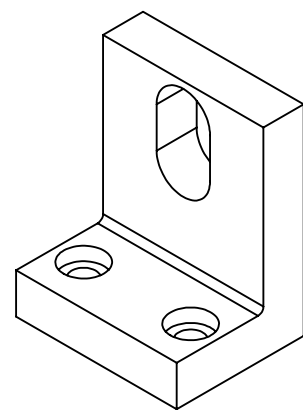
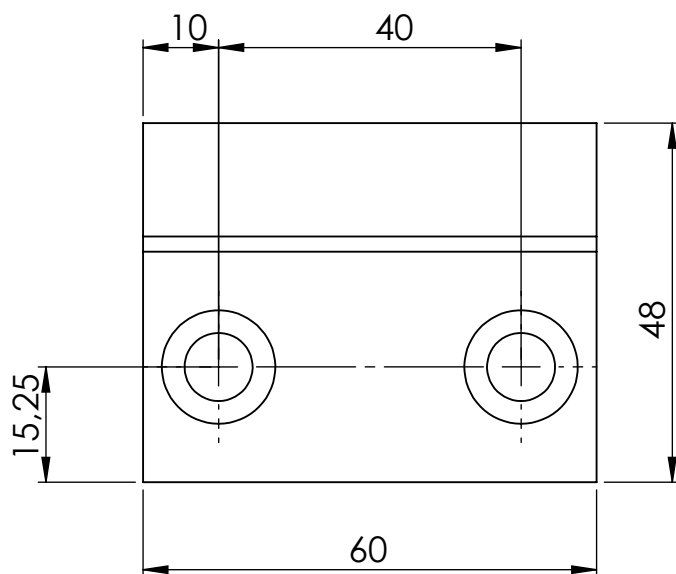
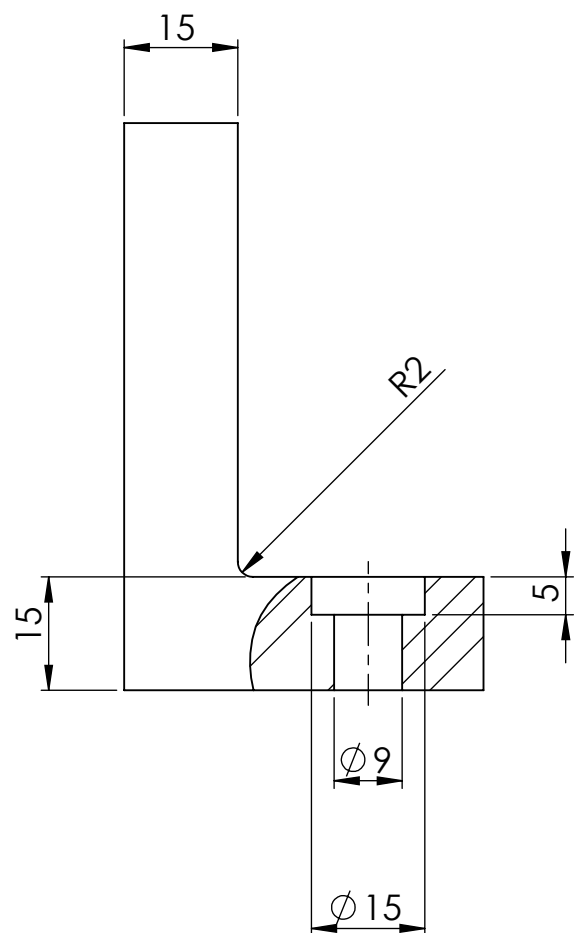
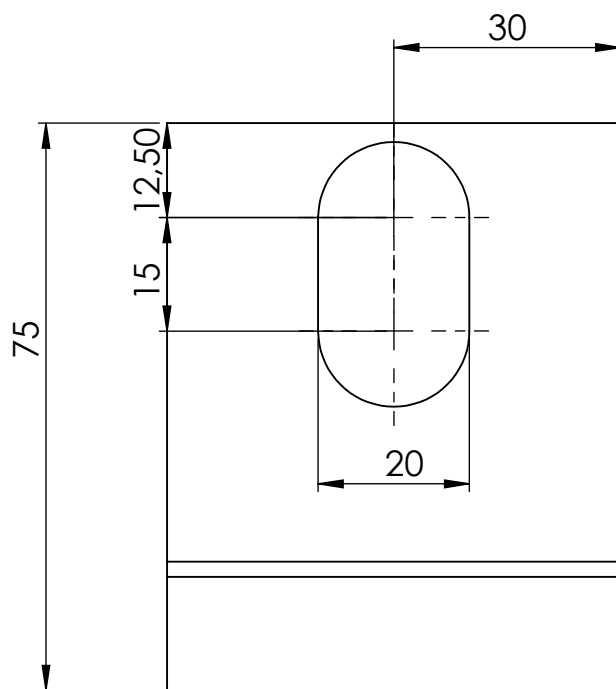
MATERIAL	Acero F-1250		1000.001_6
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	YUNQUE INFERIOR
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		Nº DE LAMINA:
1:3			6
		I.C.A.I.	



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Cromado
PESO: 9.53 KG
PIEZA N°:7

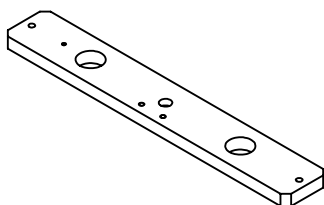
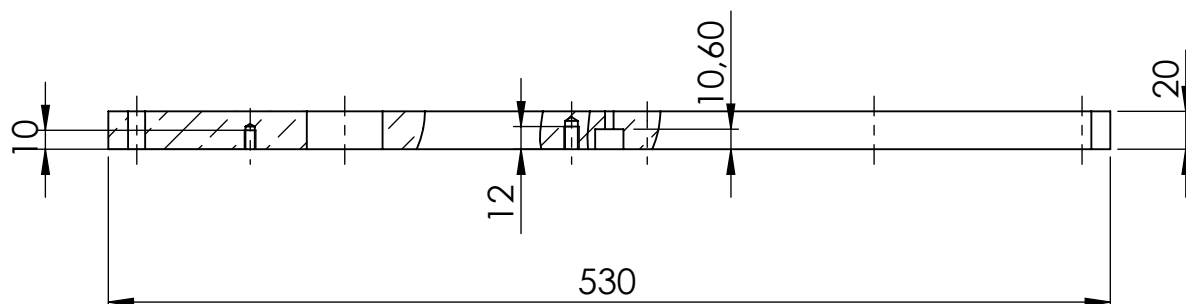
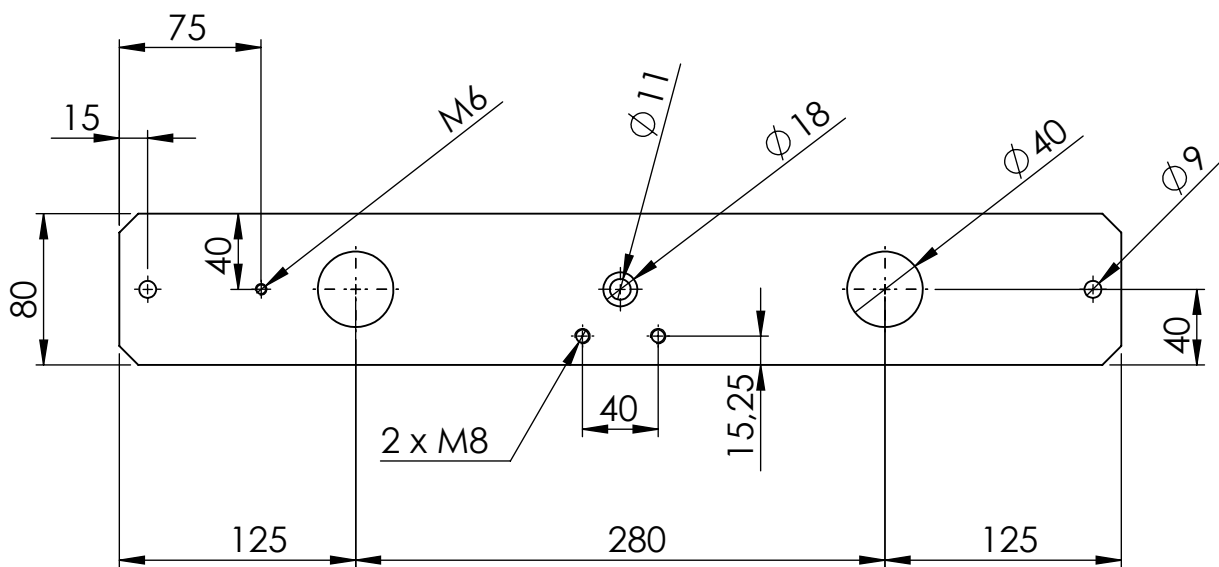
MATERIAL	Acero F-1140			1000.001_7
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	GUÍA	
	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA			Nº DE LAMINA:
1:10		I.C.A.I.		7



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 0.66 KG
PIEZA N°:8

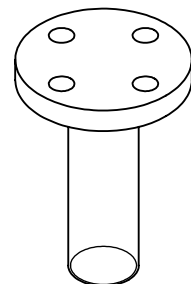
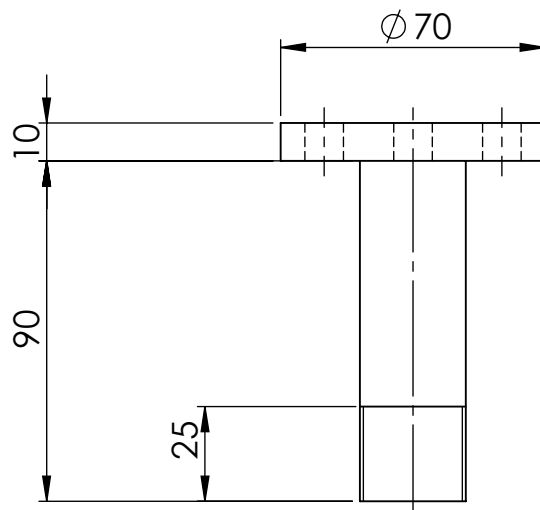
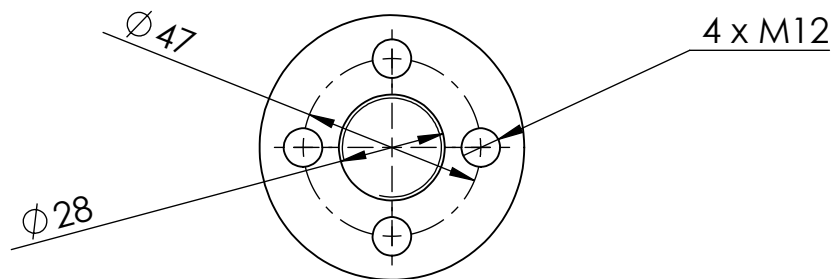
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_8
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	ENGANCHE
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:1			8
		I.C.A.I.	



TODOS LOS CHAFLANES 10x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: NATURAL
PESO: 2.12 KG KG
PIEZA N°:10

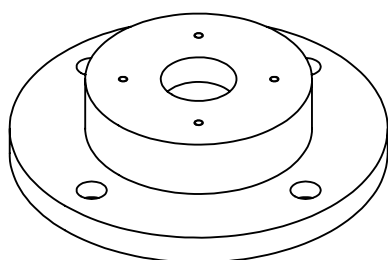
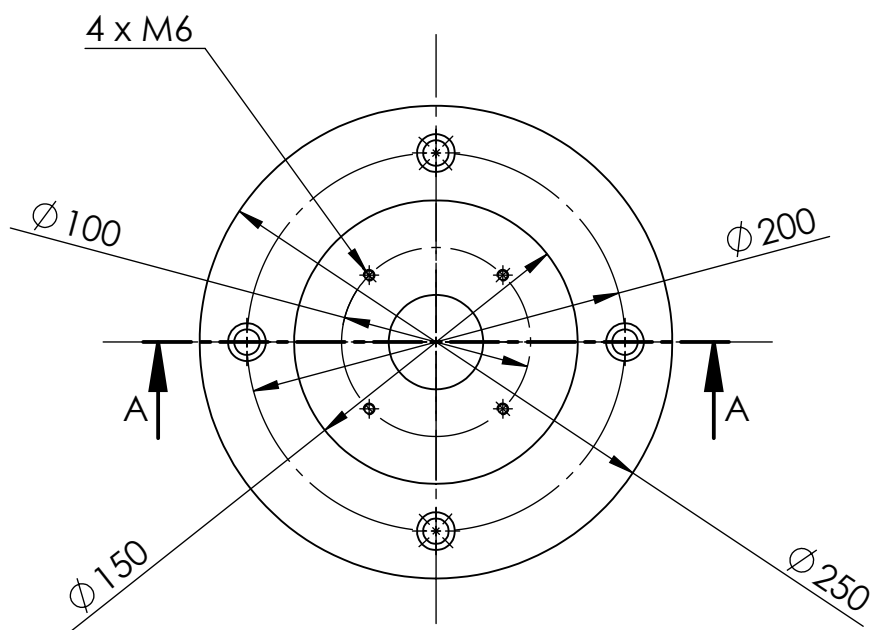
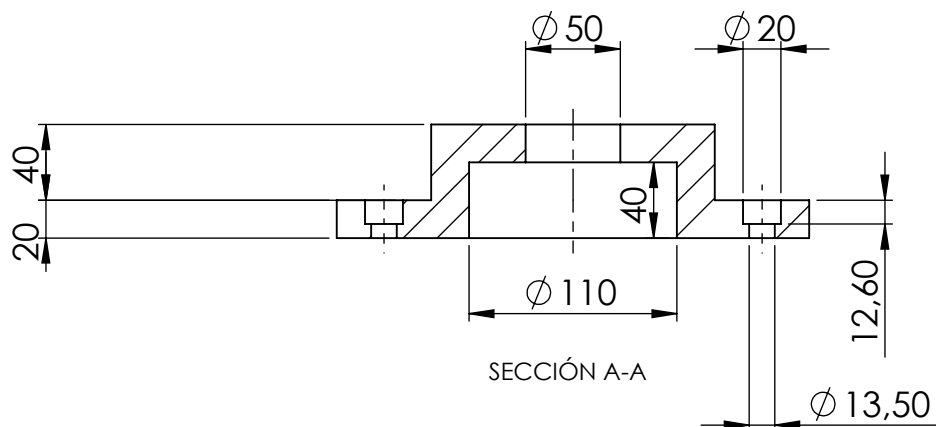
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_10
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768 - f		
	NOMBRE	FECHA	PLACA INFERIOR DE MARCO
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:4	FIRMA		I.C.A.I. Nº DE LAMINA: 10



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: NATURAL
PESO: 0.71 KG
PIEZA N°: 11

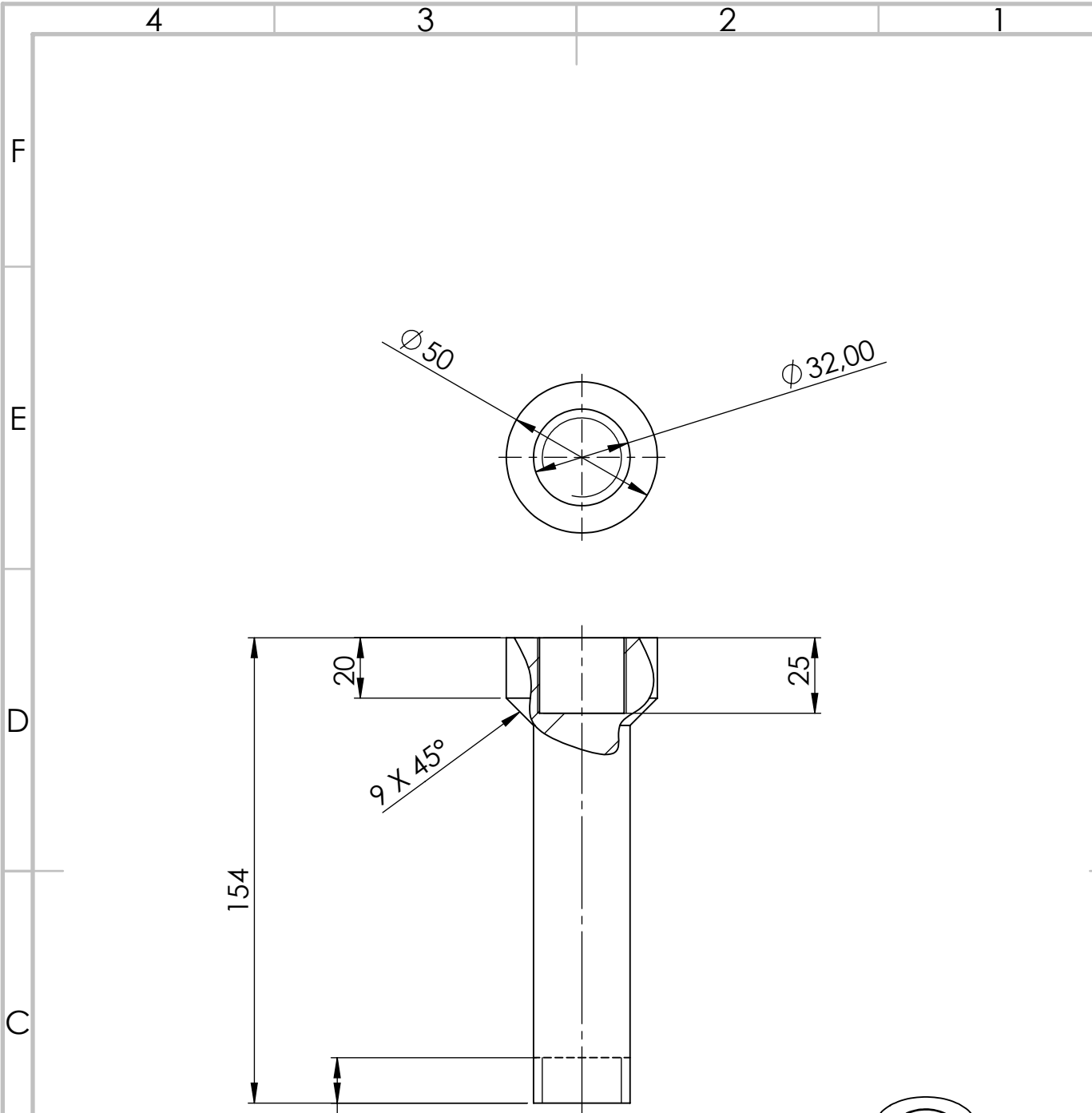
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_11
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PIEZA DE UNION MARCO-PUNZON
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 1:4	FIRMA		N° DE LAMINA: 11
		I.C.A.I.	



