

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE
SUJECCIÓN Y ACOPLAMIENTO DEL BANCO DE
ENSAYO DEL LEVC***

Alumno: Alonso Gascón, Iker

Director: Albaina Lopez de Armentia, Iñigo

Curso: 2019-2020

Fecha: Bilbao, 17, Julio, 2020

RESUMEN

El actual sistema de sujeción y acoplamiento del banco de ensayo del LEVC garantiza un alto nivel de calidad de los ensayos. No obstante, este sistema conlleva largos tiempos de montaje y hace uso de elementos que provocan a menudo fugas de agua o el desalineamiento del eje de ensayo. Cuando esto ocurre, los tiempos de preparación del ensayo aumentan notablemente reduciendo la eficiencia del proceso.

El objetivo principal del proyecto es reducir al máximo los tiempos de preparación del ensayo y optimizar el sistema, subsanando el tipo de problemas antes mencionados. Para ello, se han analizado los diferentes métodos empleados por los centros de ensayo de contadores nacionales. No obstante, ninguno de ellos es aplicable al LEVC. Se toma la decisión, por tanto, de realizar el diseño de un nuevo sistema de sujeción y acoplamiento que suponga una mejora para el LEVC utilizando elementos más sencillos y eficientes.

El nuevo sistema de acoplamiento consta de 6 tamaños de casquillo. Mediante su uso tanto las actuales secciones de tubería como las juntas planas, se sustituyen por unas tuberías de PVC de sección constante y unas juntas tóricas acopladas a estos. De esta forma, se reduce el número de piezas empleadas y se mejora el sellado del sistema evitando las fugas.

Por su parte, el actual sistema de sujeción se cambia por un conjunto de elementos compuesto por abrazaderas, una guía carril y distintas piezas que fijan correctamente la sujeción al banco de ensayos. El diseño de este nuevo sistema permite extraer fácilmente las tuberías e impide el desalineamiento de las piezas que forman el banco de ensayo.

La implementación de estos dos diseños ofrece la posibilidad de crear parte de las piezas en el mismo laboratorio mediante el uso de una impresora 3D, reduciendo así los costes de producción.

Todos los diseños se realizan mediante el software AutoCAD. Adicionalmente, para garantizar unos diseños de calidad y reducir los ensayos de prueba error necesarios para validar los mismos, se realiza un estudio de elementos finitos de todos los casquillos. Mediante dicho estudio se obtiene información relevante de las zonas críticas de cada pieza, pudiendo modificar sus geometrías para optimizar los diseños.

Palabras clave: Casquillo, sujeción, optimización, centro de ensayo y contador de agua.

LABURPENA

Gaur egungo LEVC proba bankuaren estutze eta akoplamendu sistemak proben kalitate maila altua bermatzen dituzte. Hala ere, sistema honek muntaia denbora luzeak dakartza eta erabiltzen diren zenbat elementu ur-ihesak edo probaketa ardatza mugitzea eragiten dituzte. Hori gertatzen denean, proben konfigurazio denborak nabarmen handitzen dira, prozesuen eraginkortasuna murriztuz.

Proiektuaren helburu nagusiak probak prestatzeko denbora ahalik eta gehien murriztea eta sistema optimizatzea dira. Hauek lortzeko lehen aipatutako arazok zuzendu behar dira. Horretarako, kontulari zentro nazionalek erabiltzen dituzten metodo desberdinak aztertu dira. Hala ere, hoiien metuduak es dira aplikagarria LEVC laborategian. Beraz, estutze eta akoplamendu sistema berri baten diseinua egingo da, hobekuntza izango baita LEVCrentzat elementu sinpleagoak eta eraginkorragoak erabiliz.

Akoplamendu sistema berria 6 zorro tamaina dezberdinez osatuta dago. Oraingo hodian atalak eta juntak lauak erabiliz, PVC hodi etengabeak eta O eraztunak ordezkatzeko dira. Horrela, erabilitako piezen kopurua murrizten da eta zigilu sistema hobetzen da, ihesak ekiditeko.

Estutze sistema, tutu euskarriaz, trenbide-gidaz eta piezak ondo finkatzeko elementuez osatuta dago. Sistema berri honen diseinuak hodian erauzketa erraza ahalbidetzen du eta probaketa ardatza mugitzea ekiditen du.

Bi diseinu hauek laborategi berean piezen zati bat 3D inprimagailu baten bidez sortzeko aukera eskaintzen dute, eta horrela, ekoizpen kostuak murrizten dira.

Diseinu guztiak AutoCAD softwarea erabiliz egiten dira. Honetaz gain, kalitatezko diseinuak bermatzeko eta horiek balioztatzeko beharrezko diren akats probak murrizteko asmoz, zorro guztiak elementu finituen bidez ikertuko dira. Ikerketa honen bidez, pieza bakoitzaren arlo kritikoen informazioa lortzen da. Behar bada haren geometriak alda daitezke diseinuak optimizatzen.

Gako-hitzak: Zorro, finkapena, optimizazioa, proba zentrua y ur kontagailua.

ABSTRACT

The current clamping and coupling system of the LEVC test bench guarantees a high level of test quality. However, this system involves long assembly times and makes use of elements that often cause water leaks or misalignment of the test shaft. When this occurs, test set-up times are dramatically increased, reducing process efficiency.

The main objective of the project is to reduce test preparation times as much as possible and optimize the system, correcting the type of problems mentioned above. For this, the different methods used by the national accountant test centers have been analyzed. However, none of them is applicable to LEVC. The decision is therefore made to design a new clamping and coupling system that will improve the LEVC using simpler and more efficient elements.

The new coupling system consists of 6 bush sizes. Nowadays used pipe sections and flat gaskets, are replaced by constant section PVC pipes and O-rings attached to the bushes. In this way, the number of parts used is reduced and the sealing of the system is improved, preventing leaks.

For its part, the current clamping system is replaced by a set of elements consisting of clamps, a rail guide and different parts that correctly fix the clamp to the test bench. The design of this new system allows the pipes to be easily removed and prevents misalignment of the parts that make up the test bench.

The implementation of these two designs offers the possibility to create some pieces in the same laboratory through the use of a 3D printer, thus reducing production costs.

All designs are made by using the AutoCAD software. In addition to this, in order to guarantee quality designs and reduce the error tests necessary to validate them, a finite element study of all the bushings is carried out. Through this study, relevant information is obtained from the critical areas of each piece, and its geometries can be modified to optimize the designs.

Key words: Bushings, holding, optimization, testing center y water meter.

LISTA DE ACRÓNIMOS

LEVC: Laboratorio de Ensayo y Verificación de Contadores

DN: Diámetro Nominal

ENAC: Entidad Nacional de Acreditación

EF: Elementos Finitos

PVC: Policloruro de vinilo

ABS: Acrilonitrilo butadieno estireno

ÍNDICE GENERAL

EI PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

DOCUMENTO N° 1, MEMORIA

DOCUMENTO N° 2, PLANOS

I MEMORIA

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	CONTEXTO	1
2.1	MÉTODOS DE MONTAJE DE UN BANCO DE ENSAYO	4
2.1.1	Método de montaje de fabricantes de contadores	5
2.1.2	Método empleado por instituciones de enseñanza	6
2.1.3	Método de montaje del LEVC	7
3	OBJETIVO	9
3.1	OBJETIVO GENERAL	9
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4	ALCANCE	9
5	BENEFICIOS	10
5.1	AUMENTO EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA	10
5.2	BENEFICIOS ECONÓMICOS	10
5.3	BENEFICIOS TÉCNICOS	10
5.4	BENEFICIOS PARA EL OPERARIO	11
6	FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE ENSAYOS	11
6.1	PARTES QUE COMPONEN LA SECCIÓN DE ENSAYO	11
6.2	PROCESO DE SELLADO DEL SISTEMA	12
7	DISEÑO DE LOS CASQUILLOS	12
7.1	DISEÑO GENERAL	13
7.1.1	Dimensiones vaciado tubería	14
7.1.2	Dimensiones vaciado contador	14
7.1.3	Diseño hendiduras	15
7.2	PROCESO DE DISEÑO	17
7.3	DIMENSIONES DE CASQUILLO	19
7.3.1	Casquillo DN13 - G 1/2 X 14H	19
7.3.2	Casquillo DN15 - G 3/4 X 14H	20
7.3.3	Casquillo DN20 - G 1" X 11H	20
7.3.4	Casquillo DN25 - G 1"1/4 X 11H	21
7.3.5	Casquillo DN30 - G 1"1/2 X 11H	21
7.3.6	Casquillo DN40 - G 2" X 11H	22

7.4	SELECCIÓN DE LAS JUNTAS TÓRICAS	22
7.4.1	Características	22
7.4.2	Material	23
7.5	FABRICACIÓN DE LOS CASQUILLOS	24
8	DISEÑO SISTEMA DE SUJECIÓN	25
8.1	PROPUESTA DE DISEÑO	25
8.2	ELEMENTOS DE LA SUJECIÓN	27
8.2.1	Apoyo	27
8.2.2	Guía carril	28
8.2.3	Abrazadera comercial	28
8.2.4	Tornillo Allen	30
8.2.5	Soporte guía carril	30
8.3	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA SUJECIÓN	31
8.3.1	Elementos comerciales	32
8.3.1.1	Guía carril	32
8.3.1.2	Abrazadera	33
8.3.1.3	Tornillo Allen	34
8.3.2	Elementos no comerciales	35
8.3.2.1	Pieza Apoyo	35
8.3.2.2	Conjunto piezas soporte guía carril	36
8.4	REPRESENTACIÓN DE UNIÓN ENTRE PIEZAS	38
8.4.1	Unión Abrazadera – Apoyo	38
8.4.2	Unión Apoyo - Guía carril	38
9	ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CASQUILLOS. . . .	39
9.1	INTRODUCCIÓN	39
9.2	ALCANCE DEL ESTUDIO	40
9.3	PARÁMETROS DE ESTUDIO	40
9.3.1	Material	40
9.3.2	Geometría de la pieza	42
9.3.3	Apoyos	43
9.3.4	Cargas	43
9.3.5	Mallado	45

9.3.1	Cálculos	46
9.4	ESTUDIO DE LOS CASQUILLOS	46
9.4.1	Casquillo DN13 - G 1/2 X 14H	47
9.4.2	Casquillo DN15 - G 3/4 X 14H	48
9.4.3	Casquillo DN20 - G 1" X 11H	49
9.4.4	Casquillo DN25 - G 1"1/4 X 11H	50
9.4.5	Casquillo DN30 - G 1"1/2 X 11H	51
9.4.6	Casquillo DN40 - G 2" X 11H	52
9.5	CONCLUSIONES	53
10	PROCESO DE FABRICACIÓN MEDIANTE IMPRESORA 3D	54
10.1	PARÁMETROS DE IMPRESIÓN	55
10.2	PUESTA A PUNTO DE LA MÁQUINA IMPRESORA	55
11	METODOLOGÍA	55
11.1	DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS	55
11.2	DIAGRAMA DE GANTT	56
12	ASPECTOS ECONÓMICOS	57
12.1	ANÁLISIS DEL PROYECTO	57
13	CONCLUSIONES	58
14	BIBLIOGRAFÍA	59

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Croquis instalación centro de ensayos	3
Imagen 2: Banco de ensayos Contazara	5
Imagen 3: Banco de ensayos Hydroconta	5
Imagen 4: Banco de ensayo de muestra	6
Imagen 5: Banco de ensayos del LEVC	7
Imagen 6: Desalineamiento de sección de ensayo	8
Imagen 7: Representación unión entre casquillo, tubería y contador	11
Imagen 8: Diseño casquillo	13
Imagen 9: Diseño casquillo con corte	13
Imagen 10: Representación de acoplamiento entre casquillo – tubería	14
Imagen 11: Representación de acoplamiento entre casquillo – contador	15
Imagen 12: Muestra de amplitud de hendidura	16
Imagen 13: Acotación de junta tórica	16
Imagen 14: Redondeo aristas hendidura	17
Imagen 15: Ejemplo contenido archivo PLANO DN15	17
Imagen 16: Diseño casquillo con corte	18
Imagen 17: Cotas de referencia de los casquillos	19
Imagen 18: Grafico de interferencia de las juntas	24
Imagen 19: Representación banco de ensayo con nueva sujeción y casquillos	26
Imagen 20: Geometría apoyo	27
Imagen 21: Perfil guía carril	28
Imagen 22: Propuesta de abrazadera	28
Imagen 23: Abrazadera seleccionada	29
Imagen 24: Método de apertura de la abrazadera	29
Imagen 25: Geometría tornillo Allen	30
Imagen 26: Geometría Soporte guía carril	31
Imagen 27: Dimensiones guía carril	32
Imagen 28: Guía carril	33
Imagen 29: Dimensiones abrazadera	33
Imagen 30: Medidas norma DIN 912	34