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 9.74 KG
PIEZA N°:12

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_12
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	CAMPANA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		Nº DE LAMINA:
1:4		I.C.A.I.	12

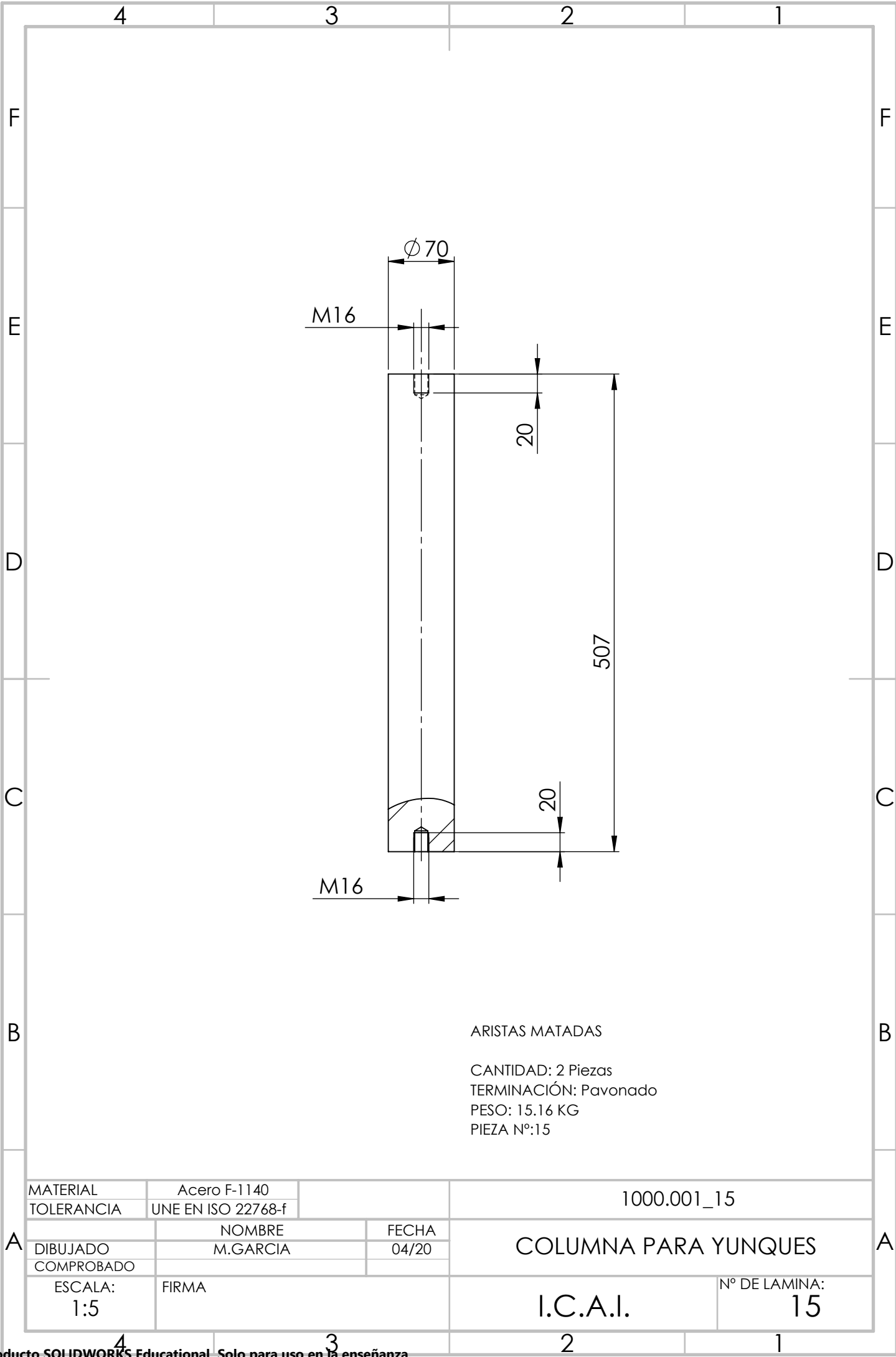


ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 1.06 KG
PIEZA N°:13

A

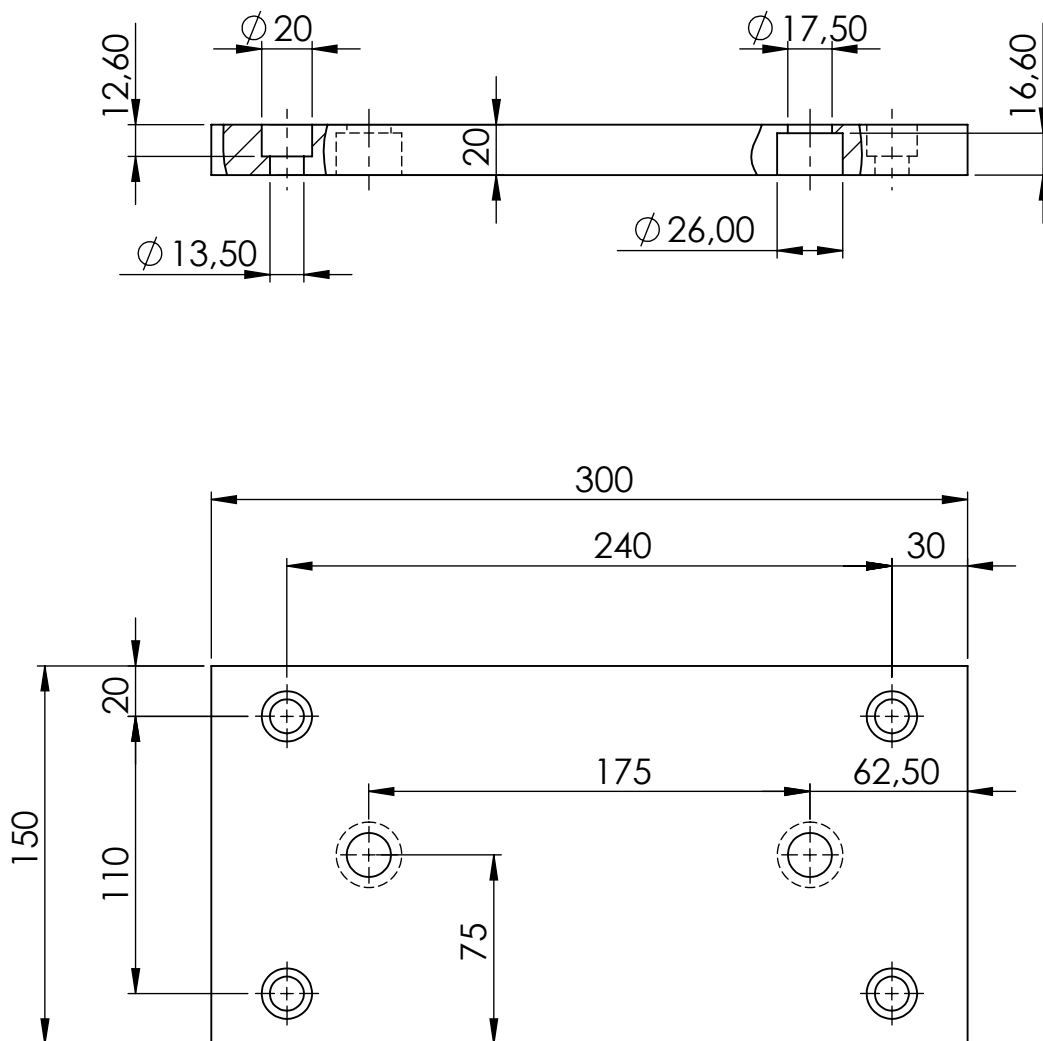
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_13	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
	NOMBRE	FECHA	ALARGADOR	
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 13



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 15.16 KG
PIEZA N°:15

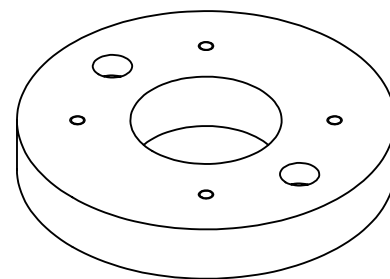
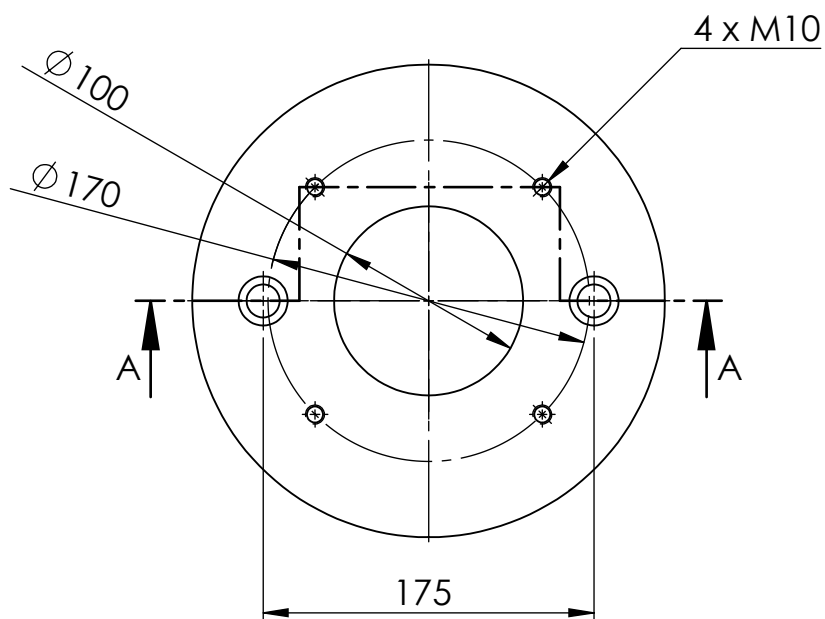
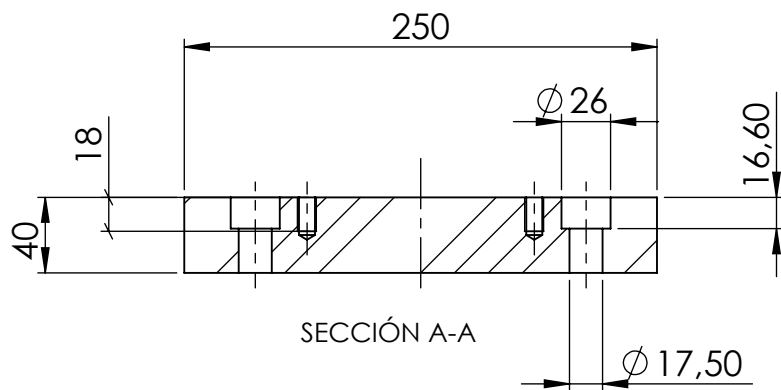
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_15
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	COLUMNA PARA YUNQUES
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:5		I.C.A.I.	15



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 6.71 KG
PIEZA N°:16

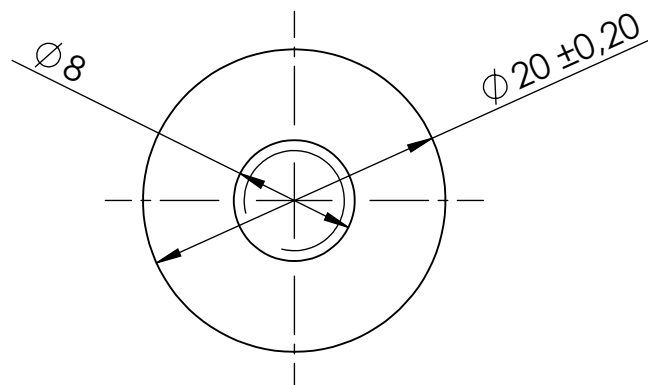
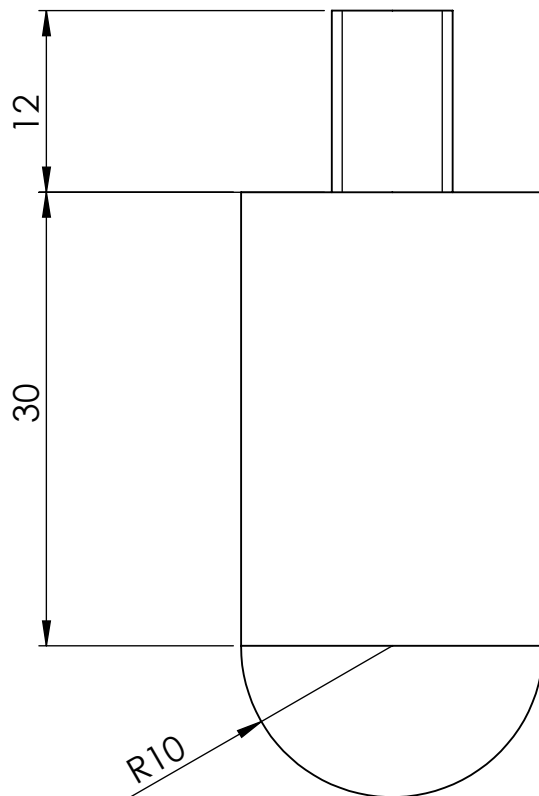
MATERIAL	Acero F-1120		1000.001_16
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PIEZA DE ANCLAJE A BASE
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:3		I.C.A.I.	16



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 12.60 KG
PIEZA N°:17

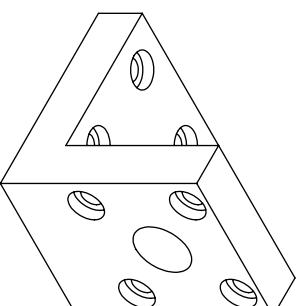
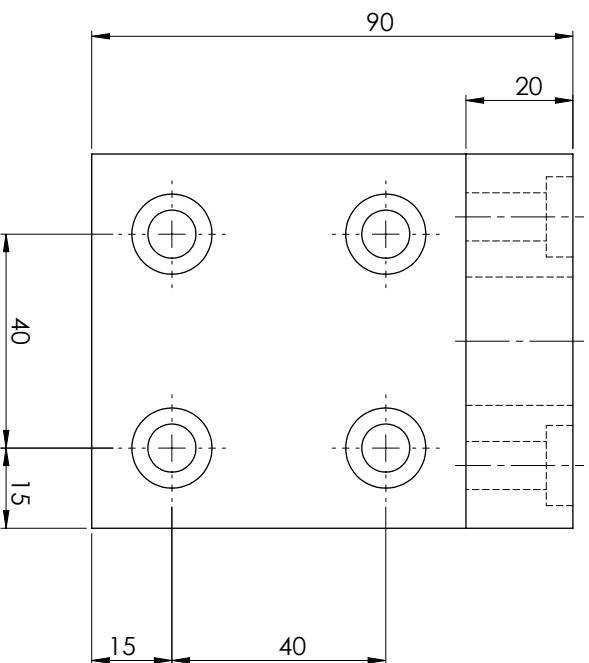
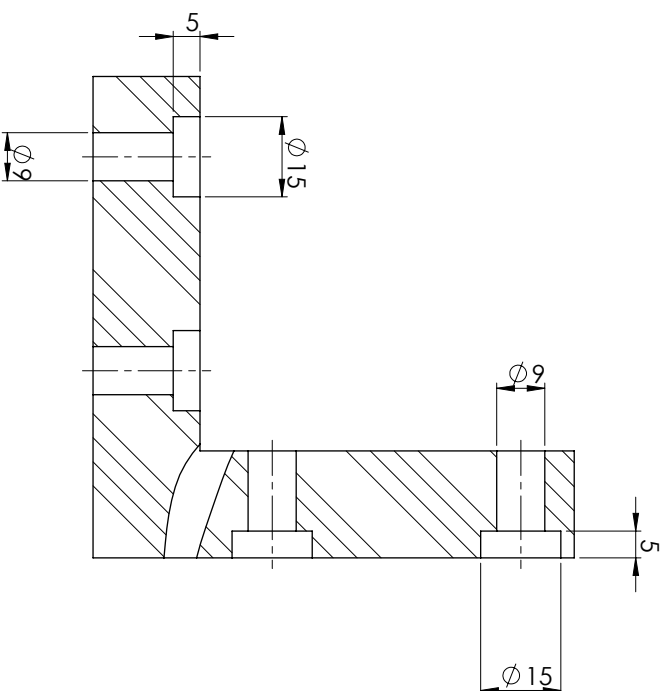
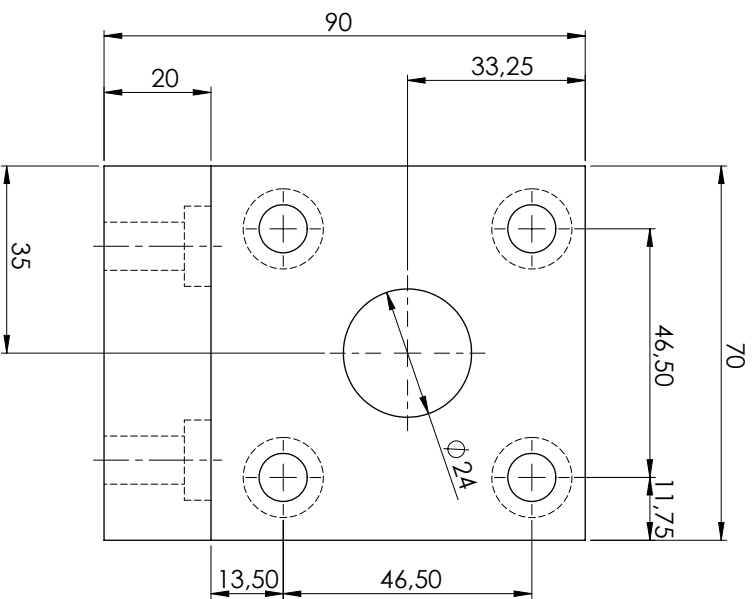
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_17
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	BASE PARA YUNQUES
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
1:4			
			N° DE LAMINA:
			17



ARISTAS MATADAS

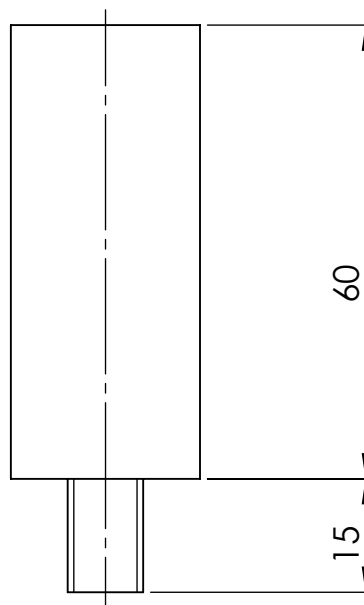
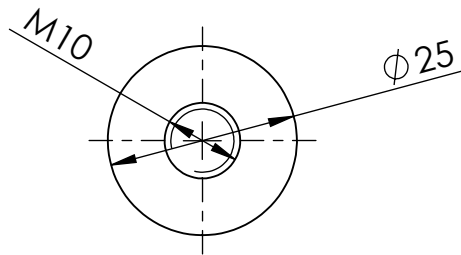
CANTIDAD: 1 Pieza
 TERMINACIÓN: Templado y revenido
 PESO: 0.09 KG
 PIEZA N°:18

MATERIAL	Acero F-5220		1000.001_18
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PUNZON
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA	I.C.A.I.	N° DE LAMINA:
2:1			18



ARISTAS MATADAS
CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACION: Poyonado
PESO: 1,56 KG
PIEZA Nº: 19

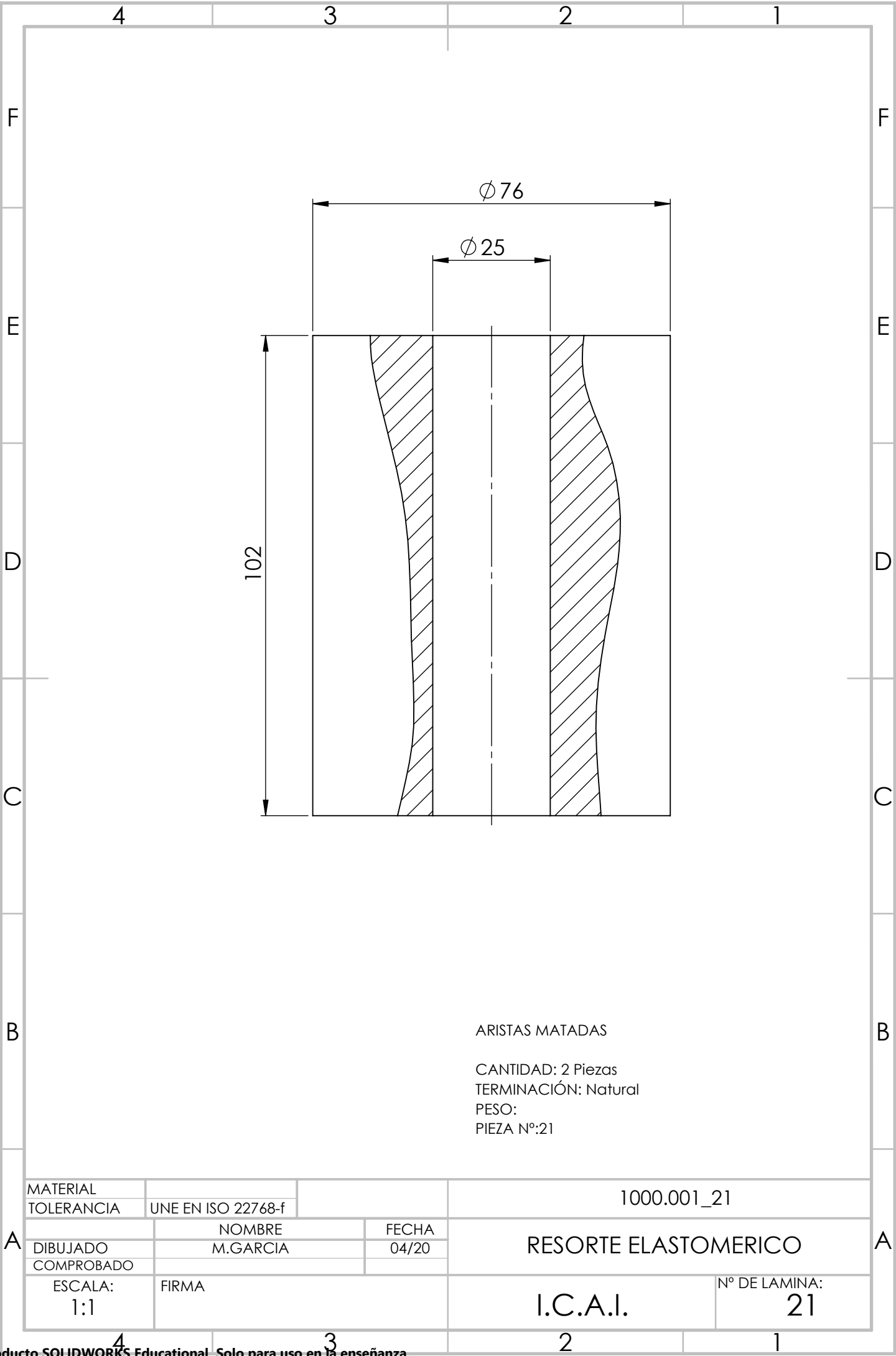
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_19
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 1:1	FIRMA		
I.C.A.I.			Nº DE LAMINA: 19

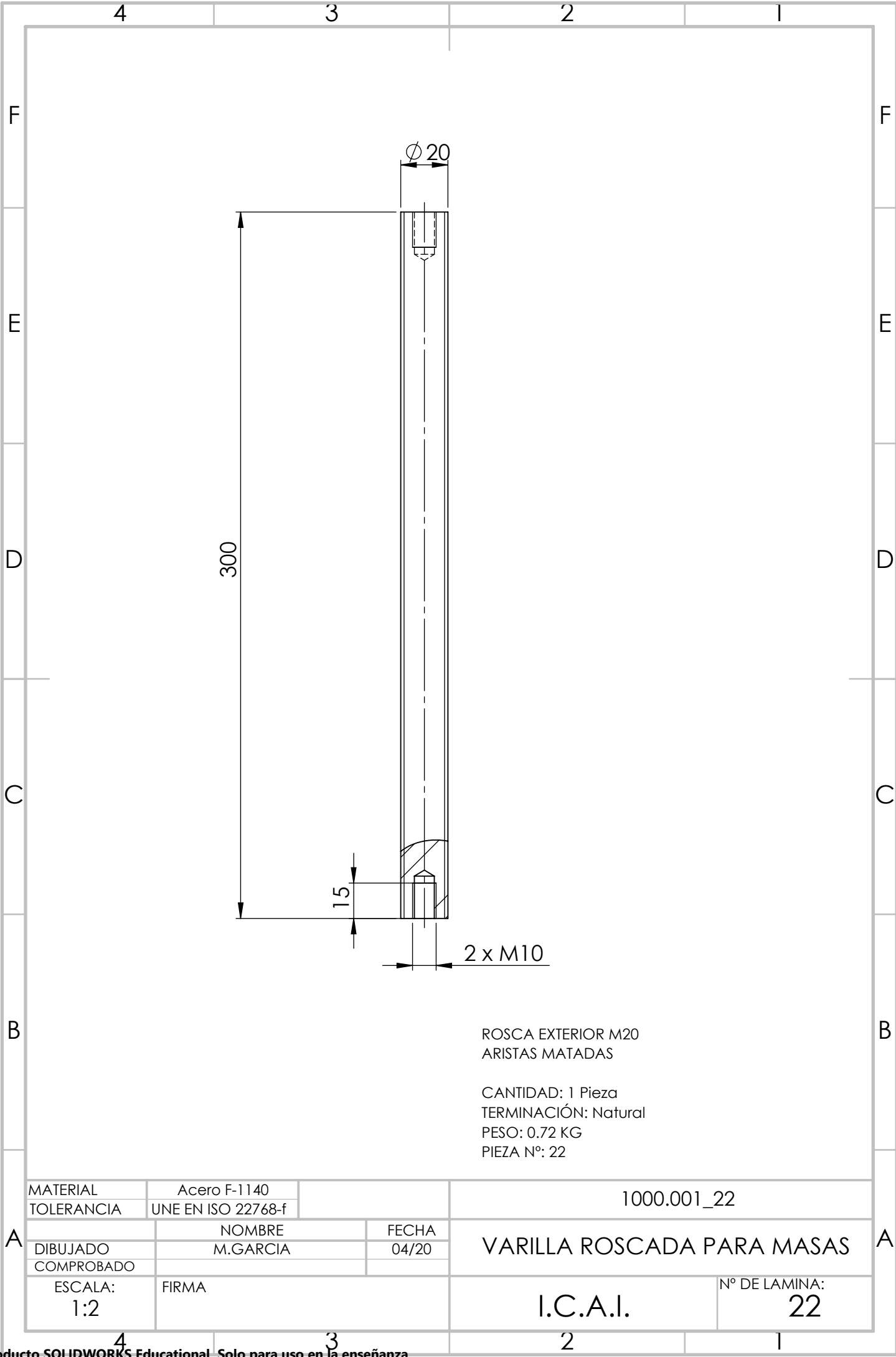


ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 0.24 KG
PIEZA N°:20

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_20
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	SOPORTE PARA RESORTE ELASTOMERICO
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		Nº DE LAMINA:
1:1			20
		I.C.A.I.	

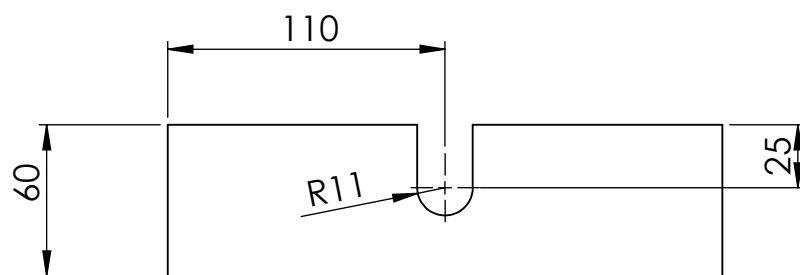
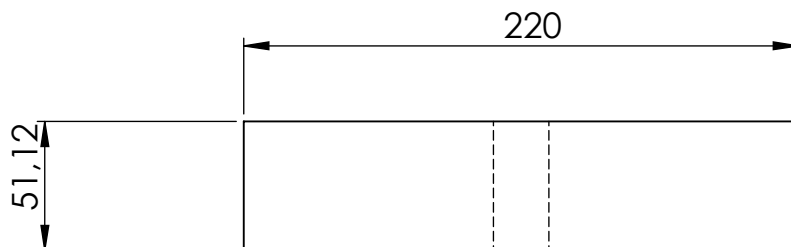




ROSCA EXTERIOR M20
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 0.72 KG
PIEZA N°: 22

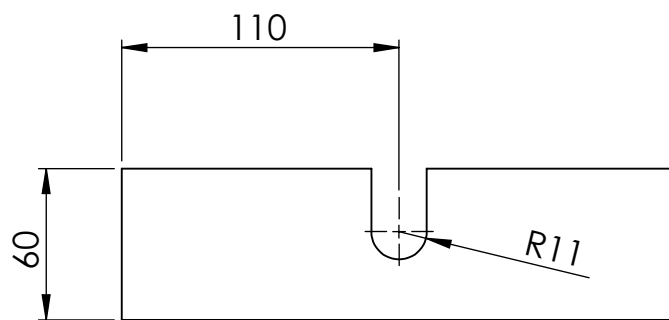
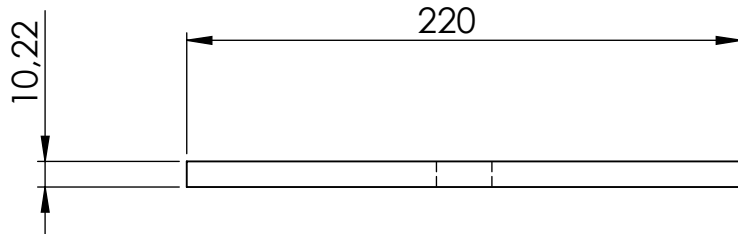
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_22
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	VARILLA ROSCADA PARA MASAS
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:2		I.C.A.I.	22



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 5 KG
PIEZA N°: 23

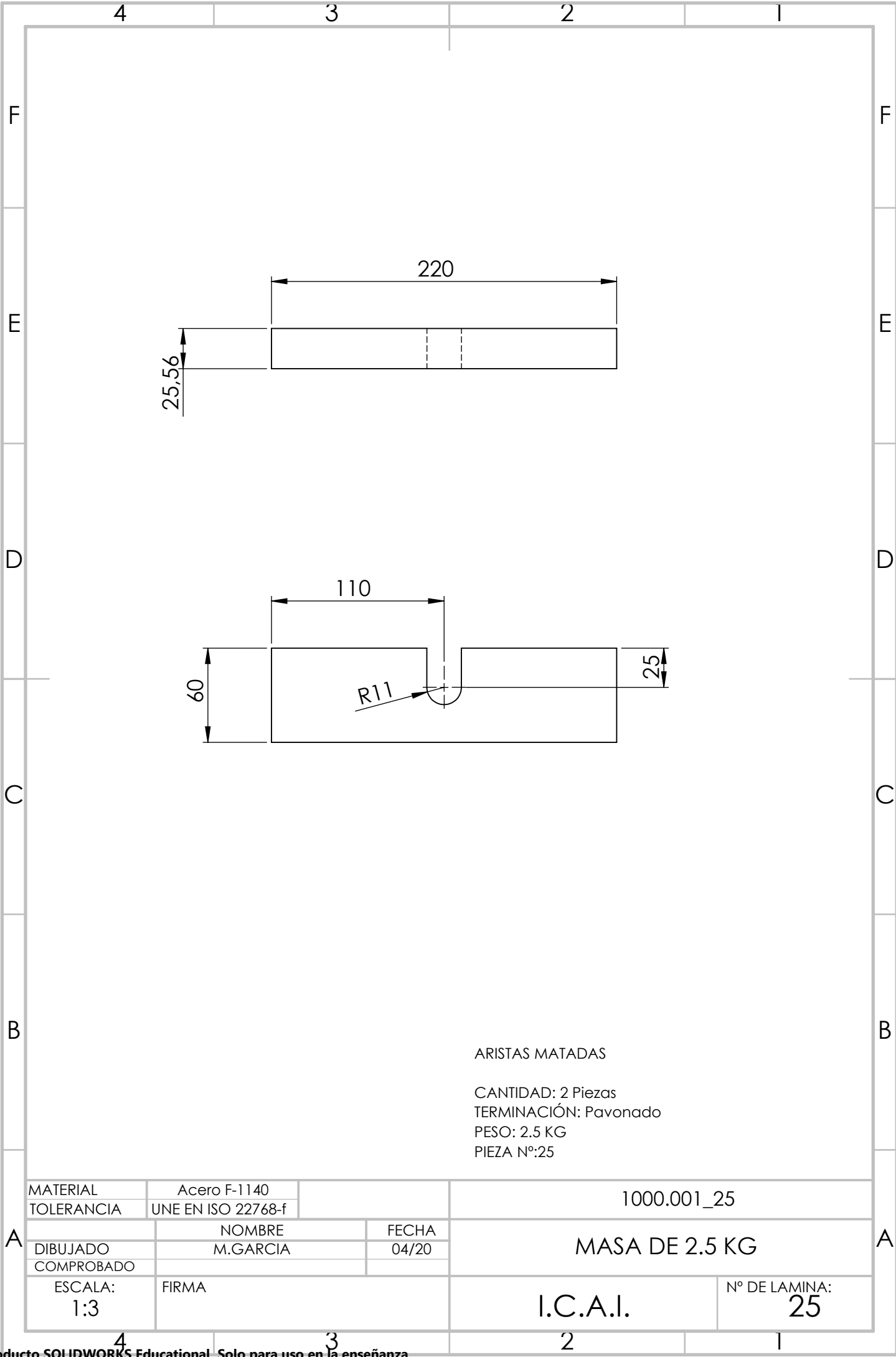
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_23
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	MASA DE 5KG
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:3		I.C.A.I.	23



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 5 piezas
 TERMINACIÓN: Pavonado
 PESO: 0.99 KG
 PIEZA N°: 24

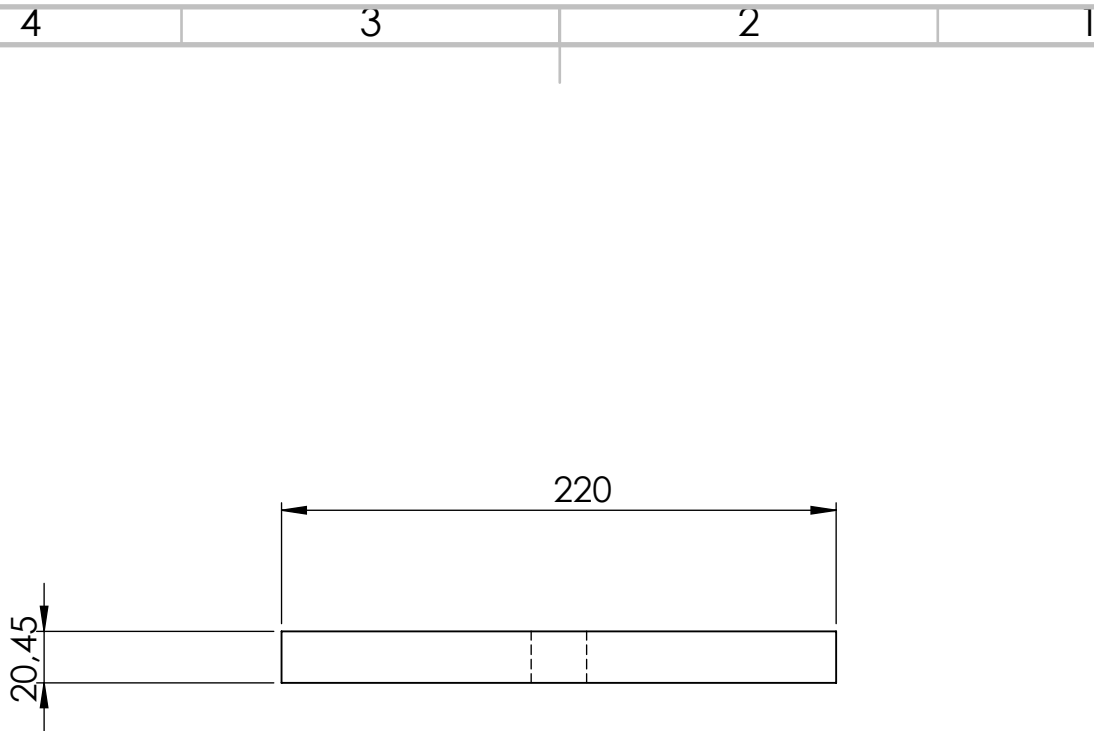
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_24
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	MASA DE 1 KG
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:3		I.C.A.I.	24



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 2.5 KG
PIEZA N°:25

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_25	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
	NOMBRE	FECHA	MASA DE 2.5 KG	
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:3	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 25



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
 TERMINACIÓN: Pavonado
 PESO: 1.99 KG
 PIEZA N°:26

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_26
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	MASA DE 2 KG
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:3		I.C.A.I.	26

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

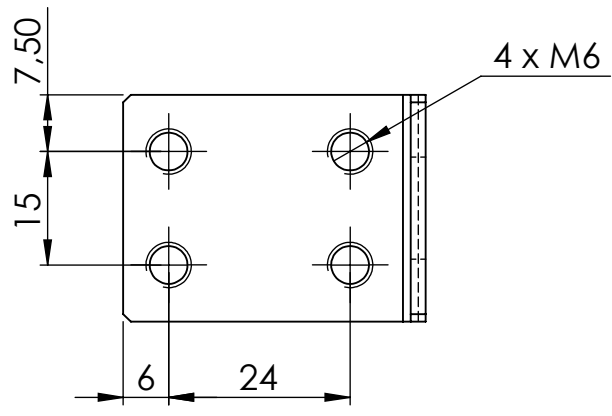
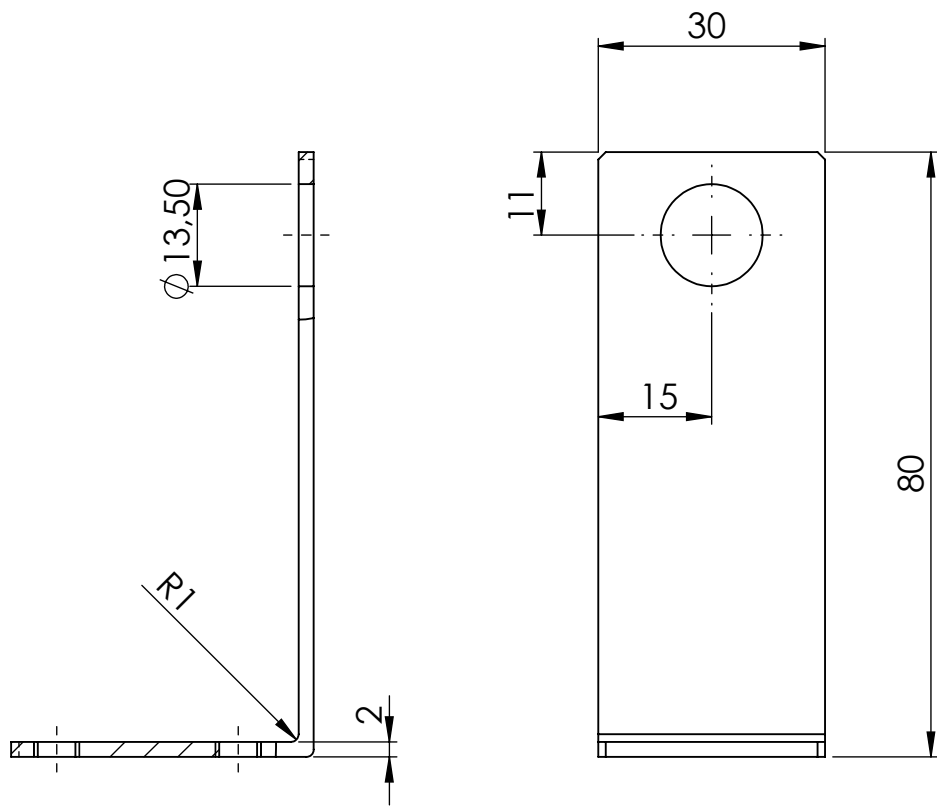
C

B

B

A

A

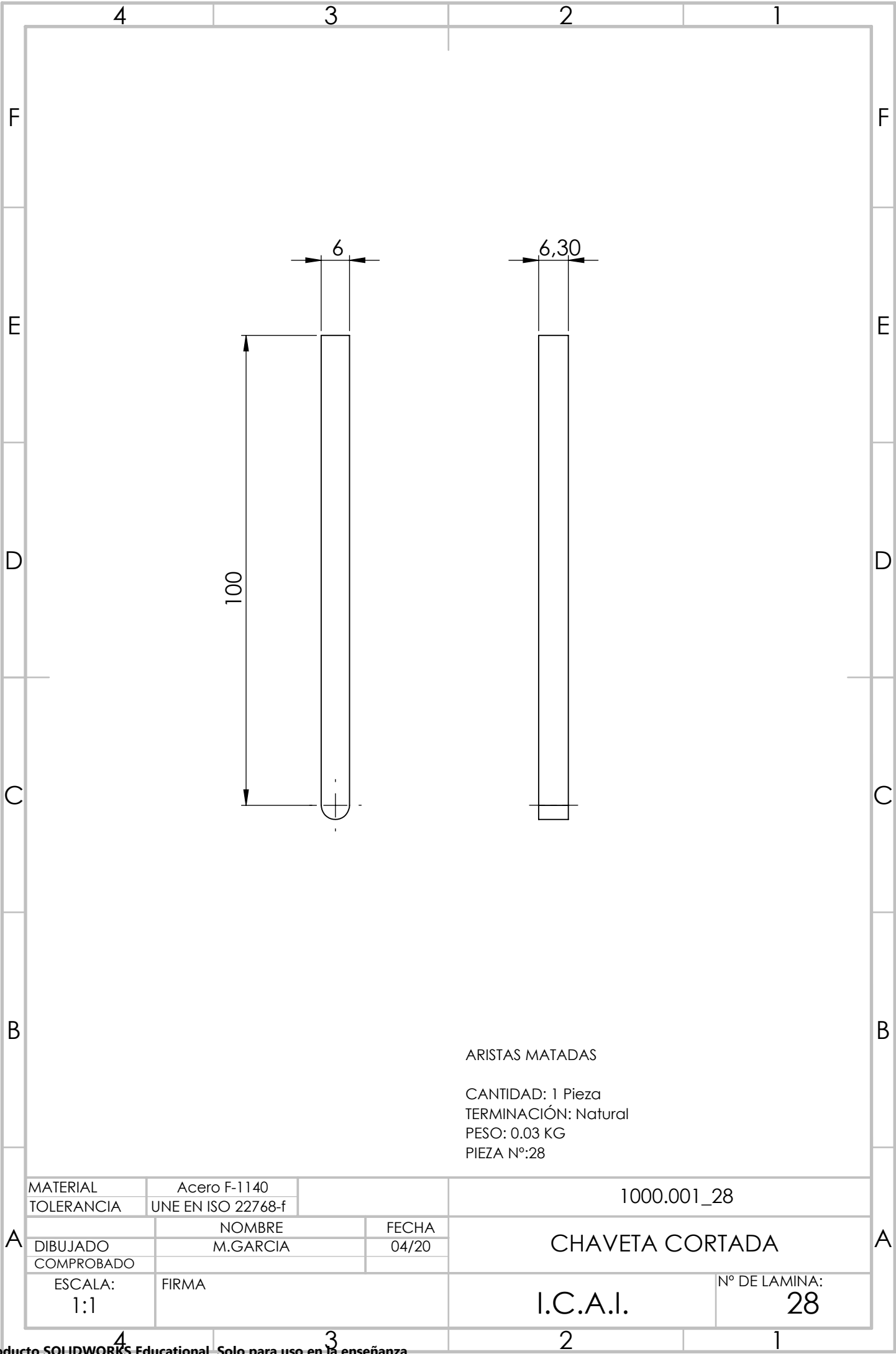


TODOS LOS CHAFLANES 1x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pintado
PESO: 0.05 KG
PIEZA N°:27

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_27	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
	NOMBRE	FECHA	CHAPA PARA SENSOR	
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 27