Imagen 31: Dimensión tornillo Allen	34
Imagen 32: Dimensión alzado Apoyo	35
Imagen 33: Dimensión planta Apoyo	36
Imagen 34: Dimensión soporte guía carril	37
Imagen 35: Unión abrazadera – Apoyo	38
Imagen 36: Unión guía Carril – Apoyo	38
Imagen 37: Valores de E y v para ABS	41
Imagen 38: Valores de E y v para Resina	41
Imagen 39: Geometría pieza a estudiar	42
Imagen 40: Apoyo empotramiento	43
Imagen 41: Cargas transmitidas por las juntas	44
Imagen 42: Carga ejercida por el agua	44
Imagen 43: Zonas para el mallado	45

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones de casquillo DN13 - $G 1/2 \times 14H$	19
Tabla 2: Dimensiones de casquillo DN15- $G 3/4 \times 14H$	20
Tabla 3: Dimensiones de casquillo DN20- $G 1" \times 11H$	20
Tabla 4: Dimensiones de casquillo DN25- $G 1"1/4 \times 11H$	21
Tabla 5: Dimensiones de casquillo DN30- $G 1"1/2 \times 11H$	21
Tabla 6: Dimensiones de casquillo DN40- $G 2" \times 11H$	22
Tabla 7: Referencia juntas tóricas seleccionadas- $G 1/2 \times 14H$	23
Tabla 8: Módulo de las cargas aplicadas	45
Tabla 9: Tamaño elementos	46
Tabla 10: Resultados con código de colores	53
Tabla 11: Diagrama de Gantt	56
Tabla 12: Presupuesto del proyecto	57

1 INTRODUCCIÓN

En esta introducción se ofrece un resumen del contenido de cada sección del proyecto. Comenzando por el contexto, en el que se explica a grandes rasgos qué es un contador de agua, para qué sirve y qué es un centro de ensayo de contadores. Por último, se realiza una comparación entre el sistema y método de ensayo que utilizan la mayoría de centros de ensayo a nivel nacional con el empleado en el LEVC.

En los objetivos, se desarrolla qué se quiere lograr con las soluciones propuestas en el proyecto; y en el alcance de qué forma y hasta qué punto se pueden lograr dichos objetivos. Seguido de este, va el apartado donde se muestran todos los beneficios que aporta la implementación de los diferentes casquillos y el nuevo sistema de sujeción para LEVC y sus operarios.

En los siguientes apartados se muestra el funcionamiento propio del banco de ensayos actual, así como la manera de sellar el sistema y el proceso a seguir para imprimir las piezas en una máquina 3D.

En los dos siguientes apartados se muestran el diseño general que tendrán los casquillos y una representación gráfica de la sujeción una vez implantada en el banco de ensayos. También se muestran todas las piezas que componen ambos conjuntos de piezas.

Finalmente, en el siguiente apartado se reflejan las conclusiones obtenidas tras llevar a cabo todo el proceso de diseño de las diferentes piezas. La memoria concluye con el apartado de Bibliografía, en el que se indican todas las referencias de sitios web, libros o catálogos de donde se ha obtenido información para la realización del proyecto.

A continuación de la memoria, vienen los documentos de anexos, planos y presupuesto. En los tres documentos de anexos se muestra detalladamente todo el proceso de diseño de las piezas.

2 CONTEXTO

El sistema de abastecimiento de agua de un núcleo urbano o industrial se divide en tres partes: obtención del agua, tratamiento y transporte hasta destino. Esta última se da por finalizada cuando el agua llega a la red de tuberías del destinatario. Las empresas u organismos encargados de hacer funcionar todo el sistema han de cobrar en función de la cantidad de agua que cada usuario utilice. Para ello se hace uso de contadores de agua.

Un contador de agua es un instrumento que mide el volumen de agua que fluye por su interior. Por lo general, se colocan a la entrada de la red de tuberías de destino, de esta forma medirá todo el volumen de agua que consume el destinatario. Los datos obtenidos por los contadores no solo sirven para realizar el cobro por la cantidad de agua empleada, sino que también son usados para obtener información relevante acerca de la eficiencia del sistema de transporte de agua.

La tecnología de estos instrumentos de medición ha evolucionado mucho desde sus inicios allá por el siglo XIX en Inglaterra durante la revolución industrial. Hoy en día los contadores son mucho más sofisticados, con geometrías y materiales más eficientes y resistentes. No obstante, como todo sistema mecánico puede tener desperfectos de fábrica que deriven en unas mediciones erróneas o se pueden estropear con el uso. Por ello, las empresas fabricantes de contadores deben hacer que sus productos cumplan dos requisitos: que sus contadores realicen mediciones dentro de unos parámetros de calidad y precisión y que dichas mediciones se mantengan durante un largo periodo de tiempo (vida útil).

Es en este punto donde aparece la figura de los laboratorios de ensayo. La función de estos centros es sencilla, se encargan de testear los contadores y comparar los resultados obtenidos con los proporcionados por las empresas fabricantes. De esta forma se comprueba si los contadores son válidos o no, y en caso de no serlo cuantificar el error cometido y saber por qué causas se produce.

A nivel nacional existen pocos centros de testeo de contadores independientes, donde la mayoría de ellos no están equipados para ensayar la amplia gama de contadores que ofrece el mercado. A diferencia del resto, el laboratorio de estudios de la universidad, denominado LEVC está capacitado para estudiar y analizar todo tipo de contadores.

El tamaño y caudal que puede medir un contador depende de los diámetros de entrada y salida del mismo (DN). En función al tamaño, existen desde contadores domésticos pequeños de DN13 hasta contadores industriales grandes de DN900. Las bombas, depósitos, válvulas y secciones de tuberías son mayores a medida que aumenta el DN. La mayoría de laboratorios de ensayo dispone de unas instalaciones pequeñas con un único banco de ensayos donde solo se testean ciertos tamaños de contador.

La variedad de contadores en el mercado es muy grande. Si se quiere ensayar toda ella, la instalación será muy diferente a una que ensaye pocos tamaños de contador. Para ello, hace falta más de un banco de ensayos y que estos sean adaptables a cualquier tamaño y modelo de contador, así como un conjunto de depósitos de agua que permita trabajar con pequeños y grandes cantidades de agua.

Los contadores también se diferencian en otros aspectos como el método de medición que utilizan o los caudales a los que tienen que trabajar para lograr lecturas de caudal óptimas. Por ello, toda instalación ha de estar respaldada por un software que gestione y automatice en medida de lo posible los procesos de ensayo, ya que no es lo mismo testear contadores de chorro único, volumétricos o de ultrasonidos. La complejidad del software encargado de controlar todo, aumenta a medida que el banco de ensayos aumenta. Por ello, la mayoría de centros de ensayo estudian poca variedad de contadores.

A continuación, gracias al uso de algunas imágenes se explica como funciona un banco de ensayo para el caso de ensayar dos contadores.

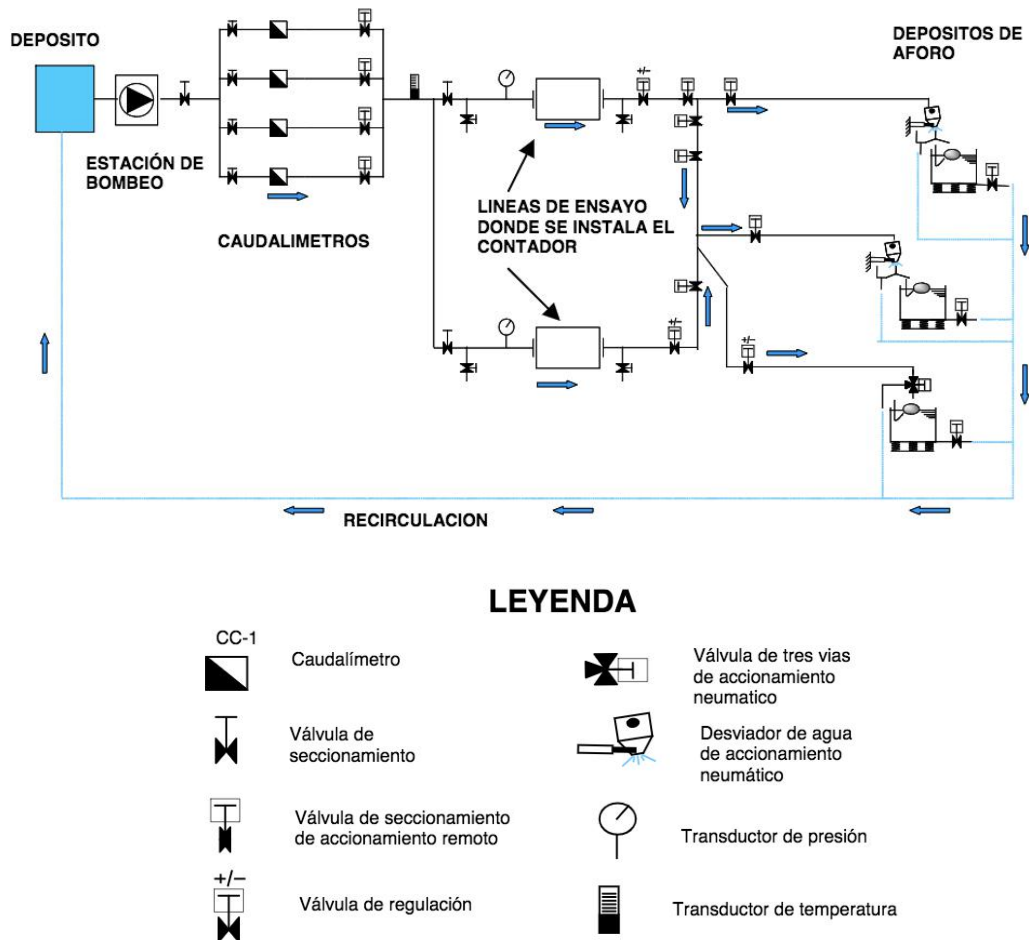


Imagen 1. Croquis instalación centro de ensayos.

Sin profundizar y entrar demasiado en detalles técnicos, el circuito que recorre el agua es relativamente sencillo de explicar y entender.

El agua sale primeramente de un deposito y cruza un conjunto de caudalímetros para saber cuanta cantidad de agua esta circulando por cada tubería en cada instante. El agua pasa después por las líneas de ensayo donde se montan los contadores, después atraviesa los distintos depósitos de aforo para volver finalmente al deposito inicial.

El sistema de medida funciona de la siguiente forma. El agua recorre el circuito sin que se produzca ningún tipo de estudio hasta que los caudalímetros marcan un caudal constante durante un periodo de tiempo (alrededor de 30 segundos). En el instante en el que se cumplen dicho tiempo de caudal constante, se toma una imagen de la lectura que ofrece en ese instante cada contador. Al mismo tiempo, en los depósitos de aforo un desviador neumático hace circular el agua hacia unos depósitos de agua, los cuales se van llenando hasta llegar a un volumen de control. Cuando se llega a este volumen, se vuelve a tomar una imagen de la lectura de los contadores de agua. De esta forma, se comparan las lecturas realizadas por los

contadores con los volúmenes de control. Por último, el agua dentro de los depósitos se libera y vuelve al tanque inicial.

En esta explicación simplificada se omiten gran cantidad de elementos que toman parte en el estudio como bombas, válvulas, sistemas emergencia y muchos más.

Por otro lado, las líneas de ensayo están compuestas por muchos elementos que hacen posible montar y desmontar los contadores. En la mayoría de los laboratorios al ensayar pocos modelos de contadores esta parte es relativamente sencilla ya que no tienen que adaptarse a los distintos tamaños de contadores. La ventaja que tienen este tipo de centros es que están muy especializados y el proceso de ensayo es eficiente y por tanto sus costes son menores. No obstante, esto supone que su rango de clientes se limite a aquellos que solo necesitan estudiar los tipos de contadores que ellos ofertan, restando comodidad al cliente, ya que por lo general estos trabajan con todo tipo y tamaño de contadores.