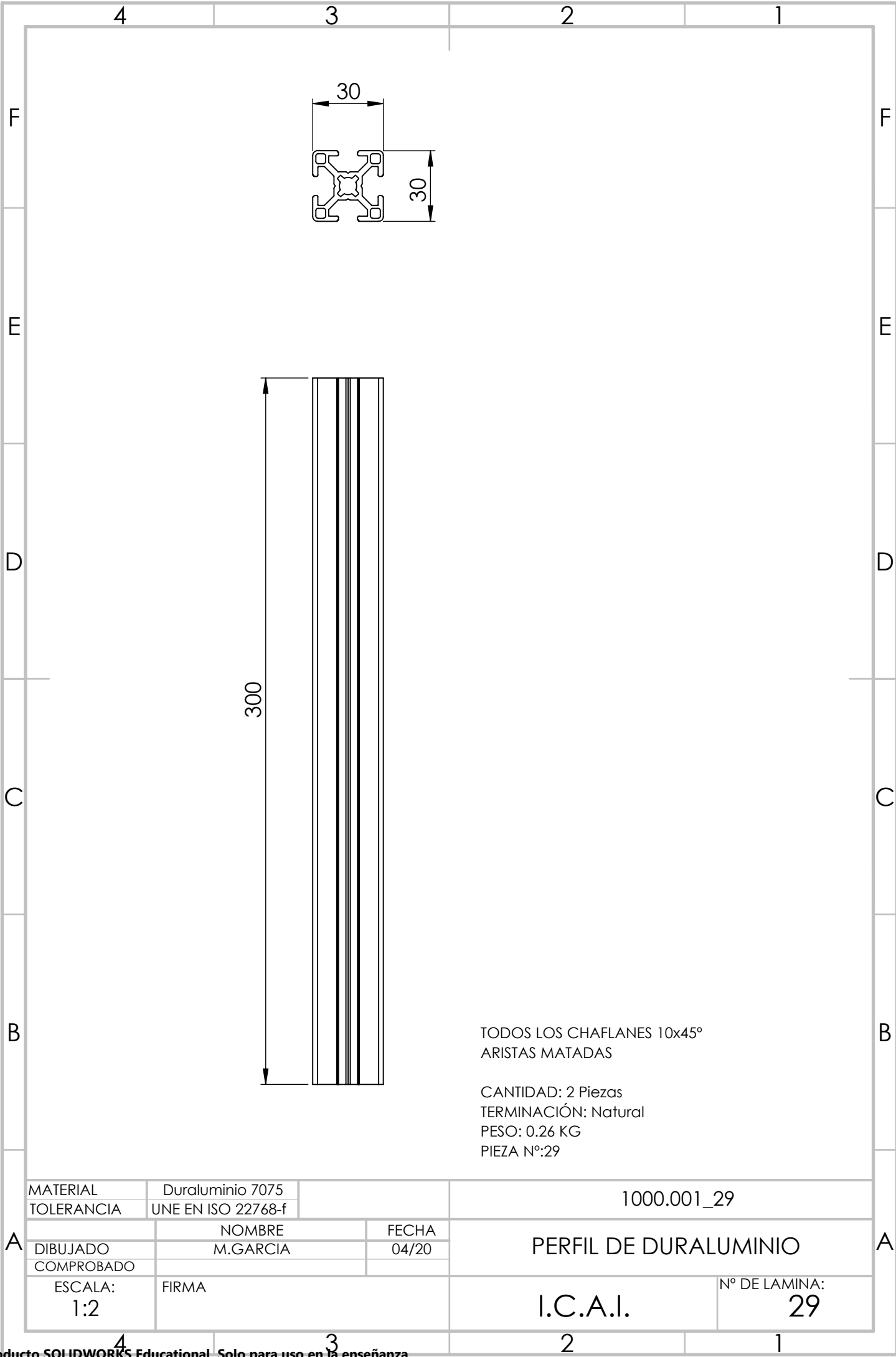
4 3 2 1



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 0.03 KG
PIEZA N°:28

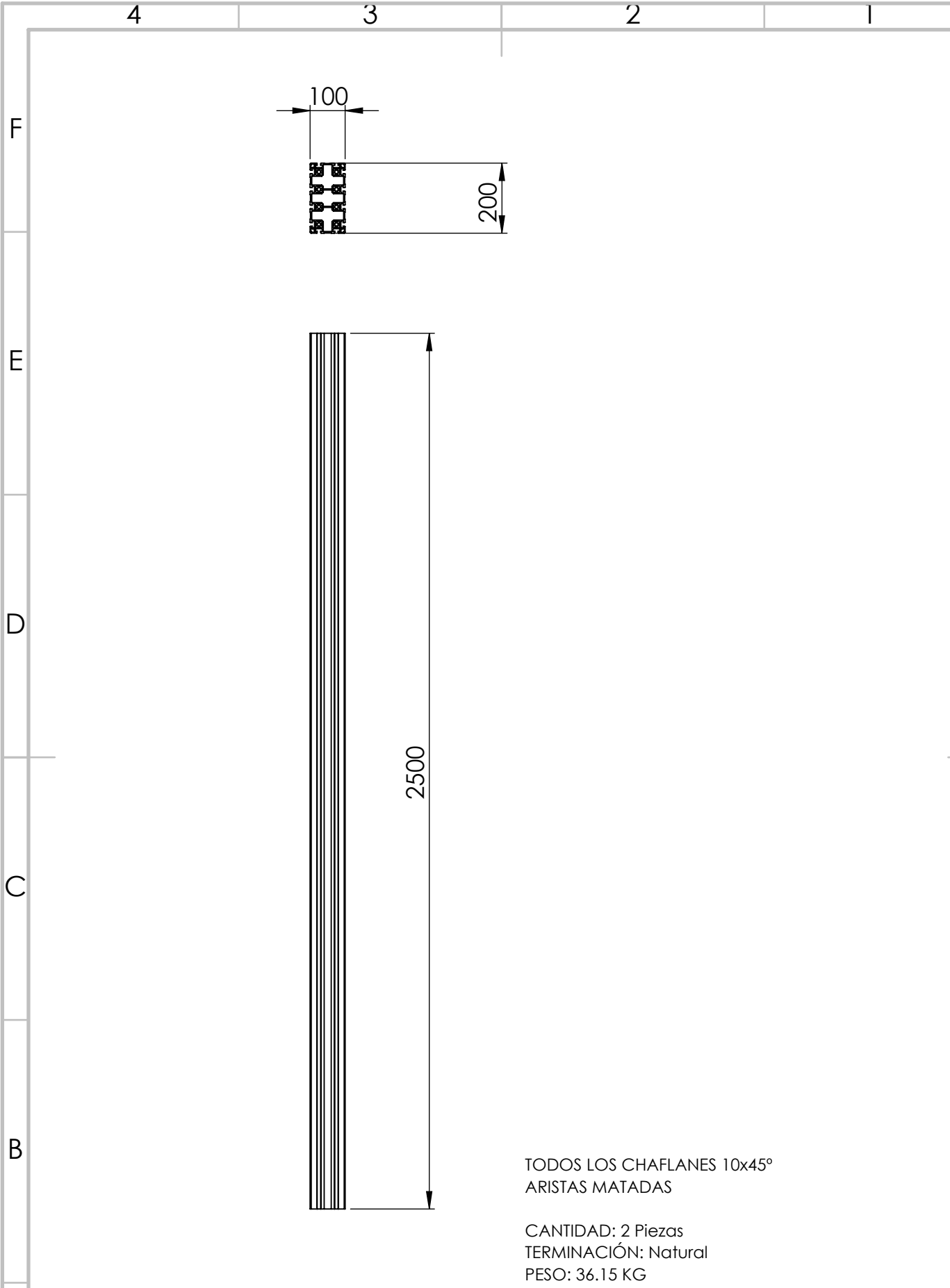
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_28
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	CHAVETA CORTADA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:1		I.C.A.I.	28



TODOS LOS CHAFLANES 10x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 0.26 KG
PIEZA N°:29

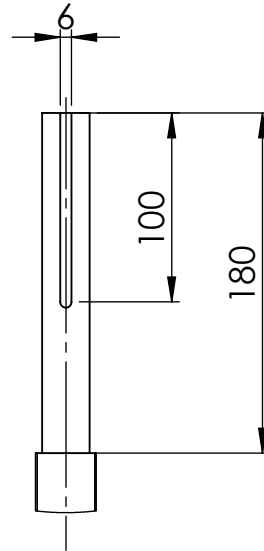
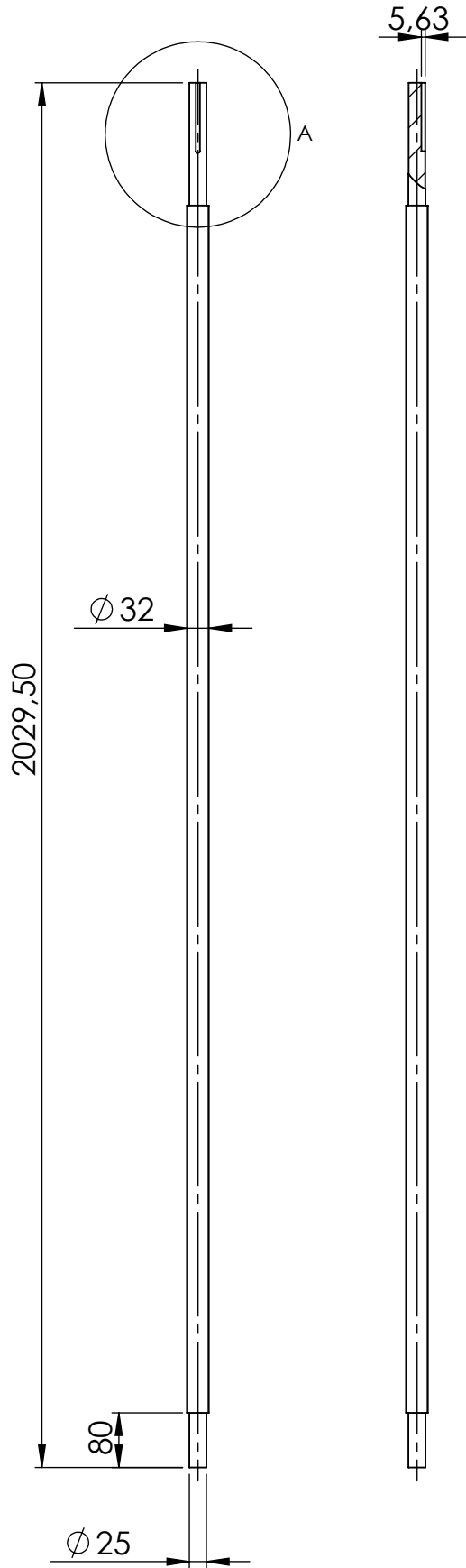
MATERIAL	Duraluminio 7075		1000.001_29
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PERFIL DE DURALUMINIO
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:2		I.C.A.I.	29



TODOS LOS CHAFLANES 10x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 36.15 KG
PIEZA N°:30

MATERIAL	Aluminio 1060		1000.001_30
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PERFIL DE ALUMINIO
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:15		I.C.A.I.	30

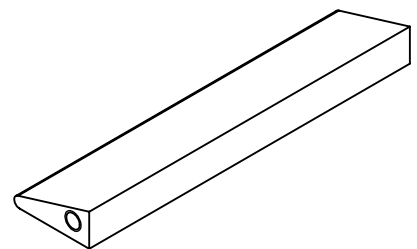
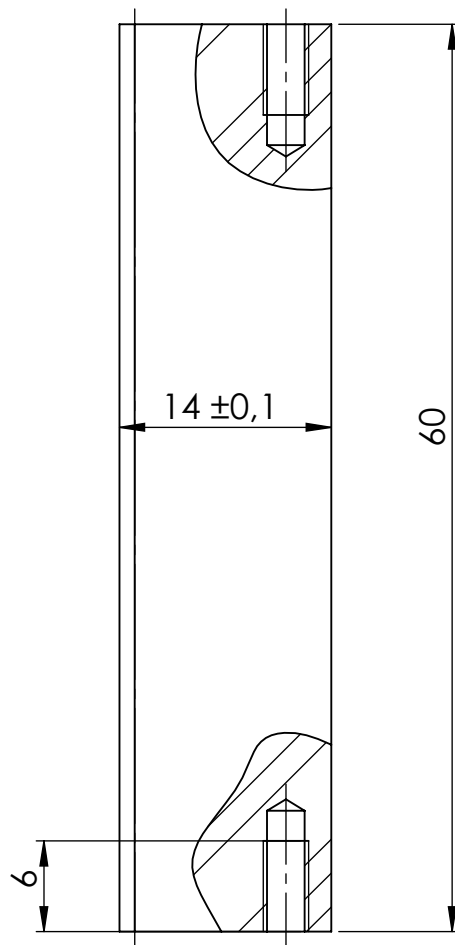
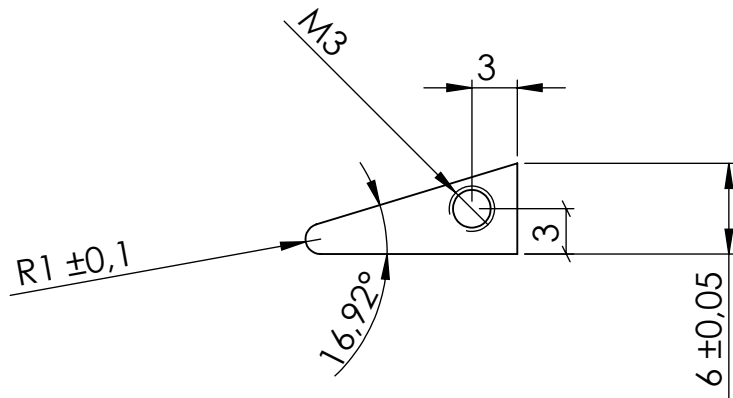


DETALLE A
ESCALA 1 : 4

ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 1.55 KG
PIEZA N°:31

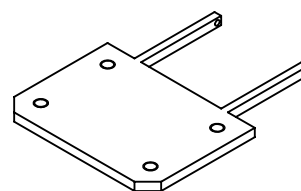
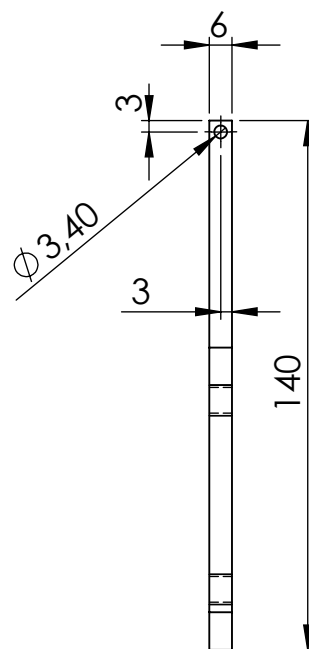
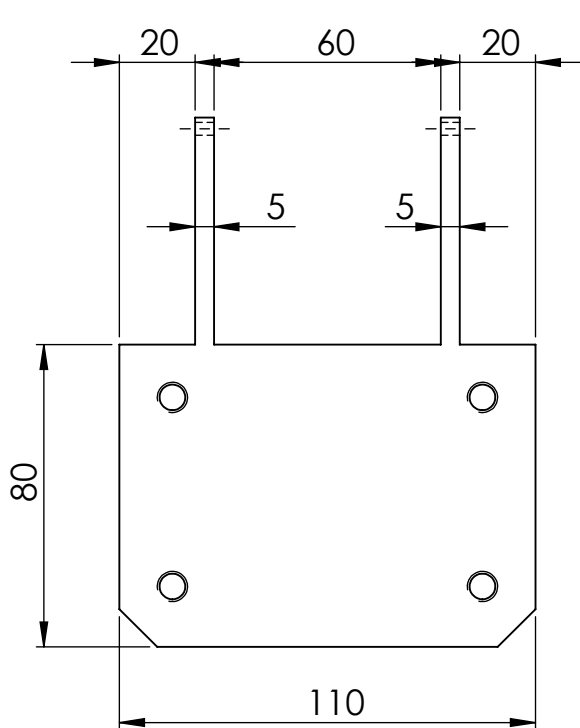
MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_31
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	HUSILLO
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:10		I.C.A.I.	31



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD :1 PIEZA
 TERMINACIÓN: TEMPLADO Y REVENIDO
 PESO: 0,025 KG
 PIEZA Nº:1

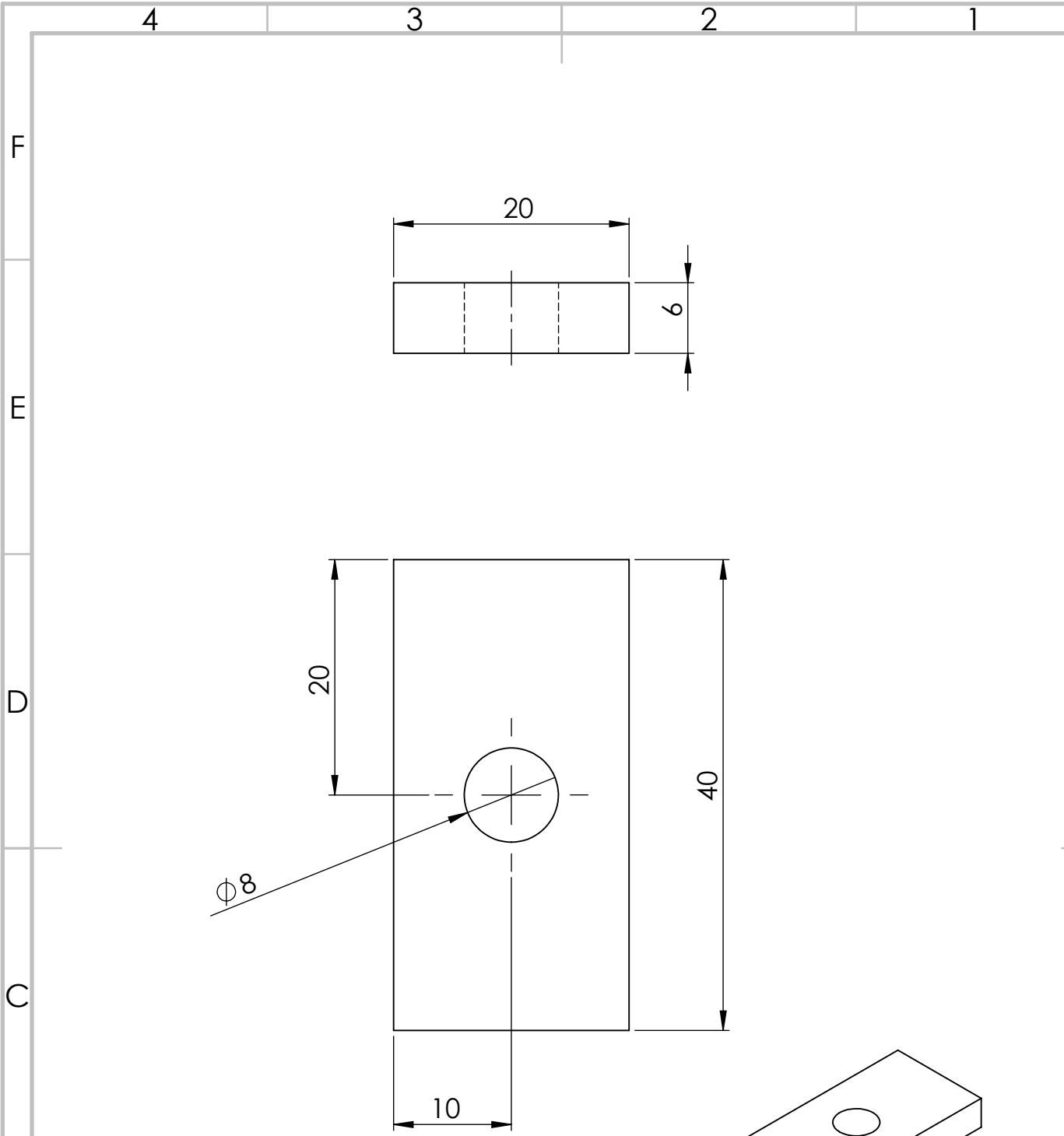
MATERIAL	Acero F-1250		1000.002_1
TOLERANCIA			
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	CUÑA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 2:1	FIRMA		Nº DE LAMINA:
		I.C.A.I.	1



TODOS LOS CHAFLANES 10x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 pieza
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 438.70 KG
PIEZA N°: 2

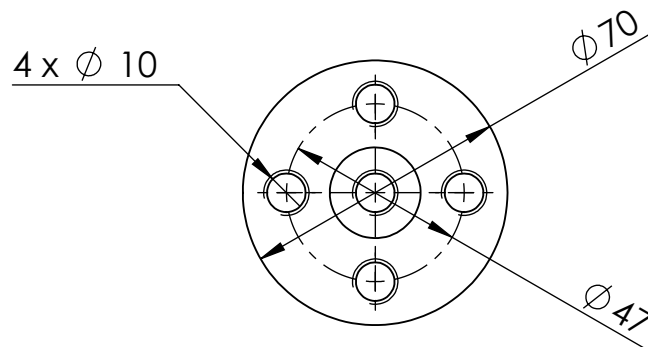
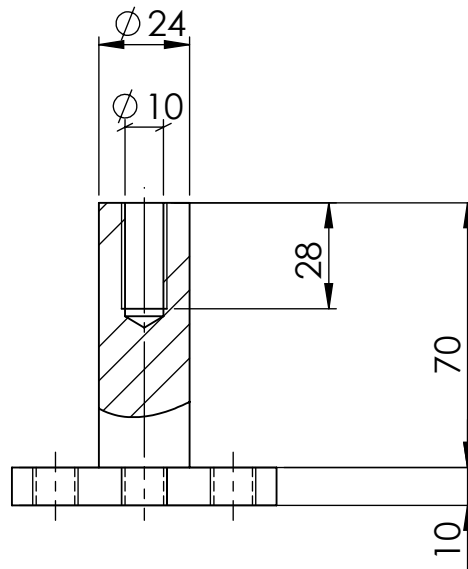
MATERIAL	AISI 304		1000.002_2	
TOLERANCIA	UNE-EN-ISO 22768-f			
	NOMBRE	FECHA	SOPORTE	
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 2



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD:2 Piezas
TERMINACIÓN: Natural
PESO:
PIEZA N°:3

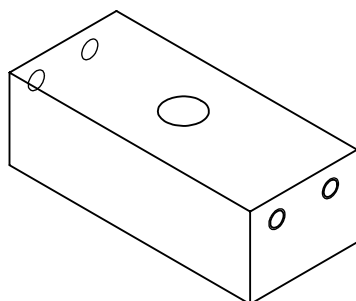
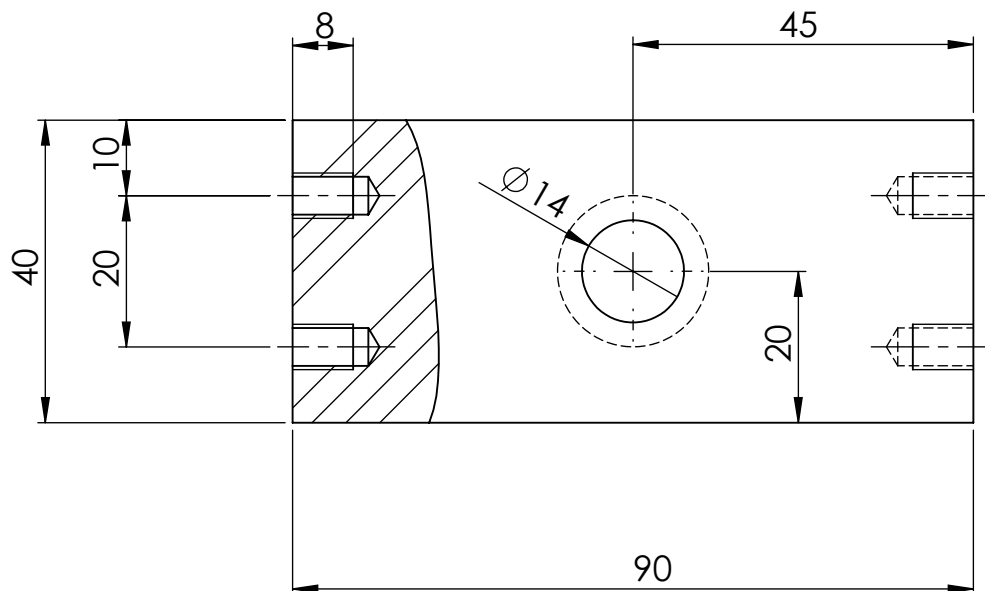
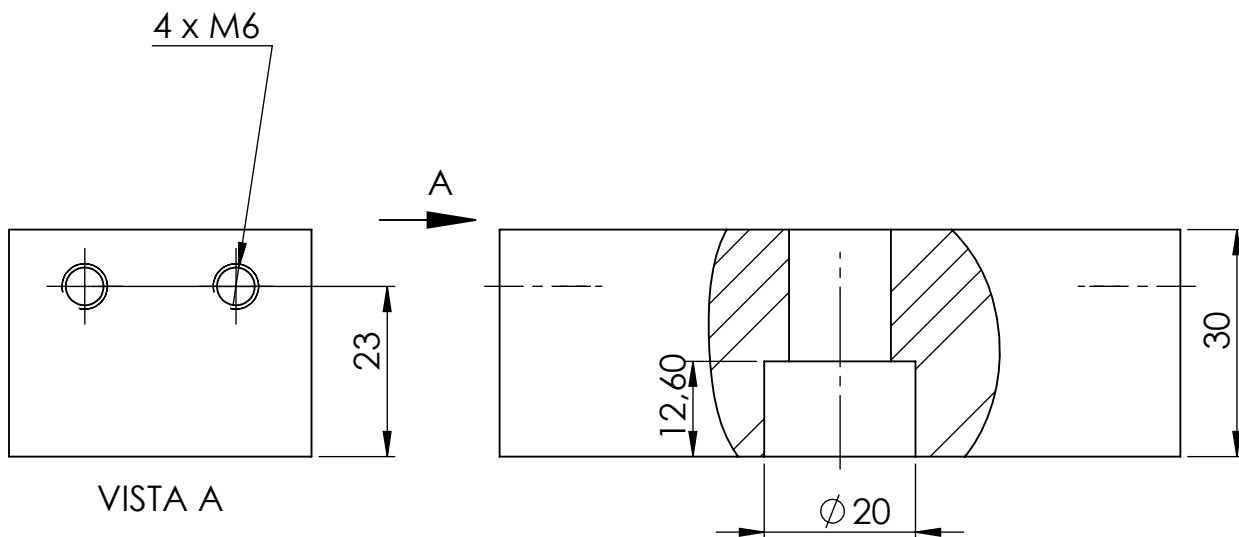
MATERIAL	AISI 304		1000.002_3	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f			
	NOMBRE	FECHA	SEPARADOR	
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA: 2:1	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 3



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
 TERMINACIÓN: Pavonado
 PESO: 0,47 KG
 PIEZA N°: 4

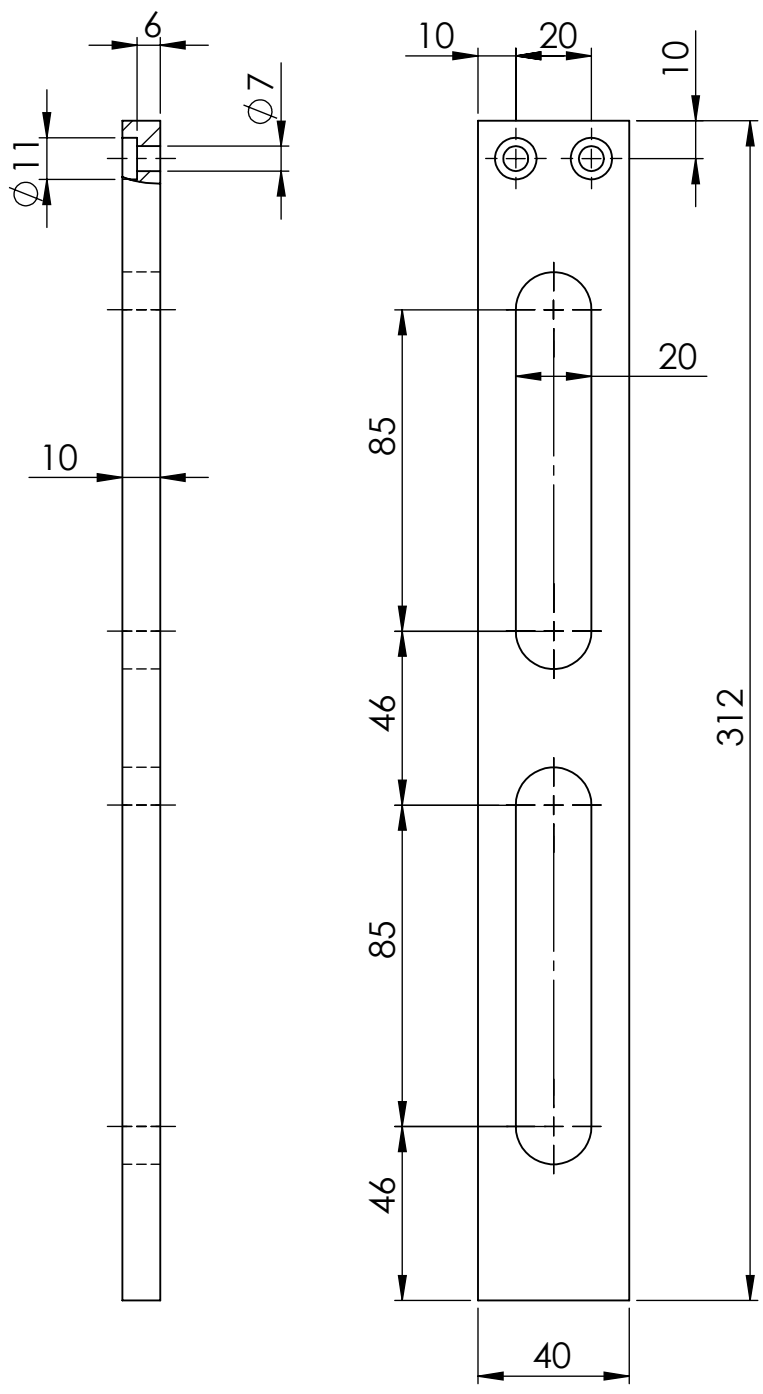
MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_4
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768 -f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	SOPORTE PUNZON
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 1:2	FIRMA		N° DE LAMINA:
		I.C.A.I.	4



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
 TERMINACIÓN: Pavonado
 PESO:
 PIEZA N°: 5

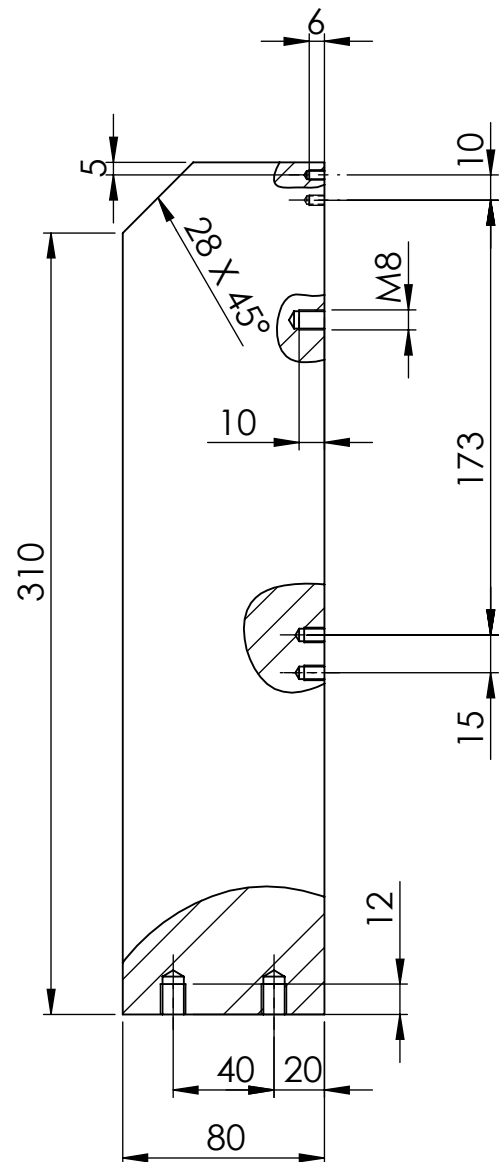
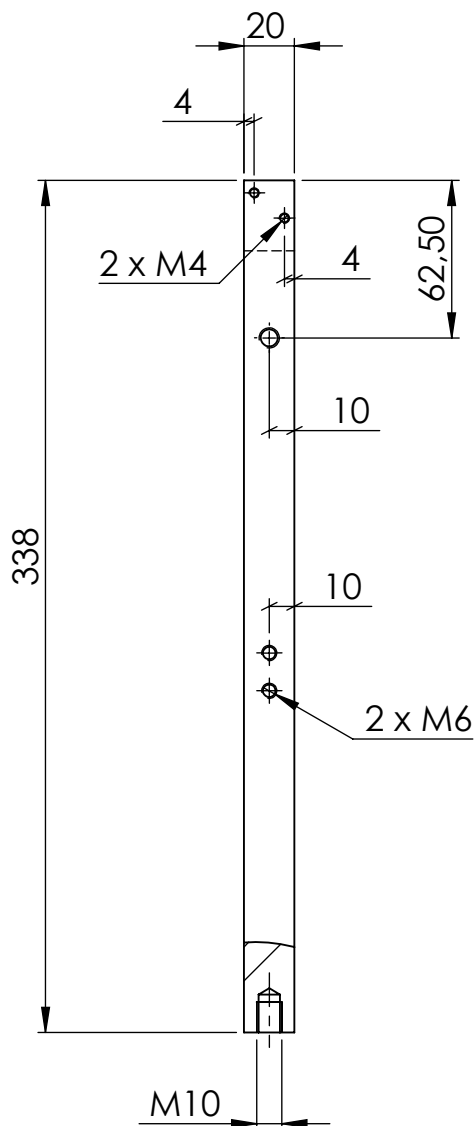
MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_5
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	BASE
ESCALA: 1:1	FIRMA		N° DE LAMINA: 5
		I.C.A.I.	



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 1.09 KG
PIEZA N°:6

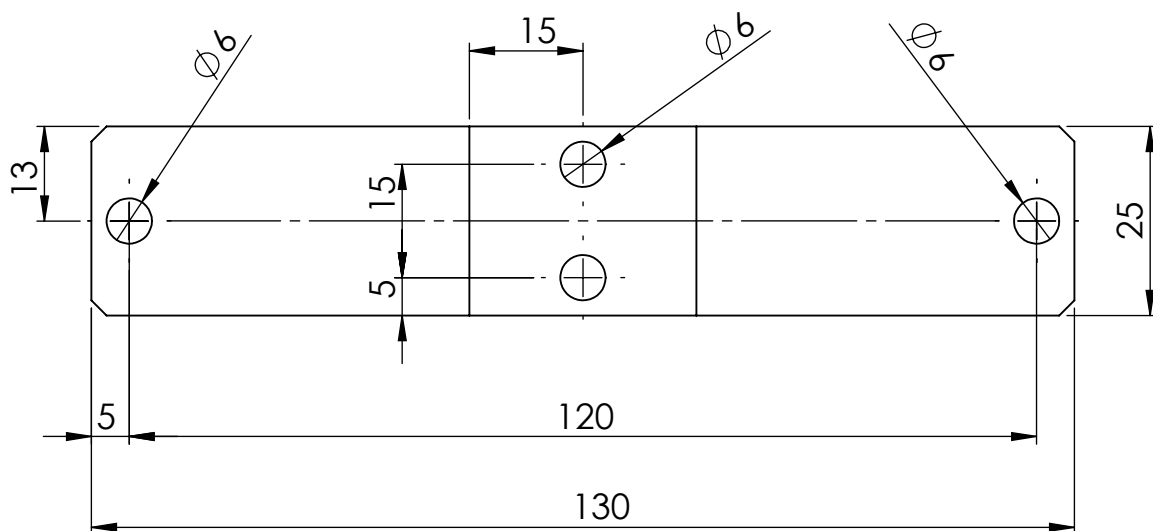
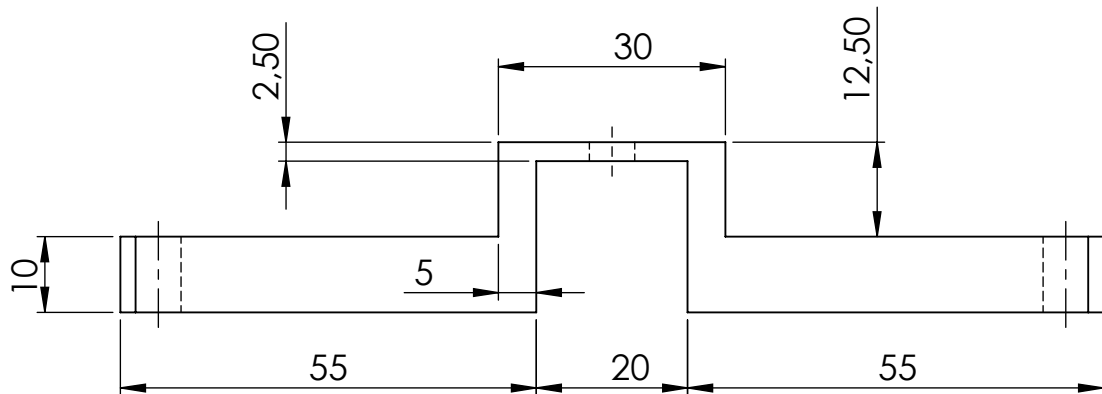
MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_6	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768 -f			
	NOMBRE	FECHA	PLACA LATERAL	
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	FIRMA		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 6



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
 TERMINACIÓN: Pavonado
 PESO: 4,17 KG
 PIEZA N°: 7

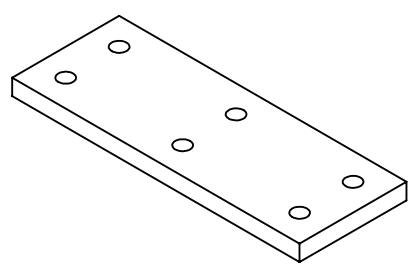
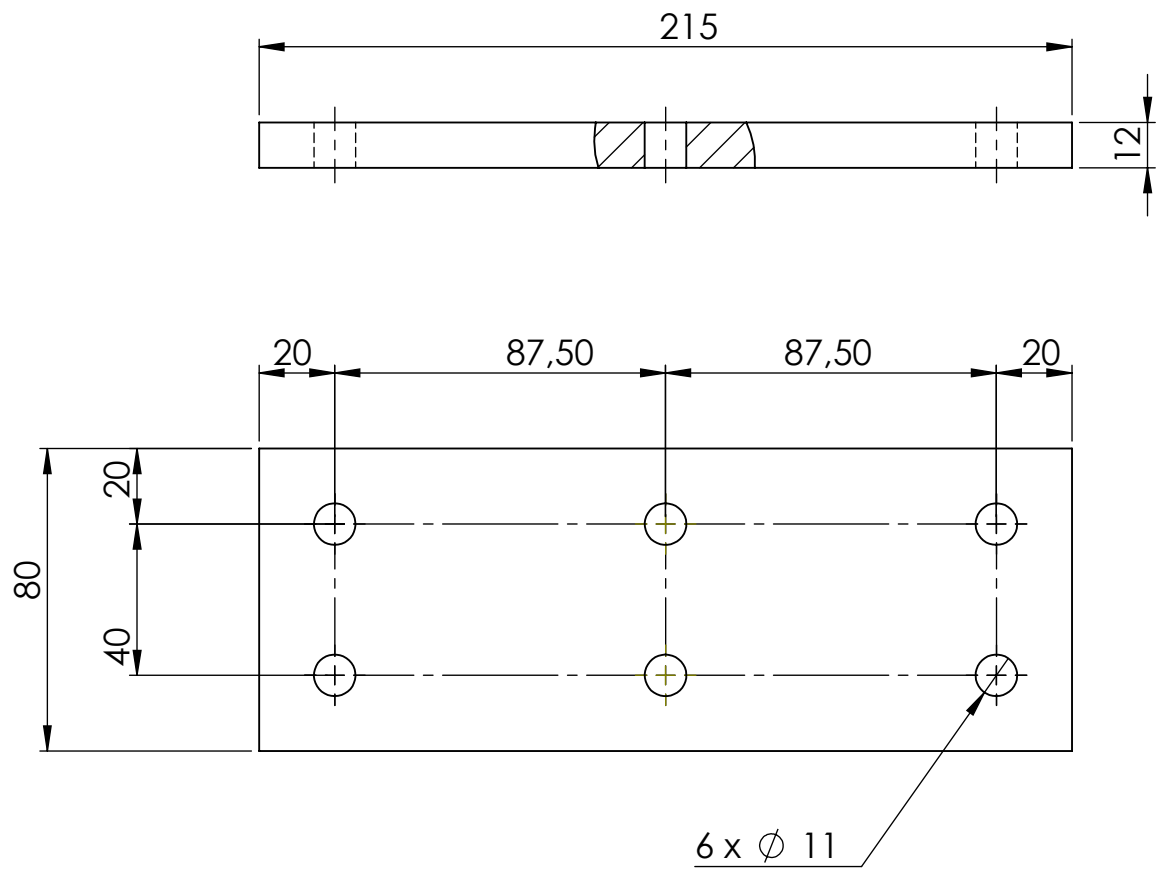
MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_7
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	COLUMNA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 1:3	FIRMA		N° DE LAMINA: 7
		I.C.A.I.	



TODOS LOS CHAFLANES 2x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 0,19 KG
PIEZA Nº: 8

MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_8
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	SOPORTE DE GUIAS
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 1:1	FIRMA		I.C.A.I.
			Nº DE LAMINA: 8



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza

TERMINACIÓN: Pavonado

PESO: 1,07 KG

PIEZA N°: 9

MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_9
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768- f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	BASE PARA COLUMNA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA: 1:2	FIRMA		I.C.A.I.
			N° DE LAMINA: 9