Por el contrario, el LEVC está capacitado para ensayar prácticamente todos los contadores independientemente de sus tamaños o tecnologías de medición. En el banco de ensayos pequeño se trabaja hasta con cuatro contadores al mismo tiempo de tamaños comprendidos entre DN13 y DN40, mientras que en el banco de trabajo grande solo se trabaja con un contador por ensayo, pudiendo trabajar con tamaños comprendidos entre DN50 y DN200.

Por ello, los bancos de ensayos del LEVC tienen que adaptarse a cualquier tamaño de contador. Poder estudiar tantos contadores implica que la complejidad del sistema sea mucho mayor.

2.1 MÉTODOS DE MONTAJE DE UN BANCO DE ENSAYO

En lo que respecta al montaje y desmontaje de las diferentes piezas que componen la sección de ensayo, existen diferentes métodos, los cuales tienen sus ventajas e inconvenientes. A continuación, se muestran los distintos sistemas de montaje que ofrecen los centros de ensayo nacionales.

Primero, se muestra el sistema empleado por fabricantes de contadores que testean gran cantidad de unidades del mismo tamaño en un mismo banco de ensayos. Segundo se muestra una instalación sencilla donde a lo sumo se ensayan dos contadores. Esta instalación es propia de centros de estudio y enseñanza donde el volumen de trabajo no es relevante. Por último, se explica el actual sistema de montaje del LEVC, el cual podría considerarse una mezcla de los dos sistemas anteriormente expuestos.

Hay que destacar que tanto los sistemas utilizados por los productores de contadores y el LEVC, han de cumplir las normativas recogidas por la ENAC para que las mediciones realizadas cumplan con unos requisitos de calidad generalmente aceptados.

2.1.1 Método de montaje de fabricantes de contadores

Fabricantes de contadores como Contazara o Hidroconta utilizan prácticamente el mismo método de montaje. El cual consiste en el uso de unas tuberías metálicas de unión entre contadores y unas sujeciones rígidas unidas al banco de ensayos mediante unos carriles a ambos lados del banco. Las siguientes imágenes corresponden a los bancos de ensayo de las empresas nombradas.

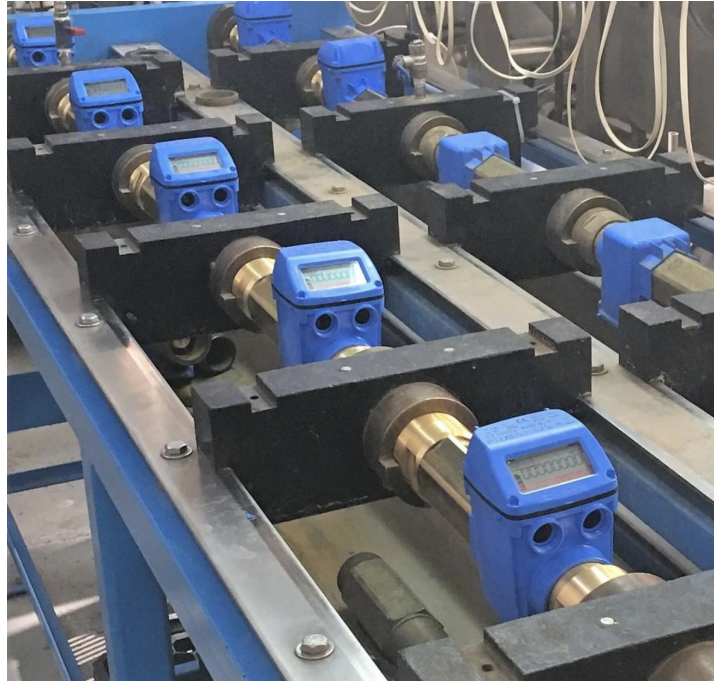


Imagen 2. Banco de ensayo Contazara.



Imagen 3. Banco de ensayo Hidroconta.

Ventajas:

1. El montaje es muy rápido. Las sujeciones permanecen prácticamente fijas y es sobre ellas donde se montan las tuberías de unión entre contadores.
2. Se pueden ensayar gran número de contadores al mismo tiempo.
3. Elementos que componen el sistema de gran rigidez, por lo que la sección de ensayo no se desalinea.
4. Materiales empleados de calidad y gran durabilidad. Vida útil larga de los componentes.

Desventajas:

1. El uso de materiales metálicos aumenta considerablemente el coste de la instalación
2. Para ensayar contadores de distintos tamaños, hace falta más de un banco de ensayos o emplear mucho tiempo cambiando las sujeciones y tuberías auxiliares

Es un sistema de montaje recomendable para compañías productoras de contadores, ya que deben ensayar grandes lotes de contadores del mismo tamaño. Si por lo contrario tuviesen que estudiar diferentes tamaños y modelos, la adaptación del banco supondría una gran pérdida de tiempo.

2.1.2 Método empleado por instituciones de enseñanza

El método empleado aquí es relativamente similar al anterior, pero en este caso se emplean unas sujeciones y tuberías de algún material barato como PLA o similares. Como se aprecia en la siguiente imagen, la sujeción va encajada sobre unos carriles guía y tiene un agujero pasante donde se coloca la tubería de unión entre contadores. El sistema queda inmovilizado cuando un brazo hidráulico cierra el sistema.

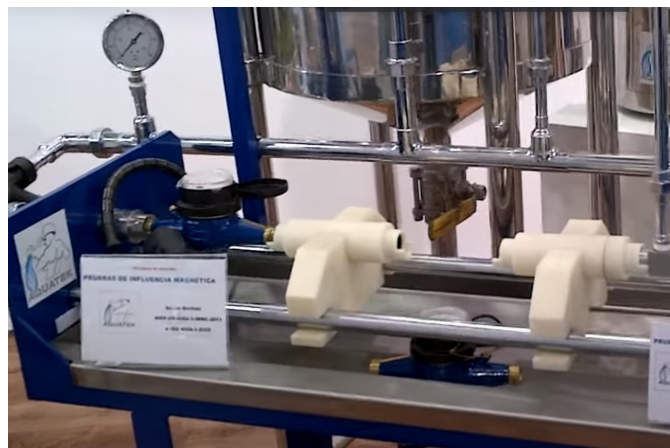


Imagen 4. Banco de ensayo de muestra

Ventajas:

1. Gran rapidez de montaje y desmontaje de las piezas.
2. Uso de materiales baratos y posible fabricación de las piezas mediante impresora 3D.

Desventajas:

1. Al utilizarse materiales de poca dureza y no fijar rígidamente las tuberías y sujeciones, se puede producir un desalineamiento del sistema de ensayo.
2. Requiere sujeciones y tuberías distintas para cada tamaño de contador.

Este método es idóneo para instalaciones que requieren poca precisión de las mediciones y no deben ensayar muchos contadores al mismo tiempo.

2.1.3 Método de montaje del LEVC

El método de montaje utilizado en el LEVC consta de unas secciones de tubería auxiliares de un material plástico para unir los contadores y unas sujeciones unidas rígidamente al banco de ensayos mediante unas guías carril. La unión rígida se consigue con un sistema de tornillos y una pieza que, al ser introducida en el carril transversalmente al eje de ensayo evita que el sistema de ensayo de eleve.

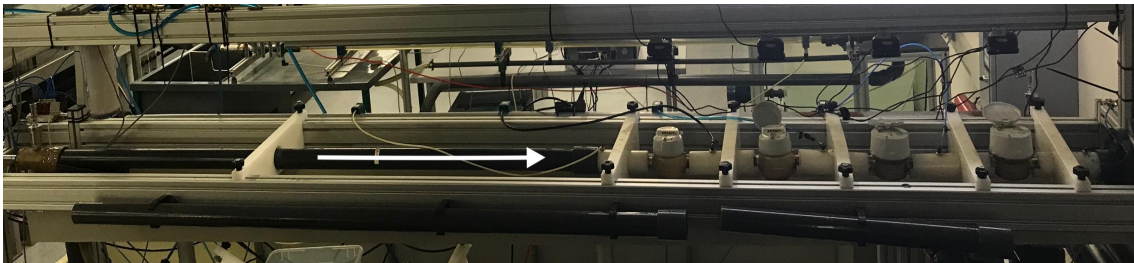


Imagen 5. Banco de ensayo del LEVC.

Ventajas:

1. Versatilidad a la hora de ensayar distintos tamaños de contador
2. Capacidad de ensayar 4 contadores al mismo tiempo en un espacio reducido.
3. Uso de elementos fabricados en el mismo laboratorio.
4. El montaje del sistema no requiere de un operario especializado

Desventajas:

1. Uso de diferentes tamaños de tuberías auxiliares para unir los elementos en función del DN de los contadores a estudiar.
2. Uso de juntas planas que se deforman con facilidad y provocan fugas.
3. Sistema de sujeciones poco eficiente ya que obliga a desmontar todo el sistema si se desea estudiar otro tamaño de contador.
4. Sistema de amarre entre sujeción y banco de ensayos poco preciso y laborioso de manipular. A veces produce un desalineamiento de los elementos de ensayo.
5. No se pueden ensayar más de dos contadores si son de DN32 o DN40

Como bien se ha indicado antes, este método queda a medio camino entre los dos planteados anteriormente, ya que se hace uso de guías carril y piezas que dotan de adaptabilidad al banco de ensayos.

El desalineamiento mencionado anteriormente se puede observar en la siguiente imagen. Se representa marcado en rojo la dirección de los elementos de ensayo. Para un funcionamiento óptimo este debería ser recto en toda la sección de ensayo.

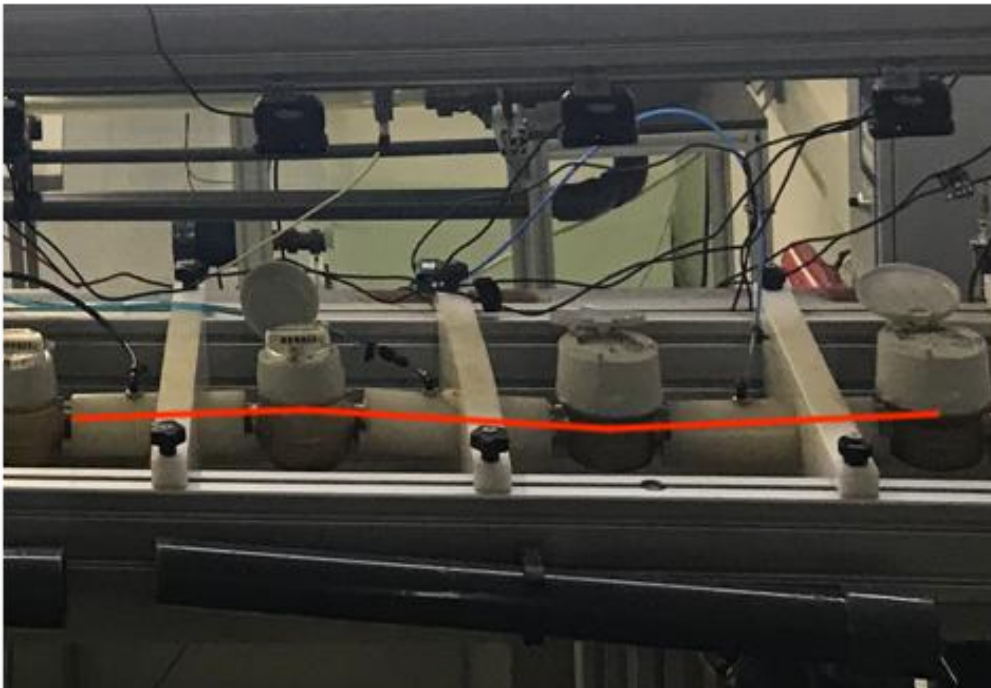


Imagen 6. Desalineamiento de sección de ensayo.

3 OBJETIVO

En este capítulo se definen los objetivos principales que se han tenido en cuenta en la realización de este proyecto.

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto es utilizar un sistema de unión entre elementos y sujeción de los mismos al banco de ensayos más sencillo y eficiente que el empleado hasta ahora.