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

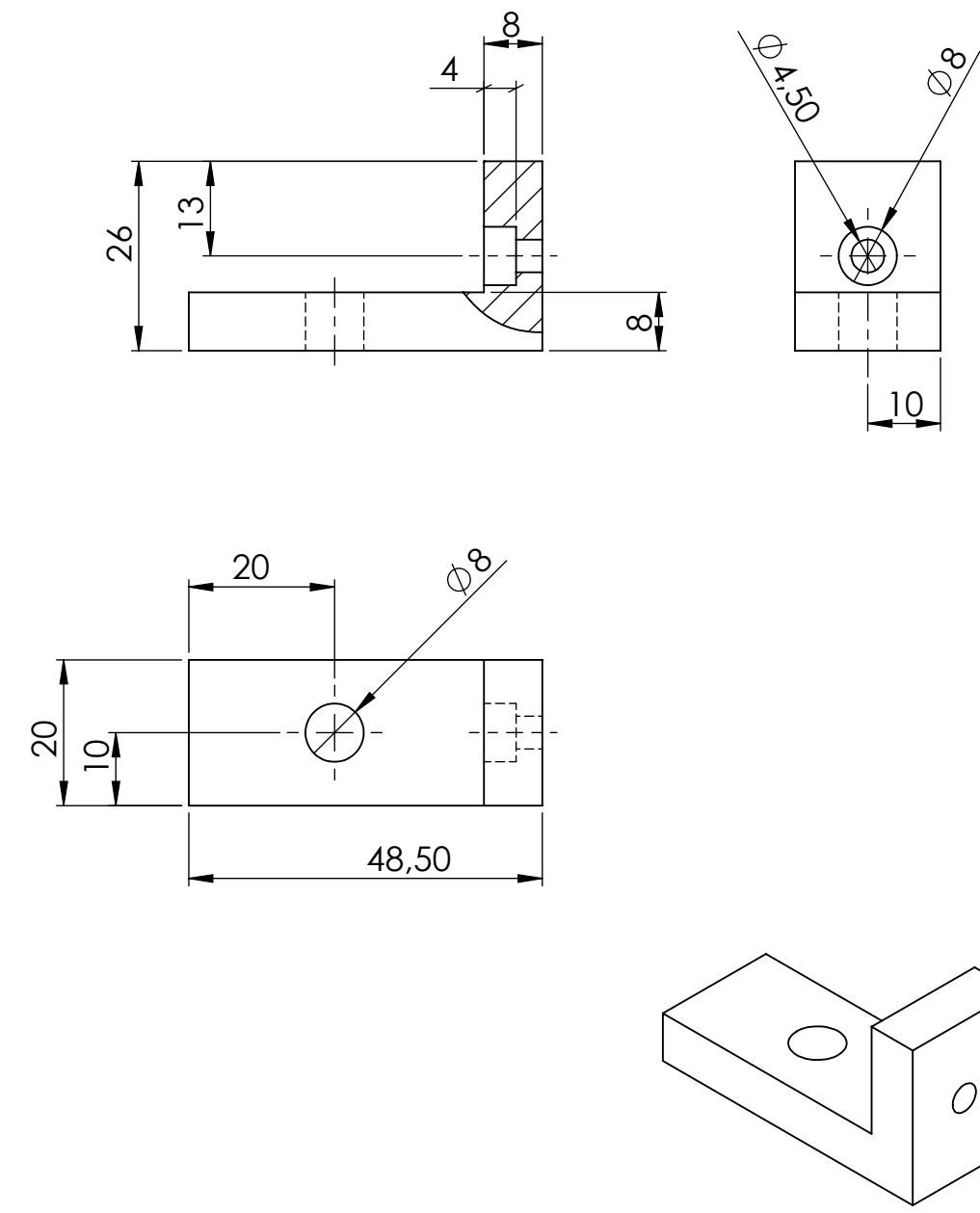
C

B

B

A

A



ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza

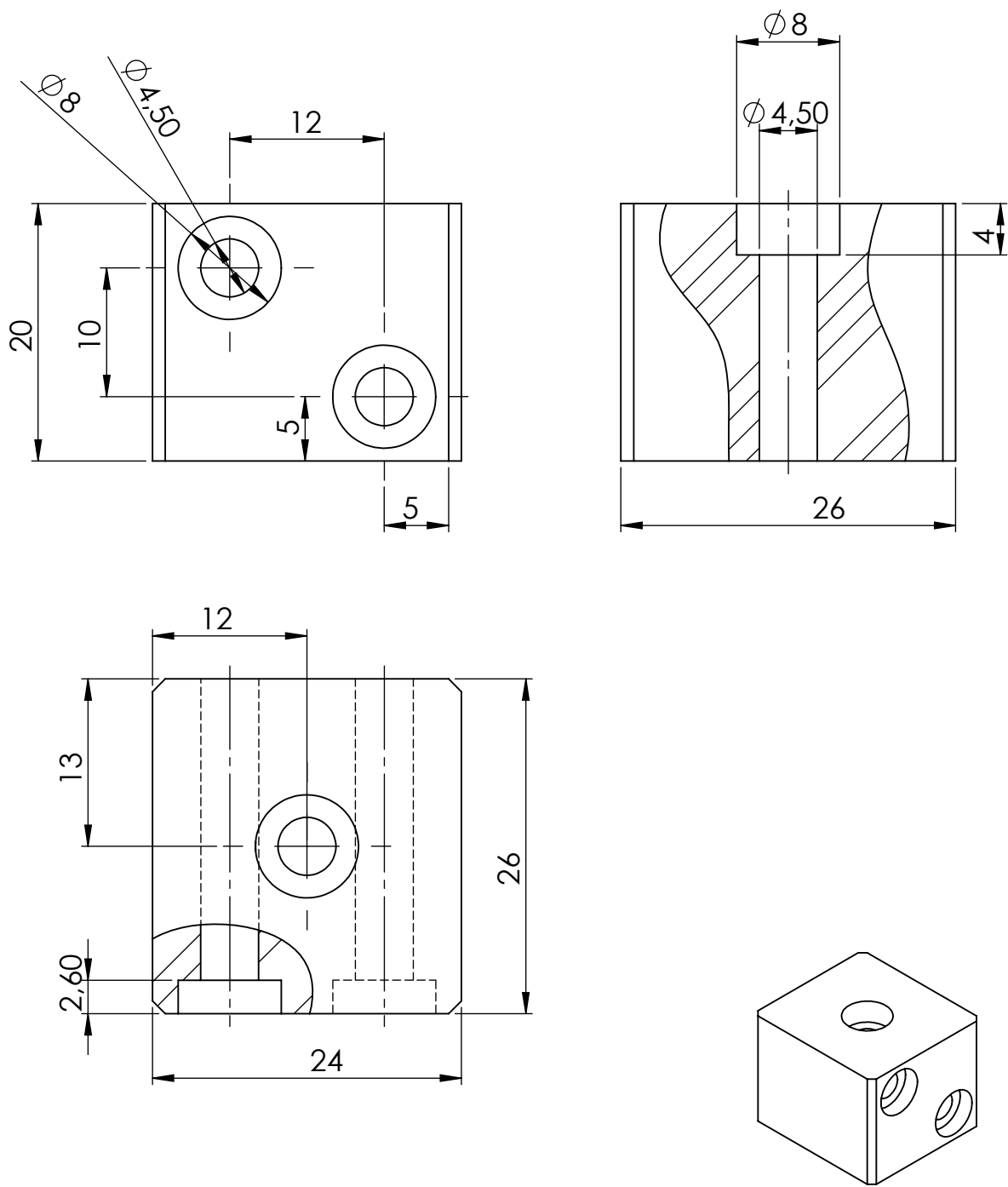
TERMINACIÓN: Pavonado

PESO: 0,078 KG

PIEZA Nº: 10

MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_10
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768- f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	SOPORTE DE PROBETAS
ESCALA: 1:1	FIRMA		Nº DE LAMINA: 10
		I.C.A.I.	

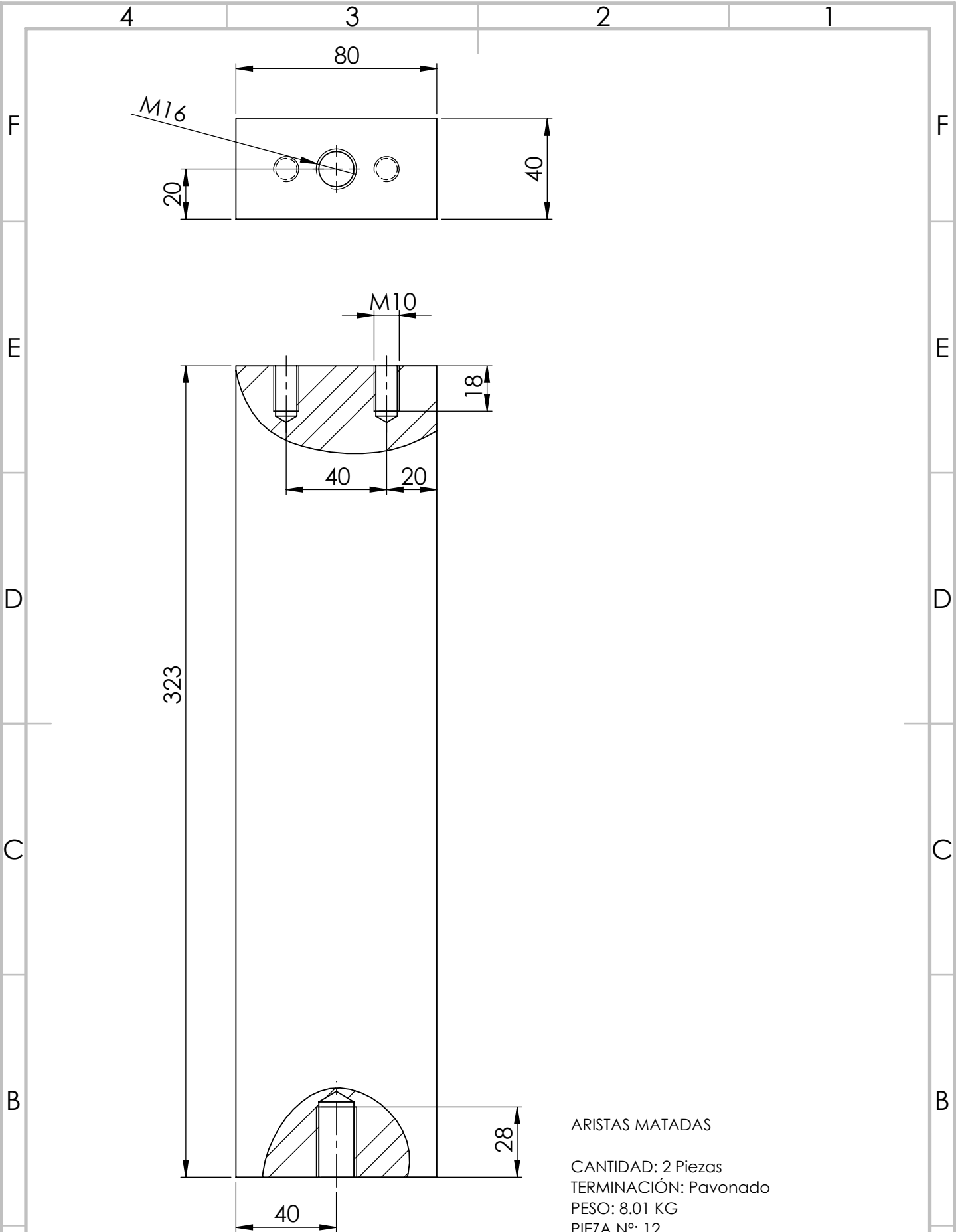
4 3 2 1



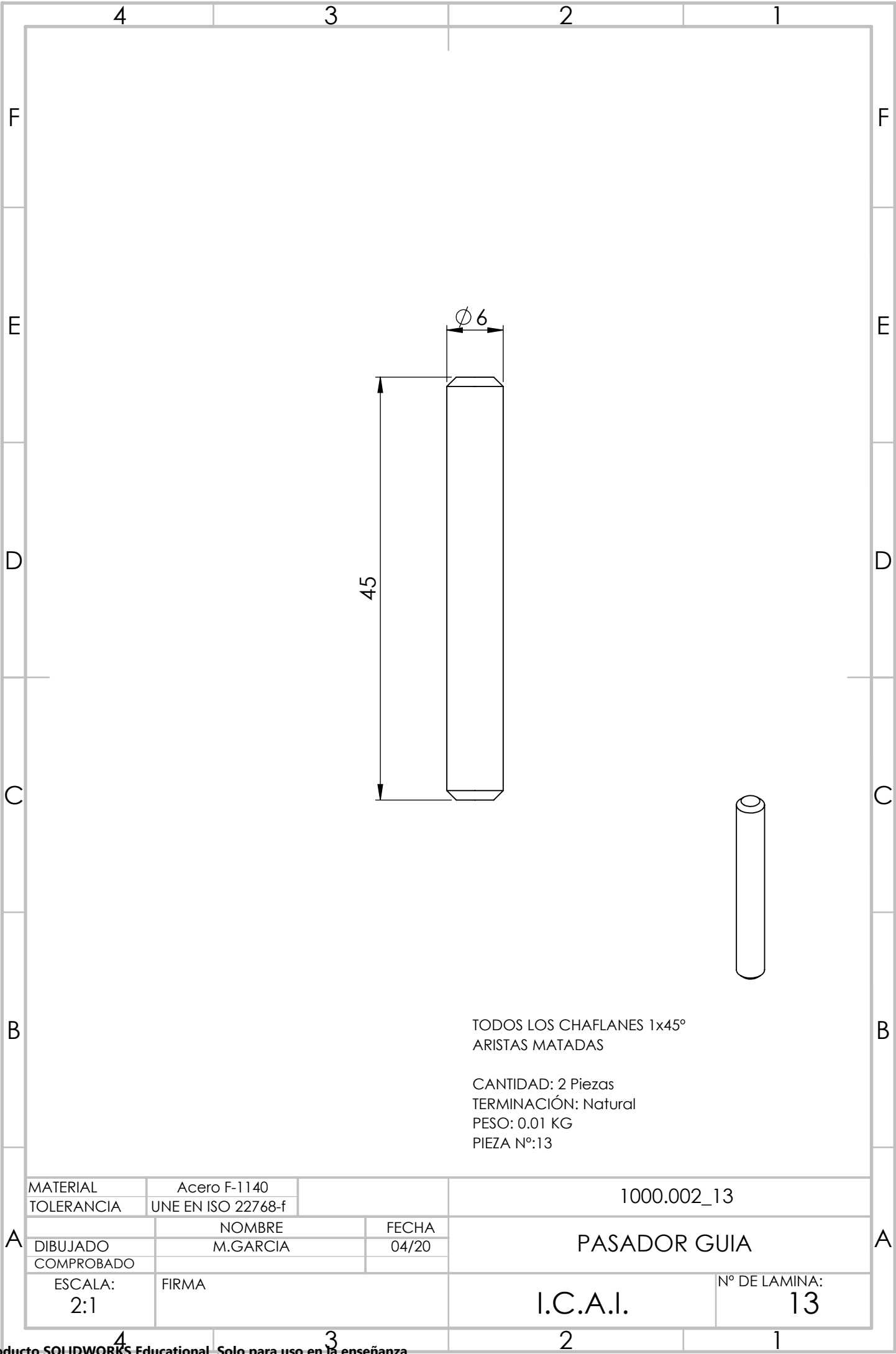
TODOS LOS CHAFLANES 1x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 0.09 KG
PIEZA N°: 11

MATERIAL	Acero F-1140		1000.001_11
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	SOPORTE PARA CELULA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
2:1			
			N° DE LAMINA:
			11



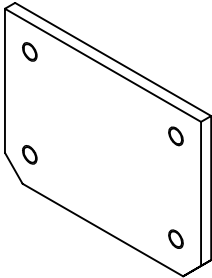
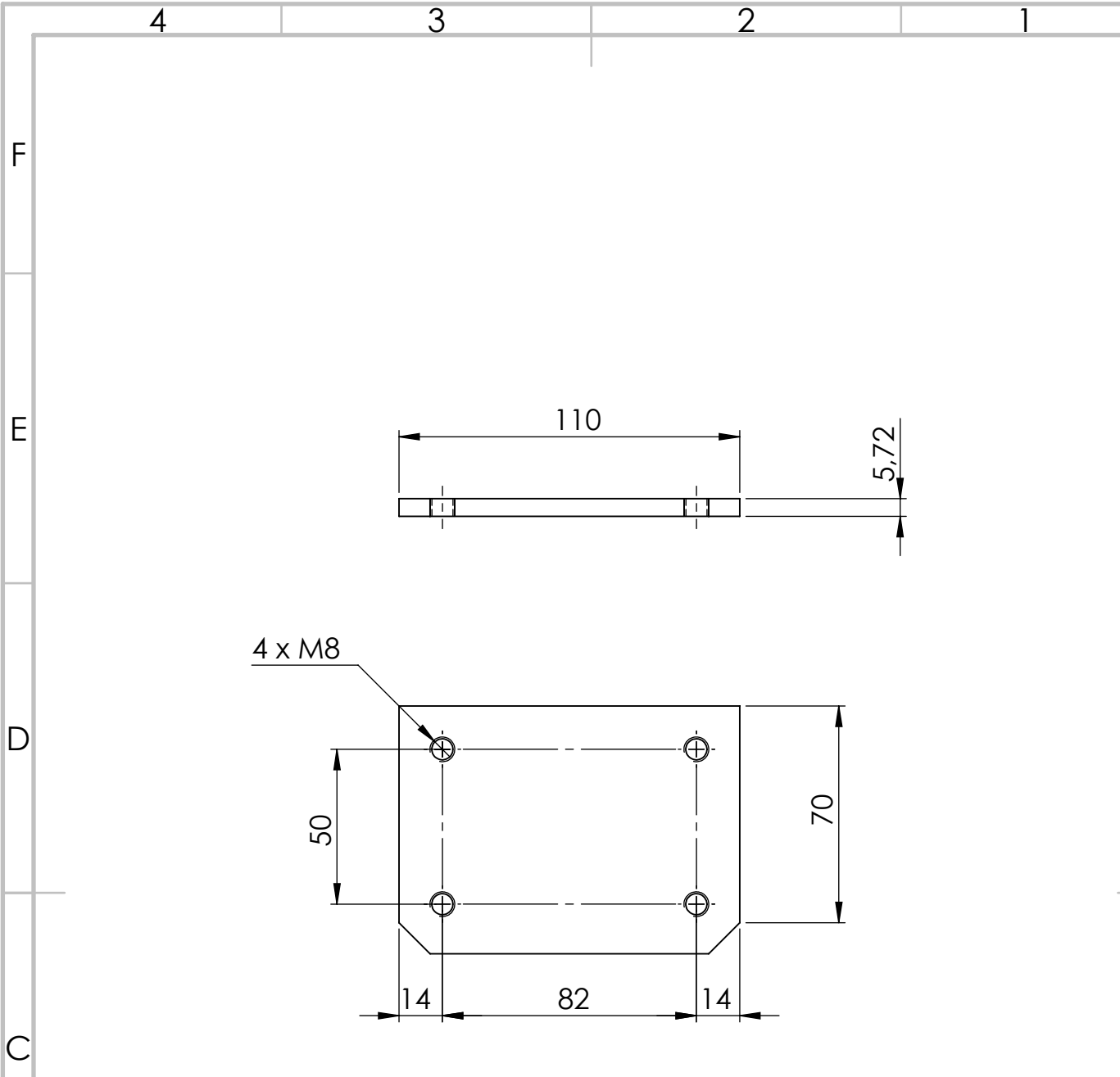
MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_12
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	COLUMNA AUXILIAR
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:2		I.C.A.I.	12



TODOS LOS CHAFLANES 1x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 2 Piezas
TERMINACIÓN: Natural
PESO: 0.01 KG
PIEZA N°:13

MATERIAL	Acero F-1140		1000.002_13
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PASADOR GUIA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
2:1		I.C.A.I.	13



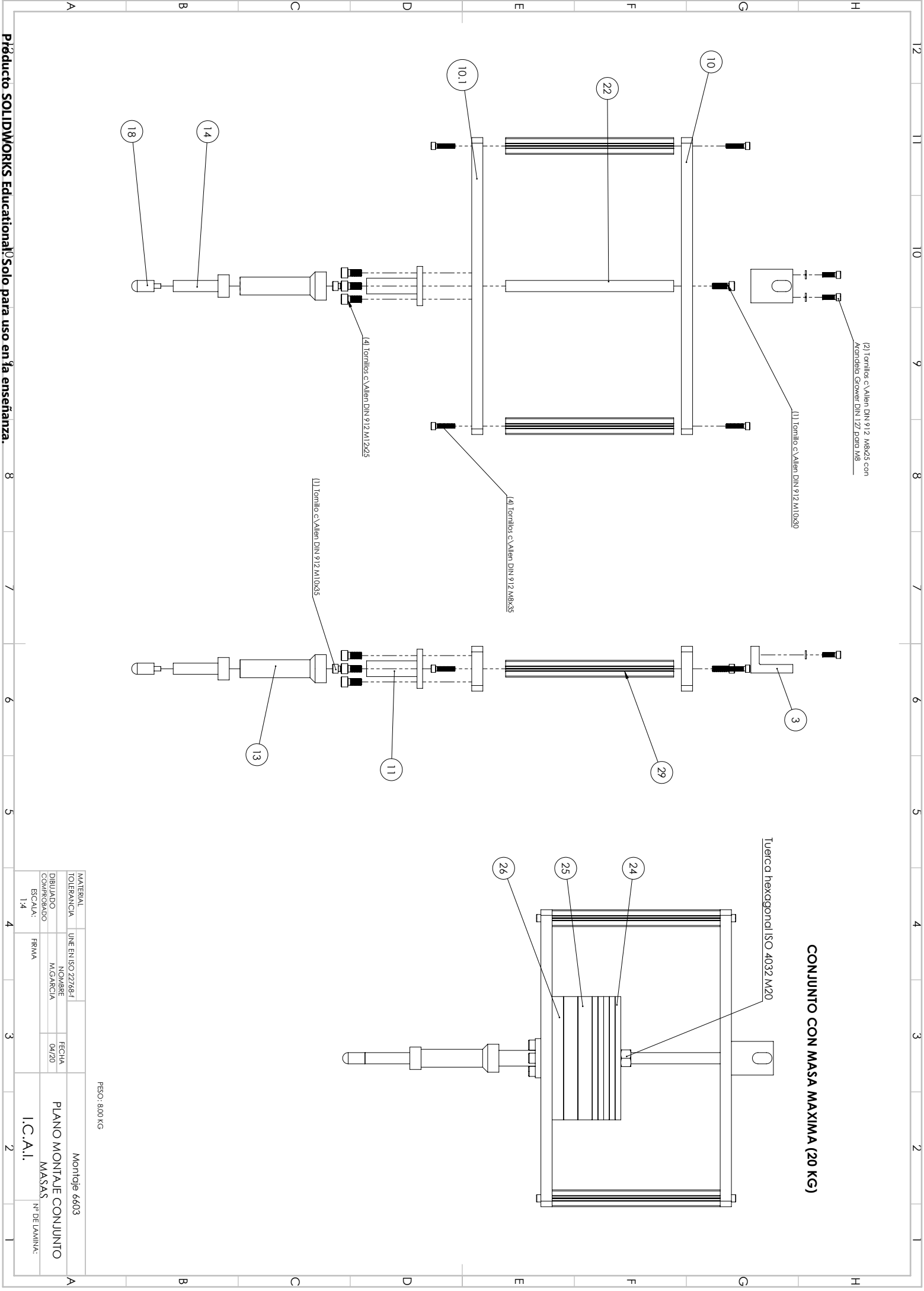
TODOS LOS CHAFLANES 10x45°
ARISTAS MATADAS

CANTIDAD: 1 Pieza
TERMINACIÓN: Pavonado
PESO: 0.38 KG
PIEZA N°:14

MATERIAL	Acero F-1120		1000.002_14
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	MASA CALIBRADA
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	
ESCALA:	FIRMA		N° DE LAMINA:
1:2		I.C.A.I.	14

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Producto SOLIDWORKS Educational[®] Solo para uso en 1ª enseñanza.



(2) Tornillos c Allen DIN 912 M8x35 con Acrobel Grover DIN 127 para M8

(1) Tornillo c Allen DIN 912 M10x30

(4) Tornillos c Allen DIN 912 M8x35

(4) Tornillos c Allen DIN 912 M12x25

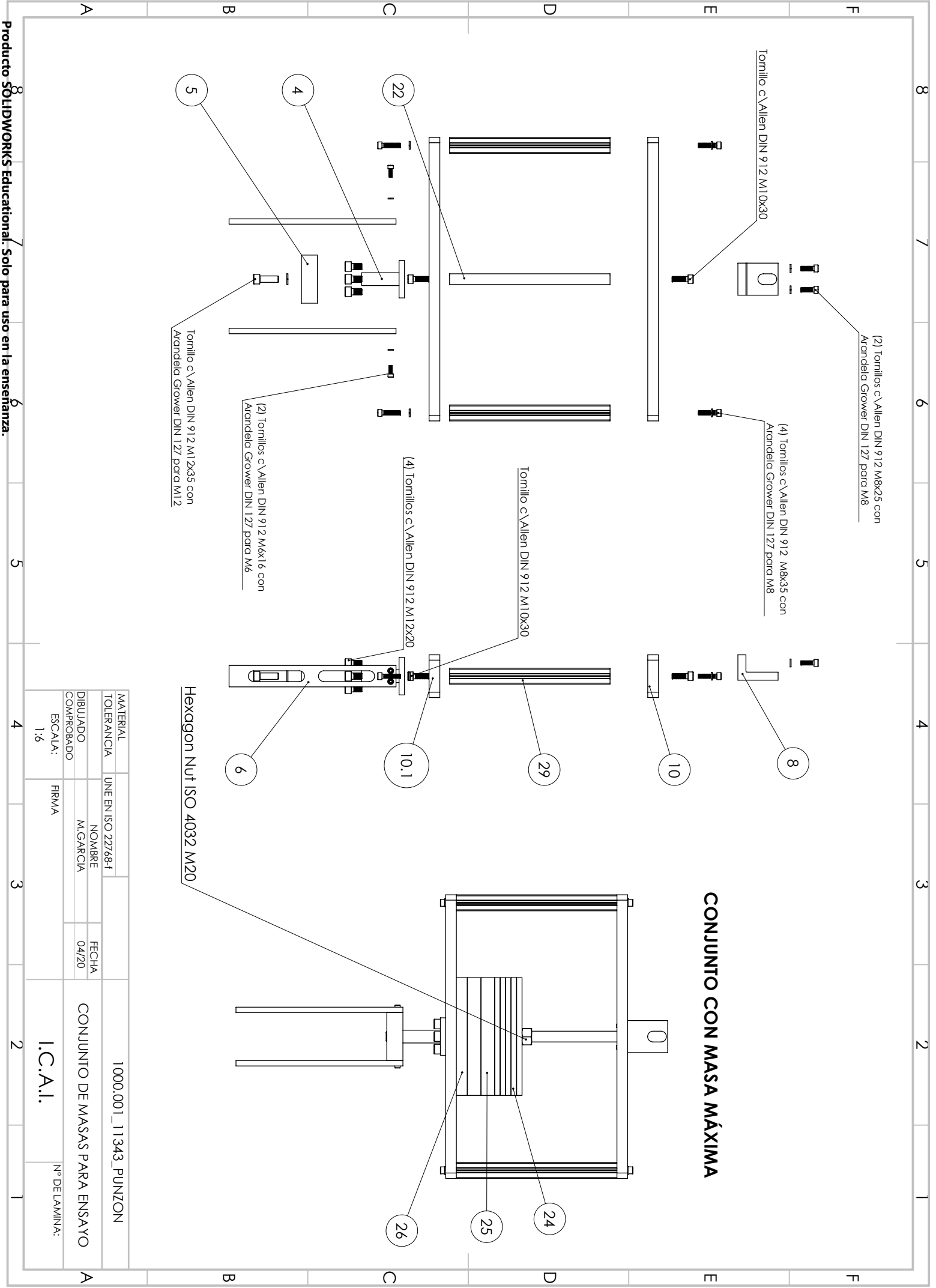
(1) Tornillo c Allen DIN 912 M10x35

CONJUNTO CON MASA MAXIMA (20 KG)

Tuerca hexagonal ISO 4032 M20

PESO: 8.00 KG

MATERIAL:	UNE EN ISO 22768-F	Montaje 6603
TOLERANCIA:	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	M.GARCIA	04/20
COMPROBADO	FRMA	
ESCALA:	1:4	
I.C.A.I.		Nº DE LAMINA:

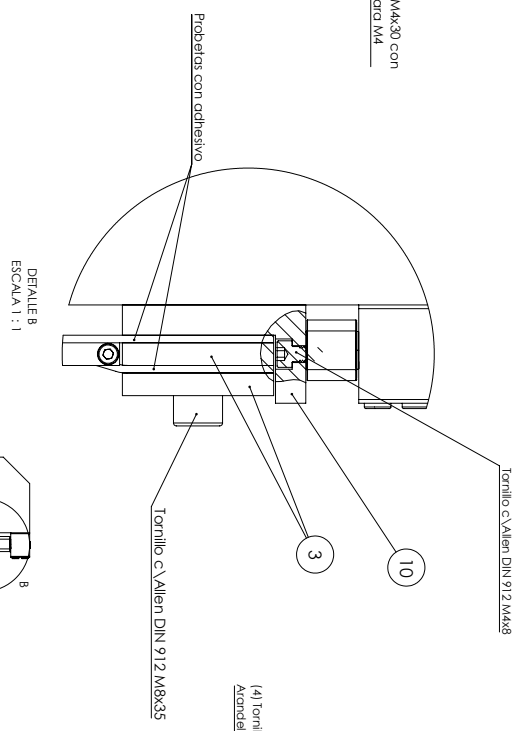
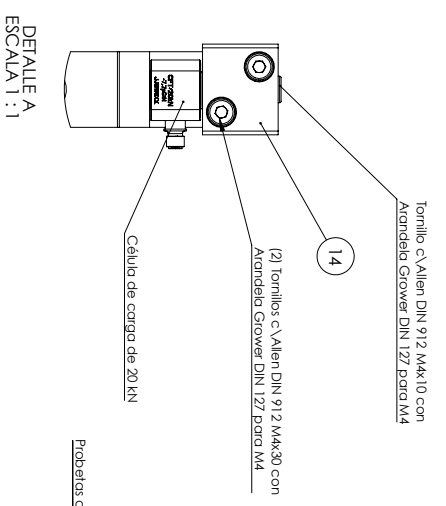


MATERIAL	UNE EN ISO 22768-1		1000.001_11343_PUNZON
TOLERANCIA	NOMBRE		
DIBUJADO	M.GARCIA		FECHA
COMPROBADO			04/20
ESCALA:	FIRMA		
1:6			

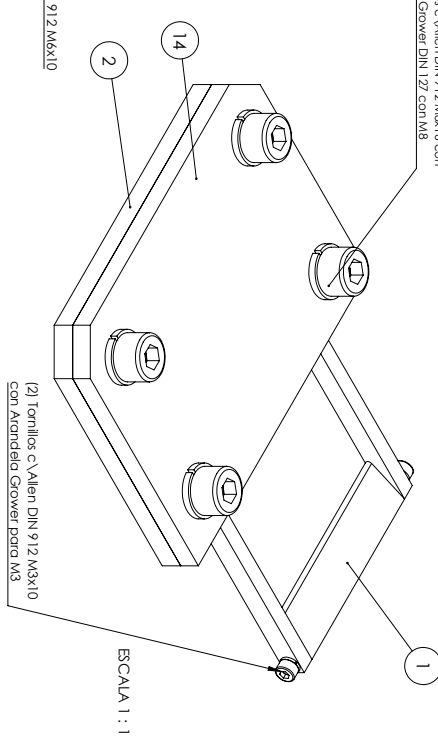
CONJUNTO DE MASAS PARA ENSAYO

I.C.A.I.

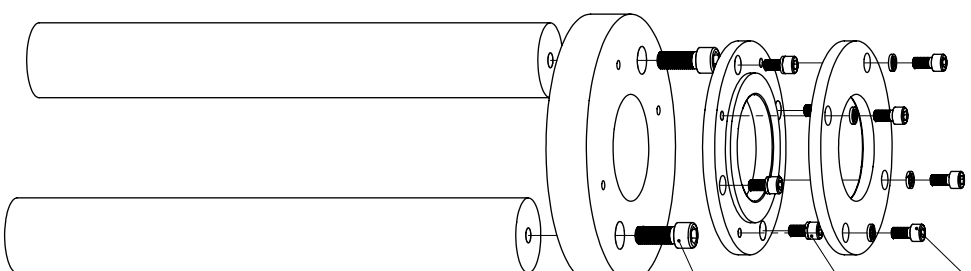
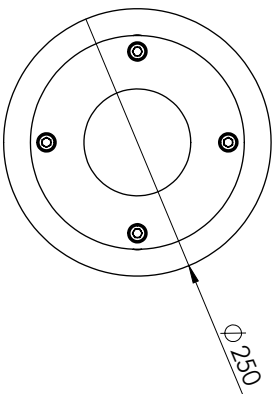
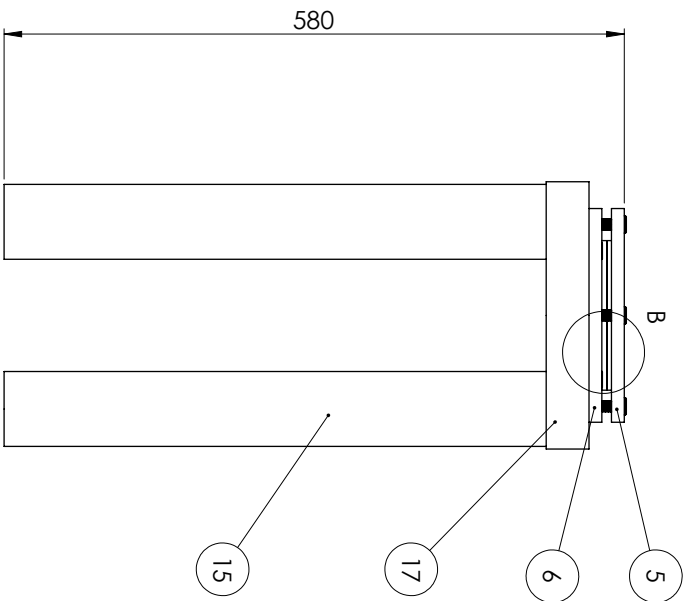
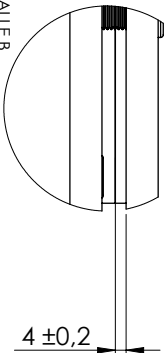
Nº DE LAMINA:



MARCO PARA PROBITAS



MATERIAL	UNE EN ISO 22768-F		MontajeBase 1343	
TOLERANCIA	NOMBRE		MONTAJE BASE PARA ENSAYO	
DIBUJADO	M.GARCIA		FECHA	
COMPROBADO	M.GARCIA		04/20	
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.	
1:4			Nº DE LÁMINA:	

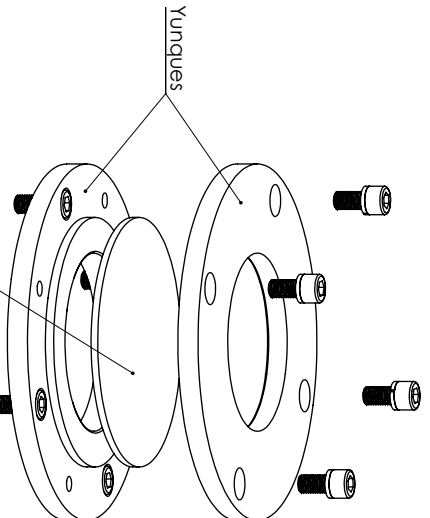


(4) Tornillos c\Allen DIN 912 M10x20 con Arandela Grower DIN 127 para M10

(4) Tornillos c\Allen DIN 912 M10x20 con Arandela Grower DIN 127 para M10

(2) Tornillos c\Allen DIN 912 M16x40

MONTAJE DE YUNQUES



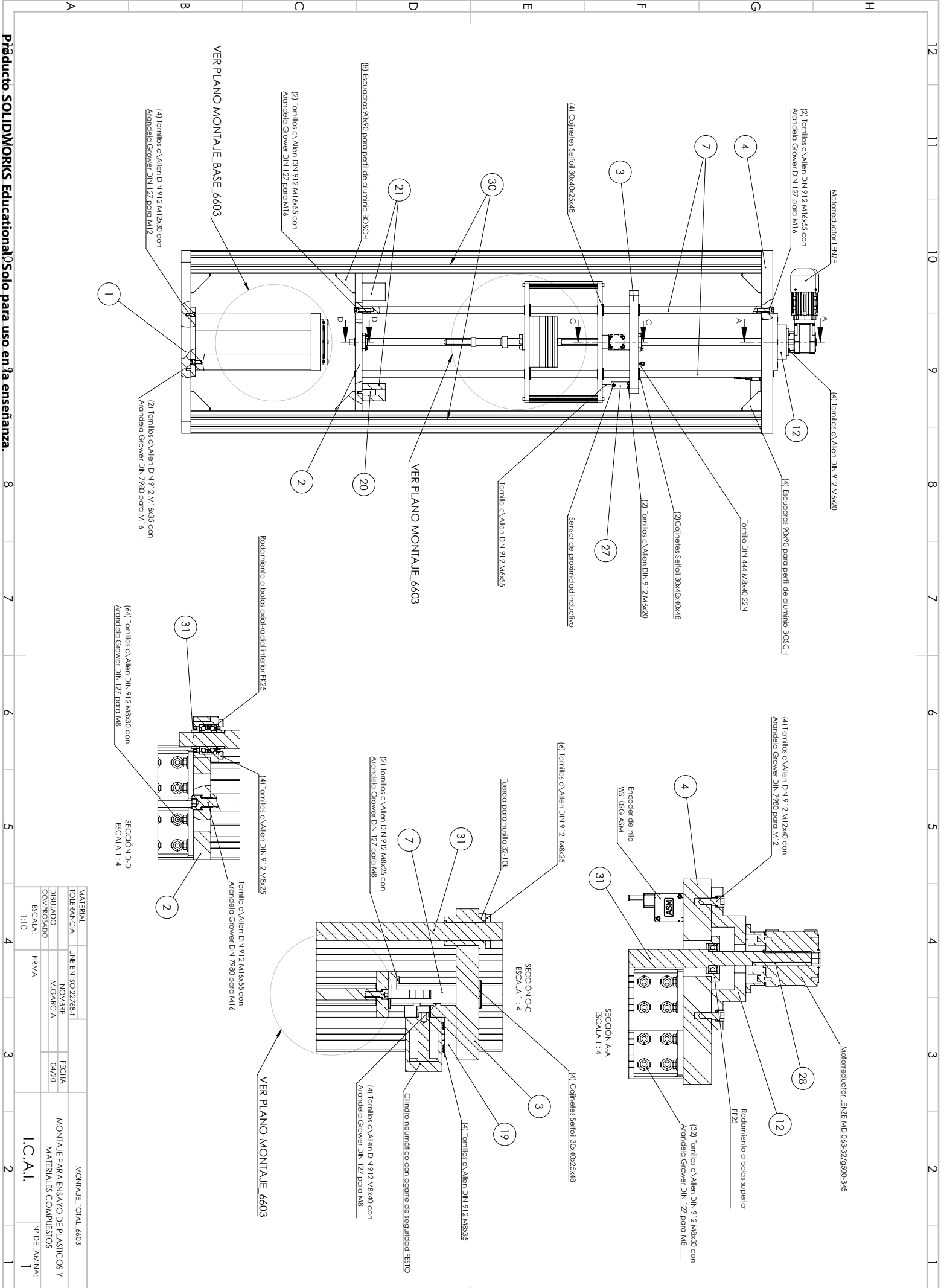
Probeta circular 140mm/60 mm

ESCALA 1 : 3

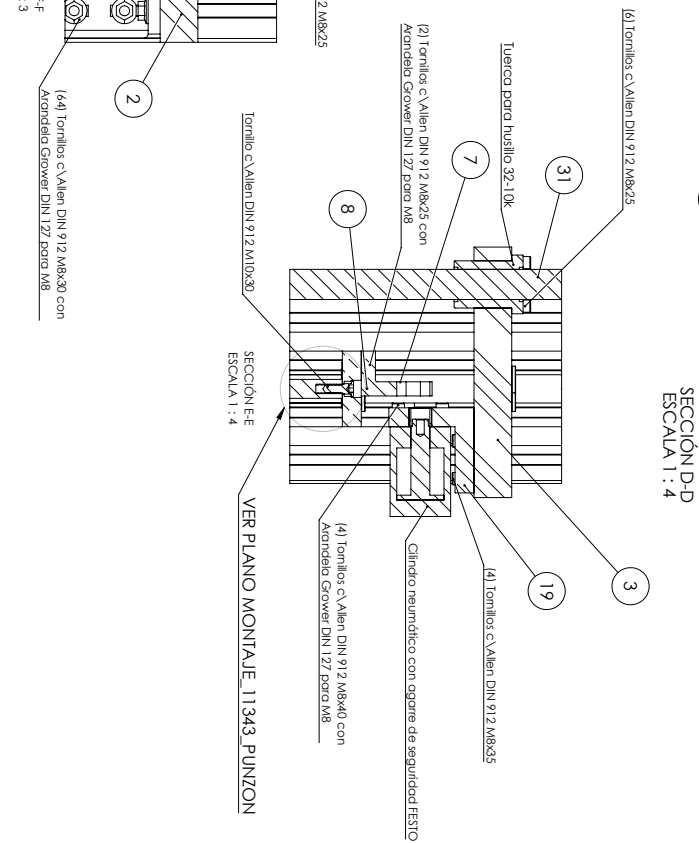
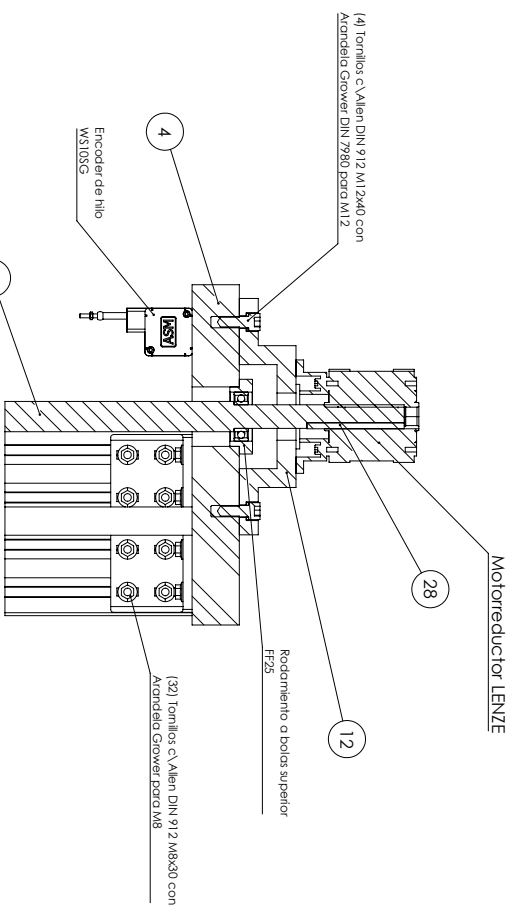
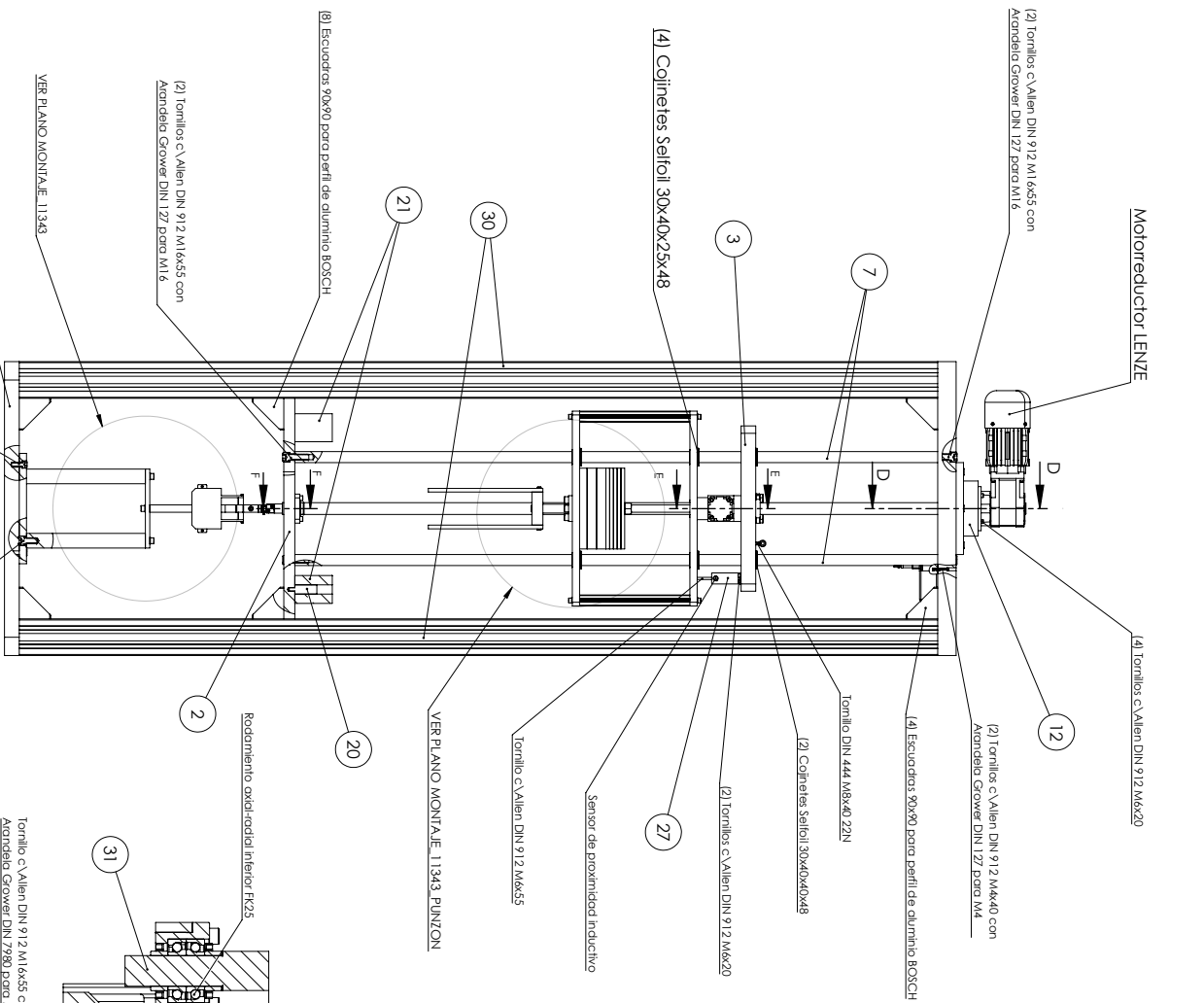
MATERIAL	UNE EN ISO 22768-1	MontajeBase6603
TOLERANCIA		

DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	MONTAJE DE BASE PARA ENSAYO
COMPROBADO	M.GARCIA	04/20	

ESCALA:	FIRMA	I.C.A.I.	Nº DE LAMINA:
1:5			



MATERIAL		MONTAJE TOTAL_6603	
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768-f	NOMBRE	MONTAJE PARA ENSAYO DE PLÁSTICOS Y
DIBUJADO	M.GARCIA	FECHA	MATERIALES COMPLETOS
COMPROBADO		04/20	
ESCALA:	1:10	FIRMA	Nº DE LÁMINA:
			1



MATERIAL	MONTAJE TOTAL 11343		
TOLERANCIA	UNE EN ISO 22768 f	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	COMPROBADO	M.GARCIA	04/20
ESCALA:	1:10	FIRMA	Nº DE LÁMINA:
			2

DOCUMENTO III

PRESUPUESTO

Capítulo 1

Presupuestos

Habiendo diseñado el equipo, es necesario realizar un presupuesto con el fin de saber el coste de fabricación del equipo. Para ello, se obtendrá el coste del material de fabricación de las piezas, así como el mecanizado de los materiales para fabricar las distintas piezas. Cabe recordar que hay dos dispositivos, uno para el ensayo según la norma UNE EN ISO 6603 y otro para el ensayo según la norma UNE EN ISO 11343, y se estudiarán por separado.