Existen, a día de hoy, diferentes métodos de montaje, pero ni uno de ellos ofrece la adaptabilidad de la que debe disponer el laboratorio sin tener que sustituir la estructura actual del banco de ensayos. Es cierto que existen, como se ha detallado anteriormente métodos muy rápidos y versátiles, pero estos no se adaptan a las necesidades del laboratorio. Por ello, el objetivo principal, se logra mediante la implementación de distintas piezas que suponen una mejora considerable a costes muy bajos y sin tener que modificar la actual estructura del banco de ensayos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Sustituir el sistema de unión entre contadores de agua por otro en el que se implemente el uso de casquillos.
2. Sustituir las tuberías auxiliares empleadas actualmente por otras de PVC más simples y de misma sección para todos los tamaños de contador a ensayar.
3. Sustituir el uso de juntas planas por juntas tóricas. Ya que las tóricas se deterioran menos y ofrecen mejores rendimientos.
4. Cambiar el sistema de sujeción actual por otro que fije mejor las piezas para que no se produzcan ningún desalineamiento en la sección de ensayo.
5. Utilizar piezas en la nueva sujeción que reduzcan los tiempos de montaje actuales, facilitando también la labor del operario.

4 ALCANCE

En cuanto al alcance del proyecto, los diseños de las diferentes piezas se realizan mediante el software informático AutoCAD, tomando como referencia las ideas de casquillo y sujeción que el director del laboratorio estima oportunas.

Estas geometrías se exportan en un formato “.stl”, el cual es compatible con la mayoría de los programas que utilizan las máquinas impresoras 3D. El director del laboratorio decidirá si desea imprimir las piezas o encarga fabricarlas a terceros.

Adicionalmente, para aportar un mayor grado de seguridad a la instalación, se realiza un estudio de todos los casquillos mediante un software de elementos finitos. Este estudio tiene por objetivo crear un primer cuya resistencia a las cargas de trabajo a las que se va a someter a la pieza, esté garantizada. De esta forma se reduce, por una parte, el coste asociado a fabricar distintos prototipos y por otra el riesgo de que los prototipos fallen en los ensayos y se generen desperfectos en los equipos del laboratorio.

5 BENEFICIOS

Mediante la implantación de las distintas piezas en el banco de ensayos del LEVC, se generan diferentes beneficios.

5.1 AUMENTO EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA

La principal mejora lograda tanto con los casquillos como con la nueva sujeción, es una reducción considerable del tiempo de montaje de la sección de ensayo. Utilizando los casquillos, las juntas tóricas y las secciones de tuberías de PVC el montaje se simplifica, y la propia geometría de los casquillos reduce considerablemente la generación de un desalineamiento de los elementos del banco.

Al reducir los tiempos de montaje y los factores que generan fugas, se puede ensayar un mayor número de contadores al día, por lo tanto, los pedidos de los clientes se terminan en menor tiempo y la capacidad de trabajo del LEVC aumenta.

5.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Este beneficio viene de la mano del anterior. Ensayar más contadores supone un aumento en la productividad del laboratorio, por lo que se puede hacer frente a mayor número de pedidos.

A demás, reducir la posibilidad de fugas implica una mayor seguridad tanto para las personas como para los distintos elementos que componen el laboratorio.

5.3 BENEFICIOS TÉCNICOS

El uso de los casquillos y la nueva sujeción genera una mayor rigidez en la unión entre elementos, evitando así el colapso del sistema cuando este se sella. Dicha rigidez reduce también el régimen turbulento del agua, lo cual mejora la lectura de caudal de los contadores.

5.4 BENEFICIOS PARA EL OPERARIO

La labor de montar y desmontar el banco de ensayos puede resultar laboriosa, ya que para comprobar si se producen fugas se tiene que hacer un proceso de prueba y error.

La mejora sustancial para el operario se obtiene gracias a la nueva sujeción, ya que esta a diferencia de la sujeción actual permite retirar todas las tuberías de forma transversal al banco de ensayos, por lo tanto, no hace falta desmontar toda la sección cuando se quiere ensayar distinto número o tamaño de contadores.

La cantidad de elementos a cambiar entre ensayos es menor, ya que únicamente se sustituyen los casquillos en función del tamaño de las bocas de entrada y salida de los contadores a ensayar.

6 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE ENSAYOS

6.1 PARTES QUE COMPONEN LA SECCIÓN DE ENSAYO

Para poder entender que beneficios brindan las piezas a diseñar en este proyecto, hay que explicar el funcionamiento del banco de ensayos.

El sistema está compuesto por los contadores a ensayar, tuberías que los unen, sujeciones encargadas de mantener firme e inmóvil el sistema y un brazo hidráulico encargado de ejercer una fuerza de compresión a todo el conjunto en su sentido longitudinal para cerrar el sistema y evitar que se produzcan fugas.

Por tanto, los casquillos a diseñar van a trabajar bajo una carga a compresión. Dicha carga se transmite al casquillo a través de las juntas tóricas. También sufre una presión de compresión sobre las caras internas del casquillo por donde fluye el agua, ya que esta circula por el sistema con una presión superior a la atmosférica.

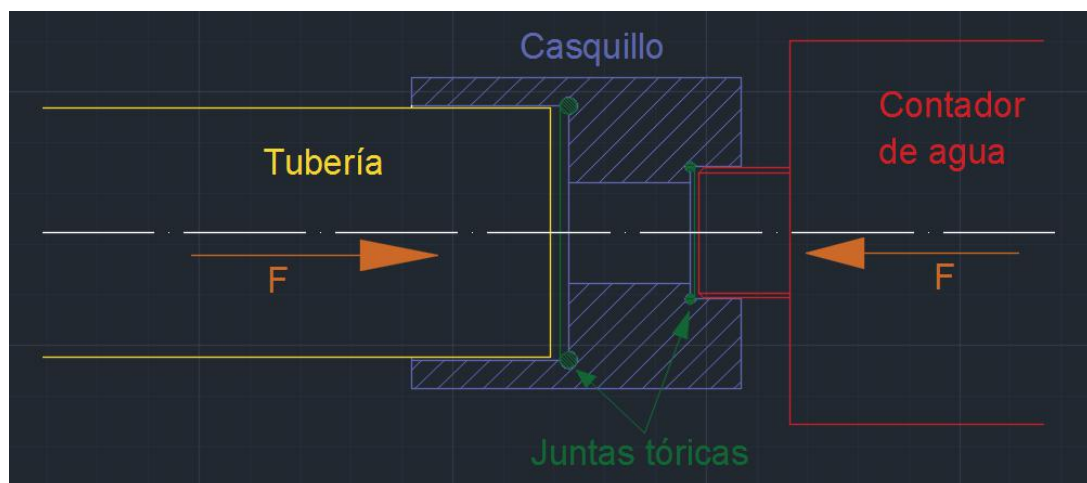


Imagen 7. Representación unión entre casquillo, tubería y contador.

Los elementos que componen la sujeción no sufren esfuerzos que pongan en riesgo la integridad de la misma, por lo que únicamente deben garantizar que todos los elementos estén alineados y permanezcan inmóviles durante los ensayos.

6.2 PROCESO DE SELLADO DEL SISTEMA

Una vez se han colocado ordenadamente todos los elementos que intervienen en el ensayo, se procede al cierre del sistema mediante el uso del brazo hidráulico anteriormente mencionado.

Para que el sistema se selle correctamente, es de gran importancia que todos los elementos estén bien alineados sobre el eje longitudinal, ya que, de lo contrario, la fuerza ejercida por el brazo hidráulico podría romper alguna de las piezas haciéndolas saltar, dañando así el material del laboratorio o incluso dañando al operario.

Si todo está bien alineado, el brazo hidráulico ejerce una fuerza progresiva hasta la presión requerida para sellar el sistema de ensayo. En este momento el brazo hidráulico deja de avanzar y se procede a comprobar que el sistema se encuentra correctamente sellado haciendo circular agua por su interior.

7 DISEÑO DE LOS CASQUILLOS

El diseño general de los casquillos, independientemente del tamaño de contador que se vaya acoplar, es el mismo. Para evitar el desalineamiento de las líneas de ensayo y lograr una buena estanqueidad entre todos los elementos, desde un principio se decide que el casquillo tenga forma de cilindro con tres vaciados en el sentido longitudinal del mismo. Un agujero pasante, para que fluya el agua por su interior, y dos vaciados donde se asientan por un lado la tubería auxiliar y en el otro el contador. Estos vaciados deben tener un diámetro entorno a un milímetro mayor que los diámetros de la tubería y contador. De esta forma, las piezas entran fácilmente en el casquillo y no bailan ni sufren grandes movimientos que puedan generar fugas.

Adicionalmente a los vaciados mencionados, se realizan unas hendiduras toroidales en la parte interior de los vaciados. En estas hendiduras se encajan unas juntas tóricas que ayudan a sellar el sistema de ensayo y evitan que se produzcan fugas. Debido a que la sección de las tuberías auxiliares es constante, tanto el vaciado como la hendidura donde emboca la tubería tendrán las mismas dimensiones en todos los casquillos (a excepción del casquillo DN40), mientras que en la parte donde se acopla el contador, varía en función del tamaño de contador.

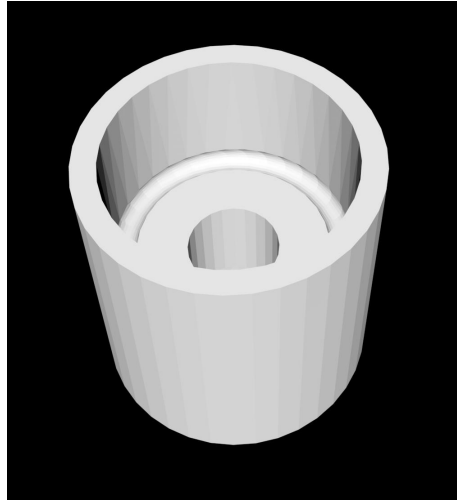


Imagen 8. Diseño de casquillo.

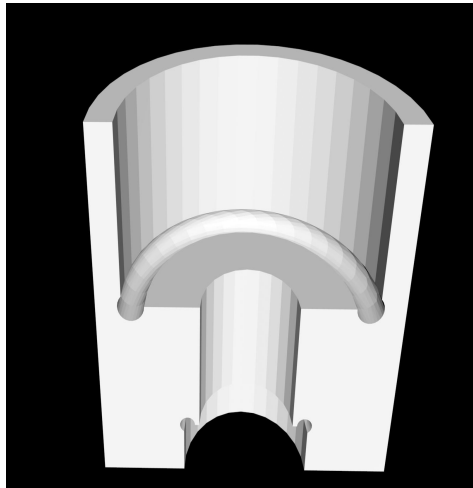


Imagen 9. Diseño casquillo con corte.

7.1 DISEÑO GENERAL

De ahora en adelante se denomina a cada casquillo con el DN de los contadores que va a acoplar y con el tamaño del vaciado donde emboca el contador. Esto se debe a que no todos los contadores tienen el mismo diámetro exterior de rosca a la entrada y a la salida, por lo que nombrar un casquillo únicamente por su DN podría inducir a error al operario. Por lo tanto, cada casquillo se denomina de ambas formas. El tamaño de la rosca exterior se expresa en pulgadas (in) ya que estas son las unidades generalmente utilizadas.

7.1.1 Dimensiones vaciado tubería

El vaciado del casquillo donde se apoya la tubería auxiliar tiene las mismas dimensiones en todos los casos, ya que como se ha dicho anteriormente, el diámetro de éstas es constante. Para facilitar el montaje entre ambas piezas las tuberías han de deslizarse sin ninguna resistencia por el vaciado del casquillo. Teniendo en cuenta que las tuberías tienen un DN50, el vaciado debe tener un diámetro entre 1mm y 1,5mm mayor.

Se ha determinado que la profundidad de los vaciados sea entorno a la mitad de la longitud total del casquillo, para garantizar que la tubería queda bien introducida en el casquillo y facilitar así el montaje del sistema y el alineamiento de la tubería y el contador que une un mismo casquillo.

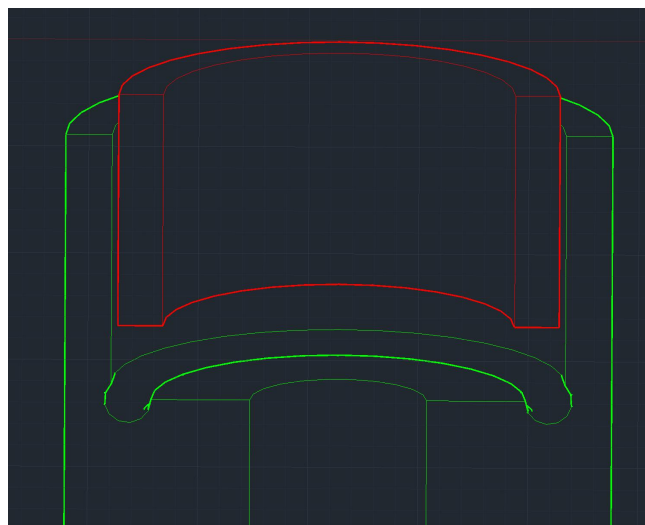


Imagen 10. Representación de acoplamiento entre casquillo - tubería.

7.1.2 Dimensiones vaciado contador

El vaciado relativo al contador es el que determina el tamaño del casquillo. Como ya se ha puntualizado anteriormente, este vaciado no depende del DN del contador si no del diámetro exterior de las roscas de entrada y salida.

Al igual que en los vaciados para las tuberías, la boca del contador tiene que deslizarse sin oposición alguna por el vaciado del casquillo. Por ello los vaciados tienen como mínimo 1mm más diámetro que las bocas de los contadores.

La profundidad de éstos es para todos los casos la misma. Pese a que esta dimensión no está normalizada, se ha comprobado que todas las roscas tienen como mínimo una longitud de 10mm. Por tanto, esa es la profundidad del vaciado seleccionado, ya que, de ser mayor, algunos contadores no entrarán en contacto con las juntas tóricas y no se producirá un sellado adecuado del sistema.

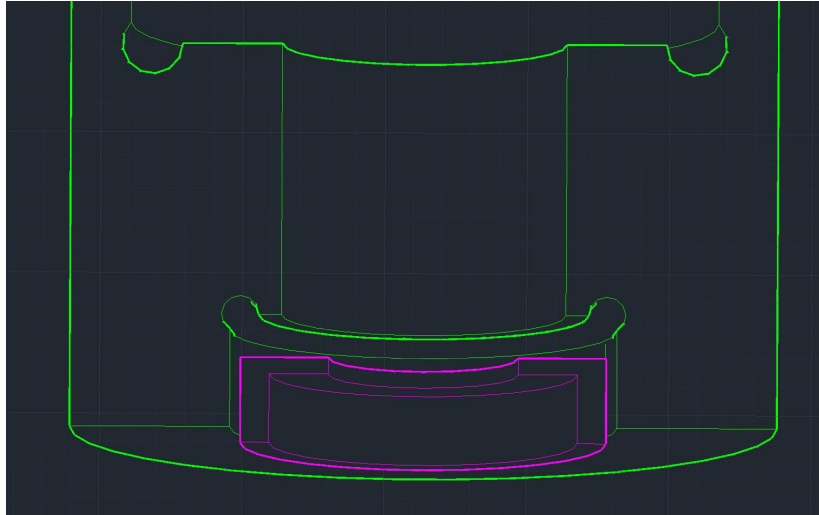


Imagen 11. Representación de acoplamiento entre casquillo - contador.

7.1.3 Diseño hendiduras

Las juntas tóricas encajadas en las hendiduras tienen que garantizar el sellado del sistema para que no se produzcan fugas. Aparte, tienen que permanecer encajadas dentro de la hendidura para facilitar el trabajo del operario y no tener que montar las juntas siempre que se vaya a usar el casquillo. De esta forma se reduce el espacio empleado para almacenarlas y se hace un uso más efectivo del espacio del laboratorio.

El diseño de las hendiduras ha de ser el siguiente. Por un lado, la hendidura en sí debe tener un diámetro mayor que el diámetro de la junta, ya que cuando el brazo hidráulico se acciona y ejerce una fuerza de compresión sobre las juntas, éstas se deforman ocupando el espacio total de la hendidura sellando el sistema, impidiendo que se generen fugas de agua.

Por otro lado, para garantizar que las juntas se quedan encajadas en la hendidura, el espacio por el que entran a la misma es menor que el diámetro de la junta. Al ser estas deformables, solo hay que ejercer un poco de fuerza para introducirlas. A continuación, se muestra la hendidura donde se encaja la junta que sella la zona de contacto donde se apoya la tubería para el casquillo "DN15-3/4x3/4". En este caso la junta tiene diámetro de 5,33mm.

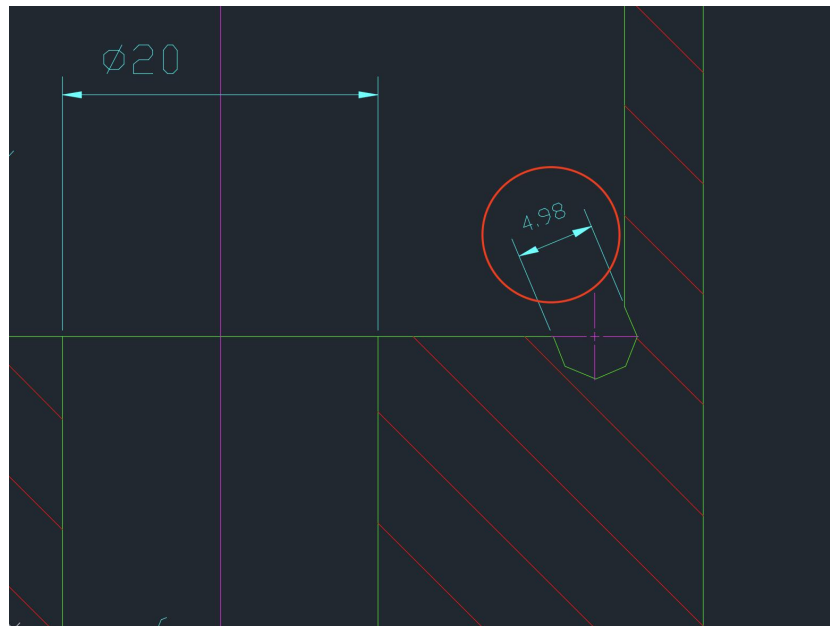


Imagen 12. Muestra de amplitud de hendidura.

Como se aprecia en la imagen, el diámetro exterior de la hendidura es mayor que el diámetro del vaciado. Se diseña de esta forma para que ayude a la junta a quedarse alojada en la hendidura.

Si se tiene en cuenta que las juntas tóricas están acotadas por el fabricante como se muestra en la siguiente imagen, el centro de la cota "s" debe coincidir con el de las hendiduras. Esto provoca que la junta no esté en estado de tensión o compresión cuando el casquillo no se utiliza, hecho que alarga la vida útil de la junta.

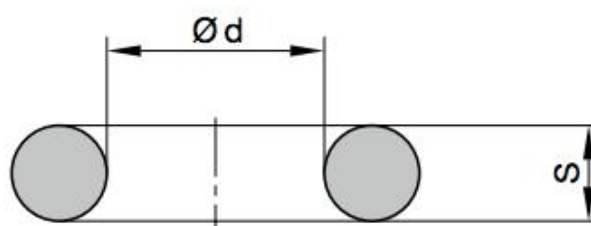


Imagen 13. Acotación de junta tórica.

Por último, según especificaciones del fabricante de las juntas tóricas, recomienda que se realice un redondeo de todas las aristas que contengan las hendiduras donde van apoyadas las juntas. Esta recomendación es para el caso de hendiduras cuadradas como la de la imagen. Aun que no sea el caso de esta pieza, por mantener un carácter conservador, se realiza el redondeo mínimo recomendado. En este caso de $R=0,1\text{mm}$.

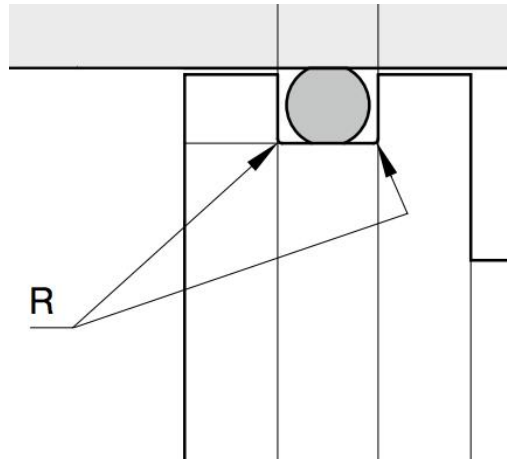


Imagen 14. Redondeo aristas hendidura.

7.2 PROCESO DE DISEÑO

El proceso a seguir para generar los diseños de cada casquillo ha sido el mismo. El primer paso es crear un archivo “.dwg” mediante CAD denominado plano más DN del casquillo que se esté creando. Si se toma el casquillo de tamaño DN15 como muestra, el nombre del archivo se llama “PLANO DN15”. En éste, se dibujan las formas geométricas que más tarde se revolucionan respecto del eje central.

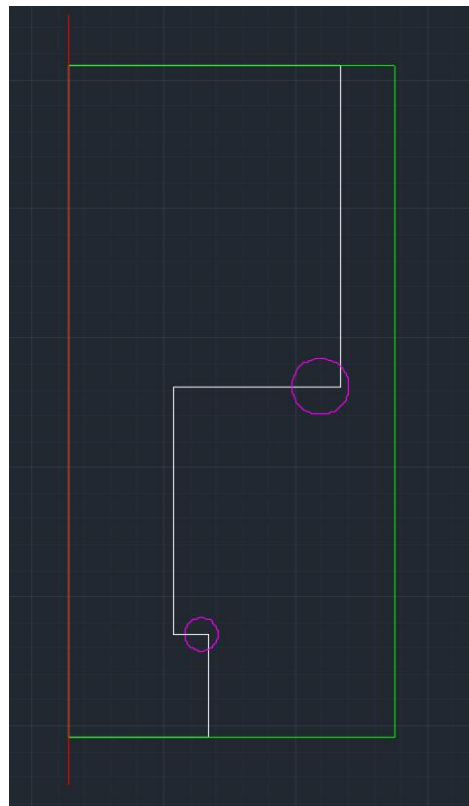


Imagen 15. Ejemplo contenido archivo PLANO DN15.

En la imagen se aprecia como la silueta en verde es la que al ser revolucionada genera el cilindro del casquillo en bruto. En color blanco se muestra la figura geométrica compuesta por los tres vaciados anteriormente mencionados y en morado la silueta de las hendiduras. Primero se revolucionan las tres partes alrededor del eje marcado en rojo 360°, después con el comando “subtract” se realizan los vaciados a la pieza del casquillo en bruto, obteniendo el siguiente resultado. Imagen representada con un corte para poder apreciar todos los detalles.

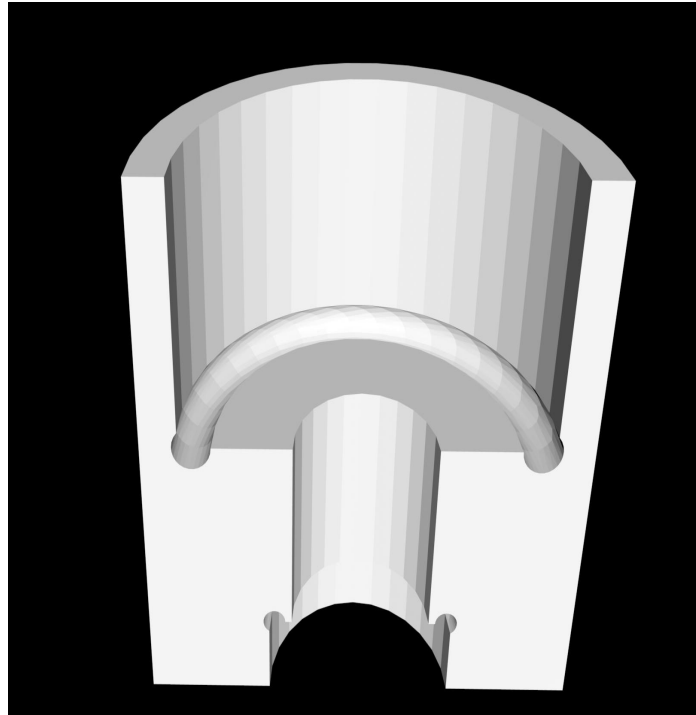


Imagen 16. Diseño casquillo con corte.

Se guarda la pieza revolucionada en otro archivo al cual se denomina “PIEZA DN15”. De este archivo se exporta la pieza en un formato “.stl”. Este formato consiste en una imagen de la pieza en tres dimensiones, la cual más tarde se utiliza en el software para programar la impresión 3D.

Finalmente, se crea un último archivo al cual se denomina “CAJETIN DN15”. En este se acotan todas las dimensiones de la pieza creada.