Una vez establecido el coste de las piezas, habrá que añadir el coste de aquellos elementos comerciales que forman parte del equipo, ya sea el sistema de control, la instrumentación, el circuito neumático, etc...

1.1 Coste de despiece

El coste de despiece se calculará de la siguiente forma. Se considera el coste del material por peso en Kilogramos. Se calculará el coste de adquisición del material de cada pieza, al que luego debe añadirse el coste de mecanizado. El coste de mecanizado se medirá por hora de trabajo, el cual unitariamente deberá multiplicarse por las horas de mecanizado que requiere la pieza para ser fabricada.

Dependiendo del tipo de material a utilizar, el coste se verá incrementado o disminuido, ya que se utilizan para la fabricación de piezas, distintos tipos de materiales. (ver **4.2.1 Selección de materiales**)

Dado que las piezas llevan incorporados tratamientos térmicos, para potenciar sus propiedades, o tratamientos de acabado para mejorar su resistencia a la corrosión o su aspecto, deberán tenerse en cuenta el coste de estos tratamientos en la fabricación de las piezas. Dicho esto, pueden agruparse los costes de los materiales por kilogramo en la siguiente tabla:

MATERIAL	COSTE/UD/(€/kg)	TRATAMIENTOS	COSTE/UD/(€/kg €/ML)
Acero C-45/15	1,20 €	Pavonado	0,60 €
Acero 42CrMo4	1,50 €	Temple + pavonado	3,00 €
Acero 90MnCrV8	1,80 €	Pintura	0,60 €
Acero inox. austenítico	3,21 €	Cromado	20,00 €
Duraluminio EN AW 6061	4,50 €		

Tabla 6: Costes unitarios de materiales y tratamientos térmicos

Como puede apreciarse, dependiendo del tipo de material, se tendrá un coste unitario distinto, al igual que ocurre en la sección de tratamientos, ya sean de acabado o térmicos. Se seguirá este proceso en ambos dispositivos, añadiendo el coste de tornillería, para así poder obtener un coste de despiece bastante próximo a la realidad.

Comenzando primeramente por el coste de adquisición de materiales, para las piezas generales y el dispositivo para ensayo por impacto de polímeros y materiales compuestos, se obtiene lo siguiente:

Nº DE PLANO	DESCRIPCION	CANTIDAD	MATERIAL	COSTE MATERIAL +TT	COSTE MATERIAL/UD
			kg/ml	€/kg // €/ml	€
1000.001_1	Placa base	1	193,93	1,8	349,07 €
1000.001_2	Base de ensayo	1	42,39	1,8	76,30 €
1000.001_3	Placa elevadora	1	42,25	1,8	76,05 €
1000.001_4	Placa superior	1	117,75	1,8	211,95 €
1000.001_5	Yunque superior	2	4,08	2,1	8,57 €
1000.001_6	Yunque inferior	2	5,44	2,1	11,42 €
1000.001_7	Guía	2	1,95	20	39,00 €
1000.001_8	Enganche	1	1,07	1,8	1,93 €
1000.001_9	Placa superior de marco	1	2,12	4,5	9,54 €
1000.001_10	Placa inferior de marco	1	2,12	4,5	9,54 €
1000.001_11	Pieza de unión marco-punzón	1	0,71	1,8	1,28 €

1000.001_12	Campana	1	9,74	1,8	17,53 €
1000.001_13	Alargador	1	1,06	1,8	1,91 €
1000.001_14	Pieza sujeción de punzón	1	0,29	1,8	0,52 €
1000.001_15	Columna para yunques	2	15,16	1,8	27,29 €
1000.001_16	Pieza de anclaje a base	1	6,71	1,8	12,08 €
1000.001_17	Base para yunques	1	12,6	1,8	22,68 €
1000.001_18	Punzón	1	0,09	3,6	0,32 €
1000.001_19	Soporte para cilindro	1	1,56	1,8	2,81 €
1000.001_20	Soporte para resorte elastomérico	2	0,24	1,8	0,43 €
1000.001_21	Resorte elastomérico	2			-
1000.001_22	Varilla roscada para masas	1	-	-	-
1000.001_23	Masas 5 Kg	1	5	1,8	9,00 €
1000.001_24	Masas 1 Kg	5	1	1,8	1,80 €
1000.001_25	Masas 2,5 Kg	2	2,5	1,8	4,50 €
1000.001_26	Masas 2 Kg	1	2	1,8	3,60 €
1000.001_27	Chapa para sensor	1	0,052	1,8	0,09 €
1000.001_28	Chaveta cortada	1	0,03	1,2	0,04 €
1000.001_29	Perfil aluminio 30x30x300	2	-	-	-
1000.001_30	Perfil aluminio 100x200x2500	2	-	-	-
1000.001_31	Conjunto husillo-tuerca	1	-	-	-

Tabla 7: Costes de materiales por unidad para cada pieza

Es preciso decir que existen algunas piezas no tienen un coste de material calculado. Esto se debe a que las piezas se compran ya fabricadas, como pueden ser el conjunto de husillo, los perfiles de aluminio, o la varilla roscada. El hecho de que estas piezas no se agrupen en el conjunto de piezas comerciales se debe a que posteriormente llevan mecanizado, y por tanto, un plano propio.

En lo referente al mecanizado, se ha estimado que el precio medio por hora de mecanizado en torno y fresa es de 35 €/ h. Considerando un tiempo de mecanizado para cada pieza según su complejidad, se obtiene lo siguiente:

Nº DE PLANO	DESCRIPCION	CANTIDAD	TIEMPO MEC	COSTE MEC	COSTE MEC/UD
			horas	€/hora	€
1000.001_1	Placa base	1	5	35	175,00 €
1000.001_2	Base de ensayo	1	6	35	210,00 €
1000.001_3	Placa elevadora	1	6	35	210,00 €
1000.001_4	Placa superior	1	6	35	210,00 €
1000.001_5	Yunque superior	2	1,5	35	52,50 €
1000.001_6	Yunque inferior	2	2	35	70,00 €
1000.001_7	Guía	2	0,5	35	17,50 €
1000.001_8	Enganche	1	1,5	35	52,50 €
1000.001_9	Placa superior de marco	1	1,5	35	52,50 €
1000.001_10	Placa inferior de marco	1	1,5	35	52,50 €
1000.001_11	Pieza de unión marco-punzón	1	1,5	35	52,50 €
1000.001_12	Campana	1	4	35	140,00 €
1000.001_13	Alargador	1	2,5	35	87,50 €
1000.001_14	Pieza sujeción de punzón	1	2,5	35	87,50 €
1000.001_15	Columna para yunques	2	1	35	35,00 €
1000.001_16	Pieza de anclaje a base	1	1,5	35	52,50 €
1000.001_17	Base para yunques	1	4	35	140,00 €
1000.001_18	Punzón	1	3	35	105,00 €
1000.001_19	Soporte para cilindro	1	4	35	140,00 €

1000.001_20	Soporte para resorte elastomérico	2	1,5	35	52,50 €
1000.001_21	Resorte elastomérico	2	0	0	- €
1000.001_22	Varilla roscada para masas	1	0	0	- €
1000.001_23	Masas 5 Kg	1	2	35	70,00 €
1000.001_24	Masas 1 Kg	5	2	35	70,00 €
1000.001_25	Masas 2,5 Kg	2	2	35	70,00 €
1000.001_26	Masas 2 Kg	1	2	35	70,00 €
1000.001_27	Chapa para sensor	1	1	35	35,00 €
1000.001_28	Chaveta cortada	1	0,5	35	17,50 €
1000.001_29	Perfil aluminio 30x30x300	2			- €
1000.001_30	Perfil aluminio 100x200x2500	2			- €
1000.001_31	Conjunto husillo-tuerca	1			- €

Tabla 8: Costes de mecanizado por unidad para cada pieza

Cabe destacar que las piezas comerciales que requieren mecanizado no llevan el coste de dicho mecanizado incluido en la Tabla 8: Costes de mecanizado por unidad para cada pieza, puesto que el coste de mecanizado va incluido en el precio de compra.

Una vez considerados ambos costes, se obtiene el coste por unidad de cada pieza, y por tanto, el subtotal correspondiente, teniendo en cuenta la cantidad de piezas de cada tipo que se necesitan para el equipo.

Nº DE PLANO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTE MATERIAL/UD	COSTE MEC/UD	COSTE UD	SUBTOTAL
			€	€	€	€
1000.001_1	Placa base	1	349,07 €	175,00 €	524,07 €	524,07 €
1000.001_2	Base de ensayo	1	76,30 €	210,00 €	286,30 €	286,30 €
1000.001_3	Placa elevadora	1	76,05 €	210,00 €	286,05 €	286,05 €

1000.001_4	Placa superior	1	211,95 €	210,00 €	421,95 €	421,95 €
1000.001_5	Yunque superior	2	8,57 €	52,50 €	61,07 €	122,14 €
1000.001_6	Yunque inferior	2	11,42 €	70,00 €	81,42 €	162,85 €
1000.001_7	Guía	2	39,00 €	17,50 €	56,50 €	113,00 €
1000.001_8	Enganche	1	1,93 €	52,50 €	54,43 €	54,43 €
1000.001_9	Placa superior de marco	1	9,54 €	52,50 €	62,04 €	62,04 €
1000.001_10	Placa inferior de marco	1	9,54 €	52,50 €	62,04 €	62,04 €
1000.001_11	Pieza de unión marco-punzón	1	1,28 €	52,50 €	53,78 €	53,78 €
1000.001_12	Campana	1	17,53 €	140,00 €	157,53 €	157,53 €
1000.001_13	Alargador	1	1,91 €	87,50 €	89,41 €	89,41 €
1000.001_14	Pieza sujeción de punzón	1	0,52 €	87,50 €	88,02 €	88,02 €
1000.001_15	Columna para yunques	2	27,29 €	35,00 €	62,29 €	124,58 €
1000.001_16	Pieza de anclaje a base	1	12,08 €	52,50 €	64,58 €	64,58 €
1000.001_17	Base para yunques	1	22,68 €	140,00 €	162,68 €	162,68 €
1000.001_18	Punzón	1	0,32 €	105,00 €	105,32 €	105,32 €
1000.001_19	Soporte para cilindro	1	2,81 €	140,00 €	142,81 €	142,81 €
1000.001_20	Soporte para resorte elastomerico	2	0,43 €	52,50 €	52,93 €	105,86 €
1000.001_21	Resorte elastomerico	2	-	- €	90,00 €	180,00 €
1000.001_22	Varilla roscada para masas	1	-	- €	20,00 €	20,00 €
1000.001_23	Masas 5 Kg	1	9,00 €	70,00 €	79,00 €	79,00 €
1000.001_24	Masas 1 Kg	5	1,80 €	70,00 €	71,80 €	359,00 €
1000.001_25	Masas 2,5 Kg	2	4,50 €	70,00 €	74,50 €	149,00 €
1000.001_26	Masas 2 Kg	1	3,60 €	70,00 €	73,60 €	73,60 €
1000.001_27	Chapa para sensor	1	0,09 €	35,00 €	35,09 €	35,09 €
1000.001_28	Chaveta cortada	1	0,04 €	17,50 €	17,54 €	17,54 €

1000.001_29	Perfil aluminio 30x30x300	2	-	- €	40,00 €	80,00 €
1000.001_30	Perfil aluminio 100x200x2500	2	-	- €	503,00 €	1.006,00 €
1000.001_31	Conjunto husillo-tuerca	1			450,00 €	450,00 €

Tabla 9: Costes unitarios y subtotales para cada pieza

Por tanto, si se suma el subtotal de cada pieza, se obtiene que el coste total de piezas generales más el dispositivo para ensayos por impacto de polímeros y materiales compuestos es de:

$$\text{Coste Total}_{G+D1} : 5.638,67 \text{ €}$$

Una vez calculado el coste total de las piezas generales y del dispositivo de ensayos por impacto para polímeros y materiales compuestos, se calcula el coste del dispositivo adicional del que dispondrá el equipo para realizar los ensayos de adhesivos. El grupo de piezas que forman el dispositivo pertenecen a la familia de piezas 1000.002 – X, que se pueden encontrar en los planos. (ver **DOCUMENTO II**).

Para realizar el cálculo de costes de las piezas del dispositivo del ensayo de adhesivos, se seguirá el mismo proceso que aquel utilizado en el coste anterior. Se calculará el coste del material y tratamientos térmicos y de acabado, además de los costes de mecanizado.

Dicho esto, se obtienen los siguientes costes:

Nº DE PLANO	DESCRIPCION	CANTIDAD	MATERIAL	COSTE MATERIAL +TT	COSTE MATERIAL/UD
1000.002_1	Cuña para ensayos	1	0,02	2,1	0,04 €
1000.002_2	Soporte	1	0,45	3,21	1,44 €
1000.002_3	Separador	2	0,04	1,8	0,07 €
1000.002_4	Soporte de punzón	1	0,5	1,8	0,90 €
1000.002_5	Base	1	0,78	1,8	1,40 €
1000.002_6	Placa lateral	2	0,65	3	1,95 €
1000.002_7	Columna	1	4,13	1,8	7,43 €
1000.002_8	Soporte para guías	1	0,18	1,8	0,32 €

1000.002_9	Base para columna	1	1,56	1,8	2,81 €
1000.002_10	Soporte para probetas	1	0,08	1,8	0,14 €
1000.002_11	Brida célula	1	0,085	1,8	0,15 €
1000.002_12	Columna auxiliar	2	4,96	1,8	8,93 €
1000.002_13	Pasador guía	2	0,01	1,8	0,02 €

Tabla 10: Costes de materiales y tratamientos por unidad para cada pieza de dispositivo de adhesivos

Una vez calculados los costes de material y tratamientos, se calculan los costes de mecanizado para cada pieza, resultando en la siguiente tabla:

Nº DE PLANO	DESCRIPCION	CANTIDAD	TIEMPO MEC	COSTE MEC	COSTE MEC/UD
1000.002_1	Cuña para ensayos	1	3	35	105,00 €
1000.002_2	Soporte	1	1	35	35,00 €
1000.002_3	Separador	2	0,5	35	17,50 €
1000.002_4	Soporte de punzón	1	1,5	35	52,50 €
1000.002_5	Base	1	1	35	35,00 €
1000.002_6	Placa lateral	2	0,5	35	17,50 €
1000.002_7	Columna	1	2	35	70,00 €
1000.002_8	Soporte para guías	1	2	35	70,00 €
1000.002_9	Base para columna	1	0,5	35	17,50 €
1000.002_10	Soporte para probetas	1	0,5	35	17,50 €
1000.002_11	Brida célula	1	1,5	35	52,50 €
1000.002_12	Columna auxiliar	2	1	35	35,00 €
1000.002_13	Pasador guía	2	0,5	35	17,50 €

Tabla 11: Costes de mecanizado por unidad para cada pieza de dispositivo de adhesivos

Agrupando los costes de mecanizado y los costes de material y tratamientos térmicos, se obtiene el coste total por unidad y el subtotal de cada pieza:

Nº DE PLANO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTE MATERIAL/UNIDAD	COSTE MEC/UNIDAD	COSTE UD	SUBTOTAL
			€	€	€	€
1000.002_1	Cuña para ensayos	1	0,04 €	70,00 €	70,04 €	70,04 €
1000.002_2	Soporte	1	1,44 €	35,00 €	36,44 €	36,44 €
1000.002_3	Separador	2	0,07 €	17,50 €	17,57 €	35,14 €
1000.002_4	Soporte de punzón	1	0,90 €	52,50 €	53,40 €	53,40 €
1000.002_5	Base	1	1,40 €	35,00 €	36,40 €	36,40 €
1000.002_6	Placa lateral	2	1,95 €	17,50 €	19,45 €	38,90 €
1000.002_7	Columna	1	7,43 €	70,00 €	77,43 €	77,43 €
1000.002_8	Soporte para guías	1	0,32 €	70,00 €	70,32 €	70,32 €
1000.002_9	Base para columna	1	2,81 €	17,50 €	20,31 €	20,31 €
1000.002_10	Soporte para probetas	1	0,14 €	17,50 €	17,64 €	17,64 €
1000.002_11	Brida célula	1	0,15 €	52,50 €	52,65 €	52,65 €
1000.002_12	Columna auxiliar	2	8,93 €	35,00 €	43,93 €	87,86 €
1000.002_13	Pasador guía	2	0,02 €	17,50 €	17,52 €	35,04 €

Tabla 12: Costes unitarios y subtotales para cada pieza

Por tanto, si se suma el subtotal de cada pieza, se obtiene que el coste total de piezas para el dispositivo de ensayos de adhesivos es de:

$$\text{Coste Total}_{D2} = 631,59 \text{ €}$$

Sumando ambos costes, se obtiene que el coste total es de:

$$\text{Coste Total}_{G+D1} + \text{Coste Total}_{D2} = 6270,26 \text{ €}$$

A este coste de piezas hay que añadirle la pérdida de material debida a mecanizado. Se ha calculado el volumen necesario para cada material y el volumen de cada pieza, pudiéndose así calcular el volumen de material que se pierde en la fabricación. El volumen perdido de material multiplicado por su precio resulta en un coste de aproximadamente 100 €.

Además de esto, es necesario considerar el coste de tornillería necesario para fijar las piezas. La cantidad de tornillos y arandelas necesarias se puede ver en el documento de planos. Las escuadras tienen un precio de 90 € aproximadamente y la tornillería restante ronda los 210 €. Se considera un coste de tornillería de 300 €. Por tanto, el coste de despiece será,

$$\begin{aligned} \text{Coste Despiece} &= \text{Coste Piezas} + \text{Coste Pérdida de Material} + \text{Coste Tornillería} \\ &= 6270,26 + 100 + 300 = 6670,26 \text{ €} \end{aligned}$$

1.2 Coste de equipo

Una vez calculado el coste de despiece, se pasa a realizar los cálculos globales de todo el equipo. En estos cálculos se tendrán en cuenta los elementos restantes del equipo. Además del coste de despiece, deberá considerarse los siguientes elementos:

- Sistema de control mediante PLC
- Motorreductor
- Circuito neumático, el cual consta de las electroválvulas conectadas al sistema de control, el cilindro neumático, el reductor de presión, y el bloque de mano
- Instrumentación, que consta del sensor piezoeléctrico y el sistema de adquisición de datos con amplificador de señal y software para poder recoger las curvas fuerza-tiempo y fuerza-deformación.

Considerando estos elementos, se obtienen los siguientes costes:

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	COSTE UD	SUBTOTAL
Zona de ensayos + dispositivos	1	6.670,26 €	6.670,26 €
Motorreductor	1	622,00 €	622,00 €
Circuito neumático	1	360,00 €	360,00 €
Cuadro eléctrico+ Sistema de control	1	1.200,00 €	1.200,00 €
Sensor piezoeléctrico 50 kN U93	1	786,60 €	786,60 €
Quantum MX410B+CATMAN	1	4523,35 €	4523,35 €
Amplificador CMA 158	1	437,95 €	437,95 €

Tabla 13: Costes totales de elementos del equipo

Por tanto, el coste total del equipo es el siguiente:

$$\text{COSTE TOTAL DEL EQUIPO} = 14599,56 \text{ €}$$

Será necesario un presupuesto de 14599,56 € para poder fabricar el equipo en su totalidad.