Por tanto, cada pieza consta de cuatro archivos propios, cada uno con un fin concreto. Si se necesita modificar de alguna manera la pieza, se hace desde este primer archivo y se cambian el resto de archivos en función de este primero. El archivo PIEZA sirve para comprobar si la geometría generada es la correcta mientras que el “.stl” es el archivo con la geometría final que se va a imprimir. El último, sirve para mostrar todas las cotas funcionales de la pieza y servirá, en caso de que la pieza se fabrique por encargo a terceros, como plano referencia de fabricación.

7.3 DIMENSIONES DE CASQUILLO

En este apartado se muestra el plano del casquillo con las cotas señalizadas mediante letras. A continuación, se muestra una tabla por casquillo donde se referencia cada letra con su dimensión en milímetros. De esta forma queda ilustrada gráficamente las cotas de cada casquillo. La siguiente imagen muestra las cotas de referencia indicadas con una letra.

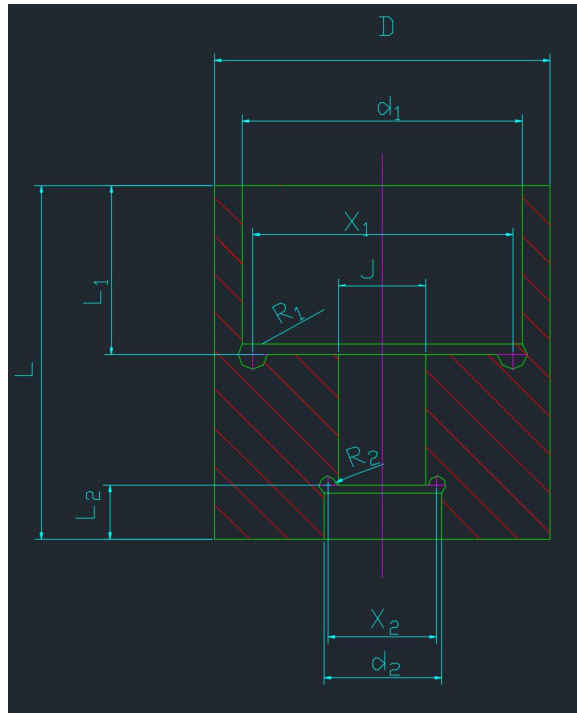


Imagen 17. Cotas de referencia de los casquillos

7.3.1 Casquillo DN13 - G 1/2 x 14H

VARIABLES	COTAS (mm)
L	65
L ₁	31
L ₂	10
D	62
d ₁	51,6
d ₂	21,5
X ₁	47,8
X ₂	20
J	14
R ₁	2,7
R ₂	1,6

Tabla 1. Dimensiones de casquillo DN13 - G 1/2 x 14H

7.3.2 Casquillo DN15 - G 3/4 x 14H

VARIABLES	COTAS (mm)
L	65
L ₁	31
L ₂	10
D	62
d ₁	51,6
d ₂	26,7
X ₁	47,8
X ₂	25,2
J	20
R ₁	2,7
R ₂	1,6

Tabla 2. Dimensiones de casquillo DN15 - G 3/4 x 14H

7.3.3 Casquillo DN20 - G 1" x 11H

VARIABLES	COTAS (mm)
L	65
L ₁	31
L ₂	10
D	62
d ₁	51,6
d ₂	34
X ₁	47,8
X ₂	32,2
J	25
R ₁	2,7
R ₂	1,65

Tabla 3. Dimensiones de casquillo DN20 - G 1" x 11H

7.3.4 Casquillo DN25 - G 1"1/4 x 11H

VARIABLES	COTAS (mm)
L	65
L ₁	31
L ₂	10
D	62
d ₁	51,6
d ₂	43
X ₁	47,8
X ₂	41,2
J	32
R ₁	2,7
R ₂	1,9

Tabla 4. Dimensiones de casquillo DN25 - G 1"1/4 x 11H

7.3.5 Casquillo DN30 - G 1"1/2 x 11H

VARIABLES	COTAS (mm)
L	65
L ₁	31
L ₂	10
D	62
d ₁	51,6
d ₂	48,5
X ₁	47,8
X ₂	47
J	37
R ₁	2,7
R ₂	1,6

Tabla 5. Dimensiones de casquillo DN30 - G 1"1/2 x 11H

7.3.6 Casquillo DN40 - G 2" x 11H

VARIABLES	COTAS (mm)
L	70
L ₁	31
L ₂	10
D	70
d ₁	51.6
d ₂	61
X ₁	49
X ₂	59
J	42
R ₁	2,1
R ₂	2,1

Tabla 6. Dimensiones de casquillo DN40 - G 2" x 11H

Este casquillo, como se puede observar en la tabla de cotas, tiene unas dimensiones diferentes al resto. Debido a que el diámetro exterior de la boca del contador es mayor que el propio diámetro de las tuberías auxiliares, las dimensiones L y D son diferentes y mayores a las del resto de contadores. El agujero pasante por donde circula el agua al ser poco más pequeño que el diámetro de la tubería, se ha sustituido la junta tórica por otra de menor grosor para que pueda alojarse y quedar sujeta en la hendidura.

7.4 SELECCIÓN DE LAS JUNTAS TÓRICAS

La selección de las juntas es el paso más importante del proceso de diseño de los casquillos, ya que son éstas las que garantizan el buen funcionamiento de los elementos del sistema de ensayo.

7.4.1 Características

Las juntas tóricas deben cumplir dos requisitos esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

- Deben ser lo suficientemente elásticas como para ocupar todo el espacio de las hendiduras bajo cargas de trabajo, pero también lo suficientemente resistentes para no sufrir deformaciones plásticas que reduzcan su vida útil.
- Deben permanecer encajadas en las hendiduras mientras el casquillo no se use. Es importante que las juntas se mantengan en estado de reposo sin ninguna tensión interna que pueda provocar que la junta se salga de la hendidura.

Para cumplir estos dos requisitos, las juntas tóricas se seleccionan del catálogo del fabricante Parker, empresa de confianza para el laboratorio. Al tener que elegir las juntas de un catálogo, serán las hendiduras las que se dimensionen en función de las juntas seleccionadas y no al revés.

Dos factores importantes a tener en cuenta son:

- El centro de la cota “s” tiene que coincidir con el centro de la hendidura, es decir, lo que en apartados anteriores se ha denominado la cota “X”, ha de ser la misma para ambos. Esto hace que la junta no esté sometida a ningún tipo de carga cuando no se utilice el casquillo.
- La dimensión de “s” ha de ser lo mayor posible para evitar la aparición de fugas. A mayor tamaño, mayores deformaciones de la junta.

El número total de juntas a seleccionar es de 8, ya que la junta superior, donde se acopla la tubería, es la misma para todos los casquillos excepto para el tamaño DN40. Todas quedan señaladas en la siguiente tabla, mostrando la correspondiente a cada casquillo, junto con sus dimensiones y código empleado en el catálogo del fabricante.

JUNTAS	CODIGO JUNTA SUP	DIMENSIONES SUP (mm)	CODIGO JUNTA INF	DIMENSIONES INF (mm)
DN13 - 1/2x1/2 in	V1 4086 P5000	Ø37,69 - S5,33	V1 1530 P5000	Ø17 - S3
DN15 - 3/4x3/4 in	V1 4086 P5000	Ø37,69 - S5,33	V1 2255 P5000	Ø22,2 - S3
DN20 - 1x1 in	V1 4086 P5000	Ø37,69 - S5,33	V1 2742 P5000	Ø29,2 - S3
DN25 - 1 ¼ in	V1 4086 P5000	Ø37,69 - S5,33	V1 3571 P5000	Ø37,69 - S3,53
DN30 - 1 ½ in	V1 4086 P5000	Ø37,69 - S5,33	V1 4305 P5000	Ø44 - S3
DN40 - 2 in	V1 4410 P5000	Ø45 - S4	V1 5360 P5000	Ø55 - S34

Tabla 7. Referencia juntas tóricas seleccionadas.

7.4.2 Material de las juntas

El material como se ha explicado anteriormente, tiene que resistir las cargas de trabajo sin entrar en estado de fluencia, pero a su vez deformarse lo suficiente para ocupar todo el espacio de las hendiduras. El material a seleccionar también tiene que ser resistente al agua.

Por todo ello y respetando las recomendaciones del fabricante Parker, el material seleccionado para las juntas tóricas es un compuesto de poliuretano que dispone de bajos valores de deformación permanente a la compresión. Su denominación en el catálogo es P5000. Este material resiste condiciones de trabajo con agua y tiene una tensión de fluencia de hasta 600bar, tensión aceptable ya que nunca se alcanzan dichos valores en el laboratorio.

Existen más materiales que cumplen con los requisitos, pero el seleccionado es a su vez el más barato de entre todos, ya que el resto de materiales se emplean en procesos específicos con mayor grado de exigencia.

A continuación, se muestra la tabla de interferencia recomendada por el fabricante, la cual expresa la relación aceptable entre deformación porcentual y tamaño “s” se la juntas.

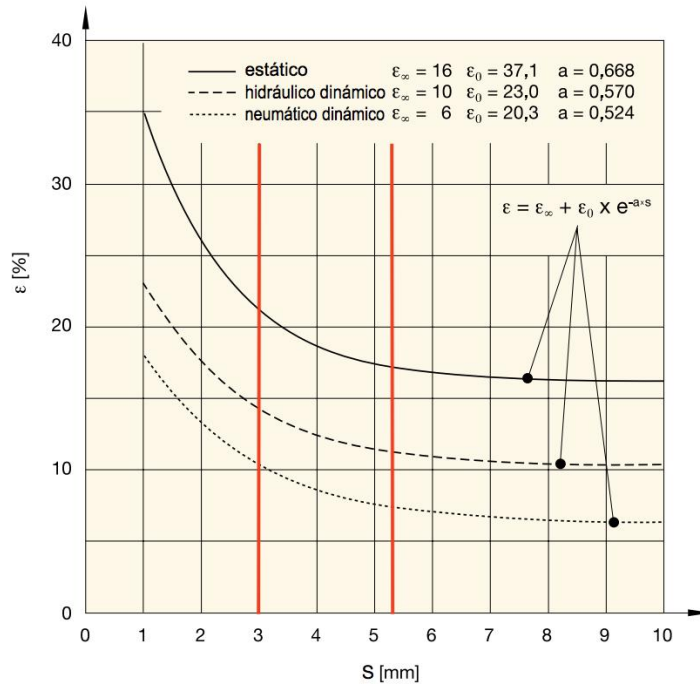


Imagen 18. Gráfico de interferencia de las juntas

Los tamaños de junta seleccionados están comprendidos entre las dos líneas verticales rojas. El régimen de trabajo que van a sufrir se considera estático, por lo que la deformación máxima sufrida por las juntas nunca debe superar la línea negra continua de la imagen.

El caso más desfavorable es el de las juntas de $s=5,33\text{mm}$, ya que solo podrá deformarse un 17%. Cifra muy por encima de las deformaciones que sufrirá dicha junta.

7.5 FABRICACIÓN DE LOS CASQUILLOS

Una vez realizado el diseño satisfactorio de los casquillos junto con una elección correcta de las juntas tóricas, el paso final es la fabricación de los mismos. Para ello se pueden seguir dos caminos según convenga al laboratorio. Una opción es fabricarlos directamente en el laboratorio mediante impresoras 3D y la otra fabricar las piezas por encargo.

Si la elección tomada es fabricar las piezas en el laboratorio, habrá que realizar unas buenas impresiones que garanticen un funcionamiento correcto de los casquillos. Parámetros que determinan la resistencia o el modo de fabricación de la pieza son clave para realizar una impresión óptima y que por tanto salga rentable la fabricación de las piezas. En este caso se utilizarán los archivos “.stl” de cada pieza.

Si por lo contrario se decide fabricar las piezas por encargo, el coste de producción unitario aumentara considerablemente. En este caso se le envía a la empresa elegida el archivo con el plano de cada pieza.

Depende del director del laboratorio tomar esta decisión y valorar los pros y contras que supone cada opción.

8 DISEÑO SISTEMA DE SUJECIÓN

El diseño de la sujeción tiene que cumplir ciertos requisitos. Al ser el elemento de unión entre el banco y el sistema de ensayos, debe estar unido a ambos de una forma rígida.

Tras valorar si podría servir de utilidad al LEVC los distintos métodos de montaje empleados en los centros de ensayo nacionales, el director del laboratorio decide implementar una nueva solución más sencilla.

8.1 PROPUESTAS DE DISEÑO

Se plantearon tres modelos:

- El primero consistía en una modificación de las actuales sujeciones. Cambiando su geometría se conseguía sustituir el actual método de unión con el banco de ensayos, pero no se lograban extraer las tuberías sin tener que desmontar gran parte del sistema de ensayo.
- El segundo, propuesto por el director del laboratorio, consiste en el uso de unos apoyos a los cuales se les acopla una abrazadera comercial o de propia fabricación. Dicho apoyo a su vez, se desplaza a lo largo de un eje guía en el sentido longitudinal del banco de ensayos, gracias a un agujero pasante en la parte inferior del mismo. De esta forma, el apoyo sirve de elemento de unión entre las tuberías de PVC, las cuales se apoyan sobre las abrazaderas y el propio banco de ensayos. El eje guía va unido al banco de ensayos mediante unos soportes que impiden su desplazamiento. Este diseño permite extraer las tuberías hacia arriba y supone una buena fijación al banco de ensayos, pero también genera dos desventajas que llevan a rechazarlo.
 1. El uso de soportes para unir el eje guía al banco de ensayos impide que los apoyos puedan desplazarse a lo largo de todo el eje.
 2. El desnivel que tiene el propio banco de ensayos causa que los apoyos no toquen la parte inferior del banco y por tanto se queden únicamente soportados por el eje, haciendo que roten respecto del mismo.

Subsanar estos dos inconvenientes supone que los apoyos no tengan las mismas dimensiones o que se deba utilizar dos ejes guía. Estas soluciones no resultaban convincentes y prácticas, por lo que se pensó en otro sistema de sujeción.

- El tercero y definitivo supone una adaptación del modelo anterior, gracias a la cual se mantienen los beneficios que éste brinda y se corrigen sus desventajas. Esta modificación consiste en sustituir el mencionado eje guía por una guía carril. De esta forma, suplementando la guía carril respecto del banco de ensayos, la propia guía restringe la rotación de los apoyos. La geometría de éstos también sufre una modificación, ya que para que el apoyo se pueda desplazar a lo largo de la guía, en vez de tener un agujero pasante tiene un vaciado con la silueta de la guía carril.

La representación de la nueva sujeción sobre el banco de ensayos se muestra en la siguiente imagen.

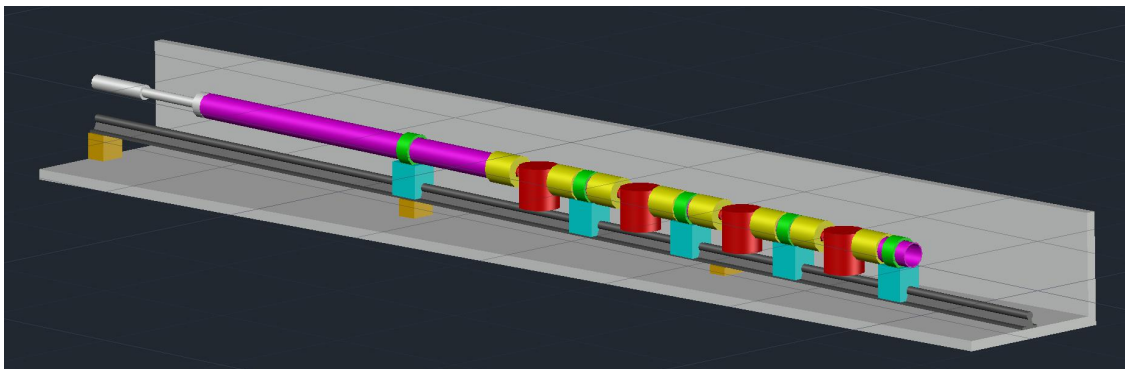


Imagen 19. Representación banco de ensayo con nueva sujeción y casquillos.

Elementos diferenciados por colores:

- Gris: Banco de ensayo
- Blanco: Brazo hidráulico
- Magenta: Diferentes secciones de tubería de DN50
- Verde: Abrazadera comercial
- Rojo: Contador de agua
- Amarillo: Casquillo
- Azul cian: Apoyo
- Azul oscuro: Carril guía
- Naranja: Soporte nivelador

8.2 ELEMENTOS DE LA SUJECIÓN

A continuación, se exponen los distintos elementos que forman la sujeción, detallando las funciones que cumplen cada uno:

8.2.1 Apoyo

Este elemento une las otras dos piezas clave de la sujeción. Por arriba se acopla la abrazadera, sobre la cual se apoyan las diferentes secciones de tubería DN50, y en su parte inferior se introduce la guía carril.

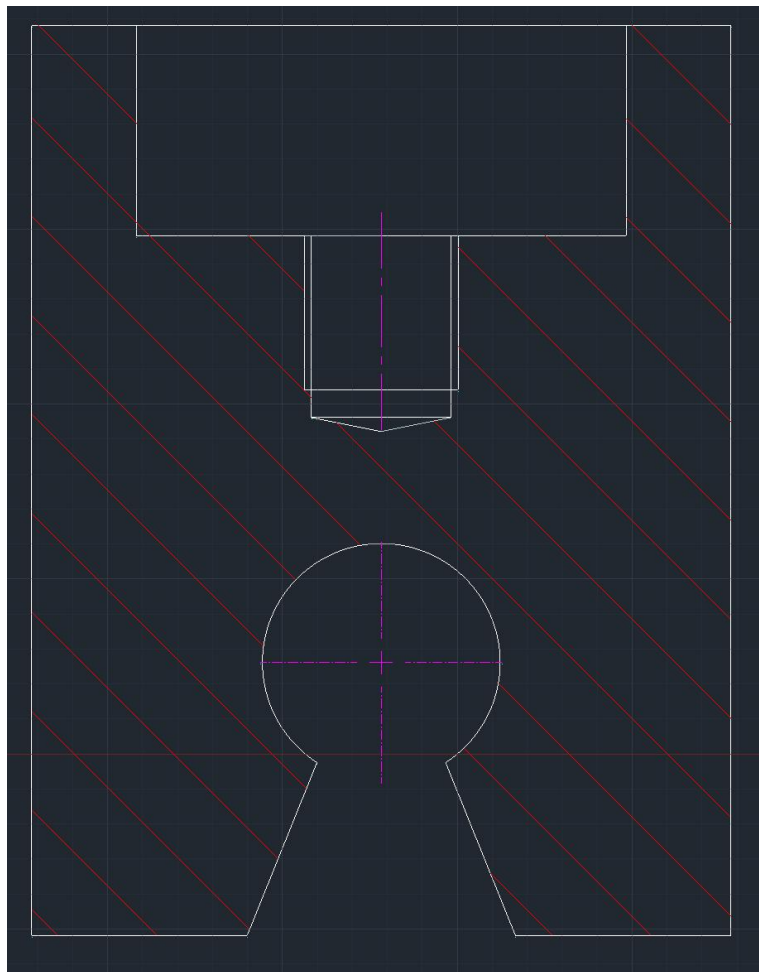


Imagen 20. Geometría Apoyo

Como se aprecia en la imagen, la geometría de la pieza representa un cubo rectangular con tres vaciados. El vaciado inferior tiene la forma del perfil de la guía carril, el cual permite al casquillo deslizarse a lo largo de la misma e impide que rote respecto de su eje longitudinal. Los vaciados en la parte superior del casquillo permiten que la abrazadera encaje en el apoyo y que ambas piezas tengan una unión atornillada.

8.2.2 Guía carril

Este elemento une la pieza apoyo y el banco de ensayos. Su geometría permite al apoyo desplazarse a lo largo de toda la sección de ensayo, pero a su vez impide que se mueva hacia arriba o rote. Su geometría es la siguiente:

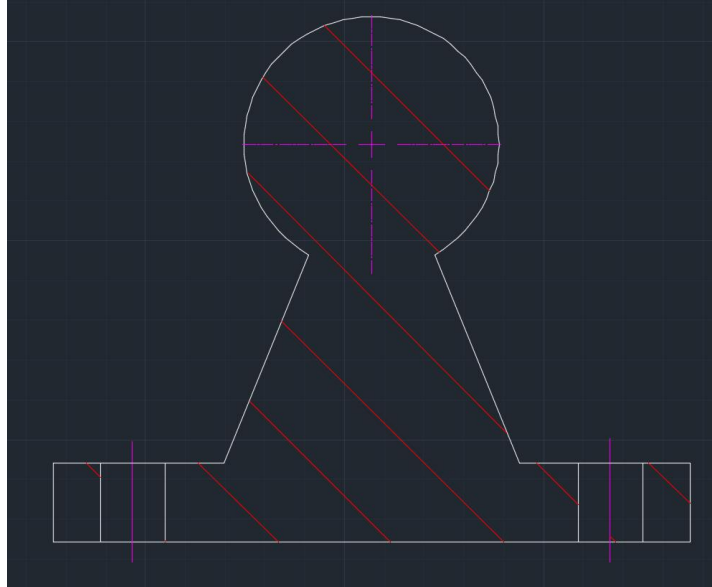


Imagen 21. Perfil guía carril

La guía carril proporciona al sistema la horizontalidad necesaria para realizar los ensayos. Para ello debe salvar un desnivel de 50mm entre sus extremos. Para corregir el desnivel, la guía carril se apoya sobre tres soportes de distintas alturas. Se puede apreciar en la imagen de arriba la disposición de dichos soportes.

8.2.3 Abrazadera comercial

De entre toda la variedad de modelos que ofrece el mercado de abrazaderas, se han barajado dos modelos diferentes que permiten extraer las tuberías hacia arriba y que tengan un sistema de apertura lo más sencillo, rápido y eficaz posible.



Imagen 22. Propuesta de abrazadera



Imagen 23. Abrazadera seleccionada

El modelo de la izquierda, pese a tener un sistema de apertura de la abrazadera mejor que el segundo, se tuvo que desestimar, ya que el método de anclaje al apoyo no sirve.

Por ello se ha seleccionado el segundo modelo. Su sistema de cierre mediante una tuerca de mariposa no resulta tan rápido, pero si garantiza que la tubería se pueda extraer por arriba. Su sistema de apertura es el siguiente.



Imagen 24. Método de apertura de la abrazadera

El sistema de acoplamiento de esta abrazadera también supone un inconveniente, ya que el sistema de serie propuesto consiste en utilizar la tuerca de mariposa inferior para unir el apoyo y la abrazadera. Esto implica que el apoyo necesite un vaciado central para poder apretar la tuerca, lo que supone poca practicidad y una geometría intrincada del apoyo.

Para solventar los inconvenientes que supone este sistema de cierre, se sustituyen el tornillo y la tuerca por un tornillo Allen y una rosca en el apoyo. De esta forma se evita vaciar el apoyo y el método de anclaje resulta sencillo y práctico.

8.2.4 Tornillo Allen

Este tornillo es el encargado de unir de forma rígida la abrazadera y el apoyo. Se selecciona un tornillo Allen, ya que es el único tipo de tornillo normalizado que tiene un diámetro de cabeza que entra en el hueco de la abrazadera. Más adelante se expone detalladamente por qué se ha elegido dicho tornillo con sus dimensiones.

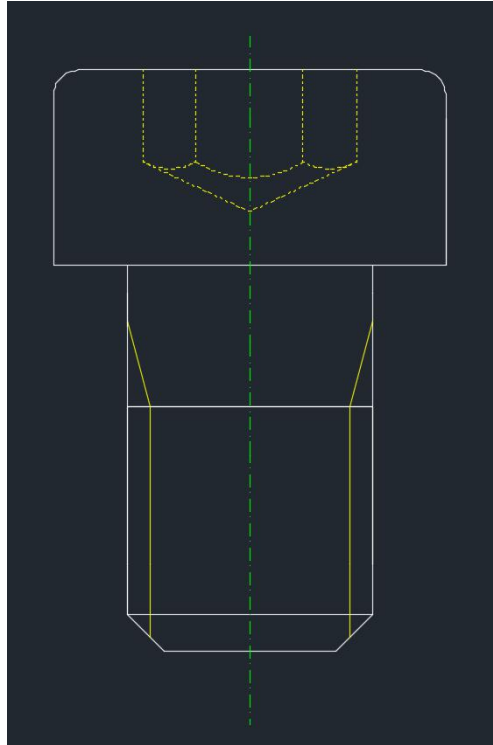


Imagen 25. Geometría tornillo Allen

8.2.5 Soporte guía carril

Esta pieza es la encargada de mantener horizontal todo el sistema de ensayo y unirlo al banco. Como más tarde se detalla, el fabricante de la guía carril recomienda que la base se fije cada 1350mm como máximo. A priori, como la sección de ensayo no supera los 2500mm de longitud únicamente se debería apoyar sobre dos soportes. No obstante, para mantener un carácter conservador, se utilizan tres soportes, asegurando que la guía descansa en cuatro puntos diferentes, teniendo en cuenta que también se apoya sobre el mismo banco de ensayos en uno de sus extremos. De esta forma la separación máxima entre puntos de unión no es superior a 900mm.

El conjunto de apoyos consta de tres piezas de diferentes alturas. Su geometría es un prisma de base rectangular, de anchura superior a la de la guía carril. La base del prisma está inclinada con la misma pendiente que el banco de ensayos para salvar el desnivel antes mencionado. Adicionalmente, la base del prisma tiene dos cortes que facilitan el paso del agua que cae al banco hasta el desagüe.

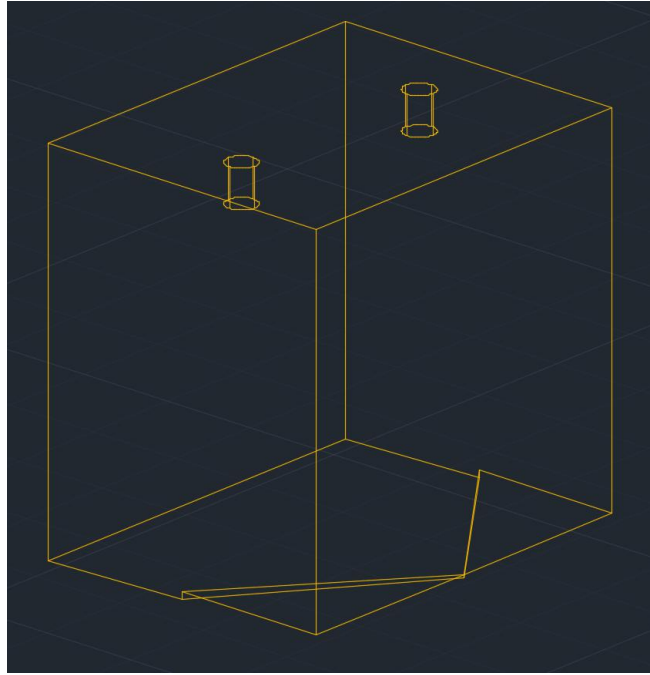


Imagen 26. Geometría Soporte de guía carril

En la imagen se pueden apreciar tanto los dos vaciados cilíndricos, donde se introducen los tornillos que acoplan la guía carril al soporte, como los dos cortes en forma de cuña, antes mencionados.

8.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA SUJECIÓN

Para realizar un dimensionamiento óptimo de todos los elementos se tendrá en cuenta el siguiente orden de prevalencia:

Elementos del laboratorio > Elementos comerciales > Piezas con diseño modificable

Teniendo en cuenta esta prioridad, las primeras dimensiones a tener en cuenta son el DN de las tuberías, la longitud de la sección del banco de ensayo y el desnivel entre extremos de la sección de ensayo. Sus correspondientes dimensiones son:

- DN tubería: 50mm
- Longitud sección banco de ensayo: 2500mm
- Desnivel: 50mm. Siendo la altura máxima y mínima desde la base del banco hasta la parte inferior de la tubería de 115mm y 65mm respectivamente.

8.3.1 Elementos comerciales

Los elementos comerciales seleccionados son tres: abrazadera, tornillo Allen y guía carril. A continuación, se exponen todas las dimensiones representativas de las piezas nombradas.

8.3.1.1 Guía carril

La guía carril seleccionada ha de tener un diámetro de eje de 16mm. Este diámetro es lo suficientemente grande como para soportar las cargas transversales generadas al sellar el sistema de ensayo y no supone un tamaño excesivo respecto a las dimensiones del banco.

Se realiza una representación del perfil de la guía carril y no se muestran las cotas directamente de catálogo, debido su mala calidad de imagen.

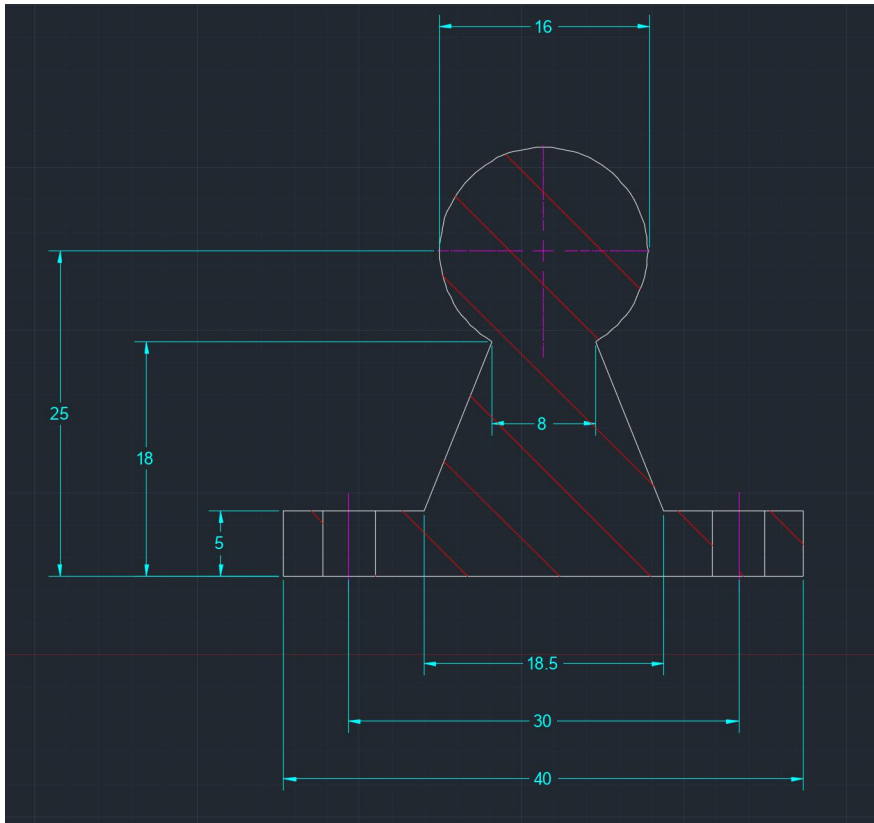


Imagen 27. Dimensiones guía carril



Imagen 28. Guía carril

Se utilizan únicamente las guías carril de la imagen, no las piezas móviles. La distancia entre los agujeros pasantes mediante los cuales se une la guía carril a los soportes es de 150mm.

8.3.1.2 Abrazadera

La abrazadera seleccionada para sujetar las secciones de tubería tiene las siguientes dimensiones:

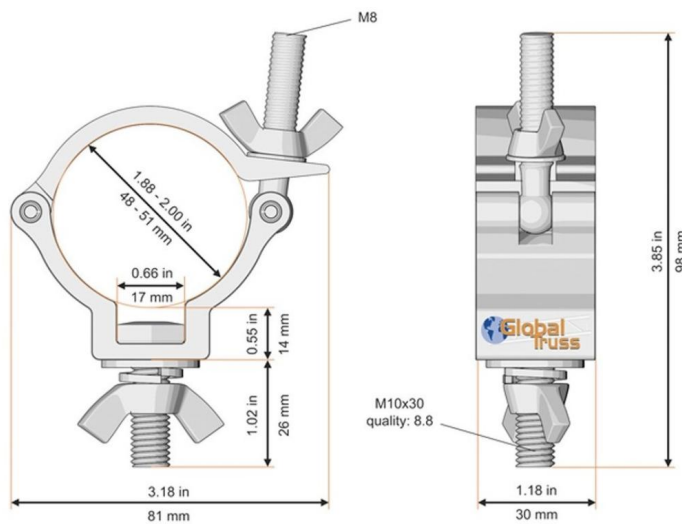


Imagen 29. Dimensione abrazadera

De la imagen anterior se toman en cuenta todas las cotas exceptuando las correspondientes al tornillo y la tuerca, ya que estos no se utilizan para fijar la abrazadera a la pieza apoyo.

8.3.1.3 Tornillo Allen

Para seleccionar las dimensiones de este tornillo, hay que tener en cuenta las dimensiones de la abrazadera. Como se aprecia en la imagen xx, la altura máxima de la cabeza del tornillo no puede ser mayor de 9mm, ya que si no entraría en contacto con la abrazadera. Estos 9mm se obtienen de restar a 14mm el grosor de la base de la abrazadera, el cual, tras consultarlo con el fabricante de la misma, garantiza no ser mayor de 5mm.

Las cotas del tornillo Allen están normalizadas con la norma DIN 912. De dicha norma se han sacado las siguientes dimensiones de tornillo.

MÉTRICA		M4	M5	M6	M8	M10
Ødk: diámetro de la cabeza	[mm]	7	8,5	10	13	16
s: distancia entre caras de la huella	[mm]	3	4	5	6	8
k: espesor cabeza	[mm]	4	5	6	8	8
Llave de Instalación		Allen 3	Allen 4	Allen 5	Allen 6	Allen 7

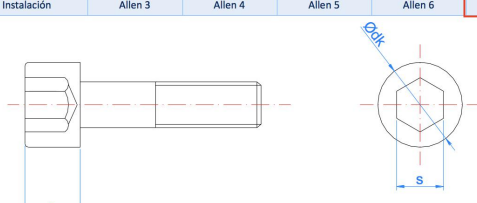


Imagen 30. Medidas norma DIN 912

La longitud del vástago según norma puede ser de entre 16 y 100mm. La seleccionada en el tornillo empleado de 16mm con 11mm de longitud de rosca.

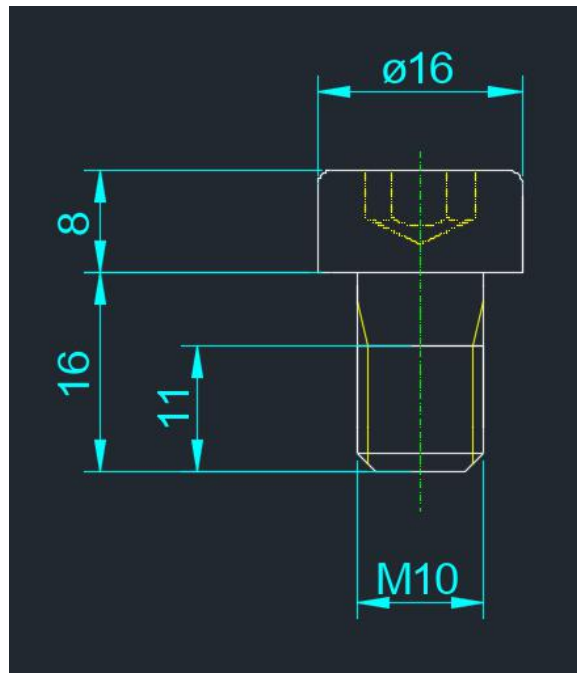


Imagen 31. Dimensión tornillo Allen

8.3.2 Elementos no comerciales

Una vez seleccionados todos los elementos comerciales, se pasa a dimensionar el resto de piezas. Hay que tener en cuenta todas las cotas de las piezas comerciales al diseñar estos elementos para lograr que todas las piezas encajen entre sí y que la sujeción tenga las medidas necesarias para garantizar un buen funcionamiento.

8.3.2.1 Pieza Apoyo

El dimensionamiento de esta pieza es esencial para lograr que la sujeción desempeñe su función de forma óptima. Para ello, ha de cumplir con tres requisitos:

- La altura de la guía carril, más la distancia entre el punto de contacto del apoyo con la guía hasta la parte inferior de la tubería tiene que ser exactamente 65mm.
- El vaciado inferior del apoyo tiene que permitirle desplazarse sin oposición y evitar su rotación, respecto del eje longitudinal de la guía.
- La abrazadera debe apoyarse sobre el vaciado superior del apoyo y permitir al tornillo Allen enroscarse hasta que la cabeza entre en contacto con la abrazadera. De esta forma el tornillo Allen fija ambas piezas.

Para cumplir todas las condiciones, los vaciados y el casquillo tienen las dimensiones mostradas en la imagen.

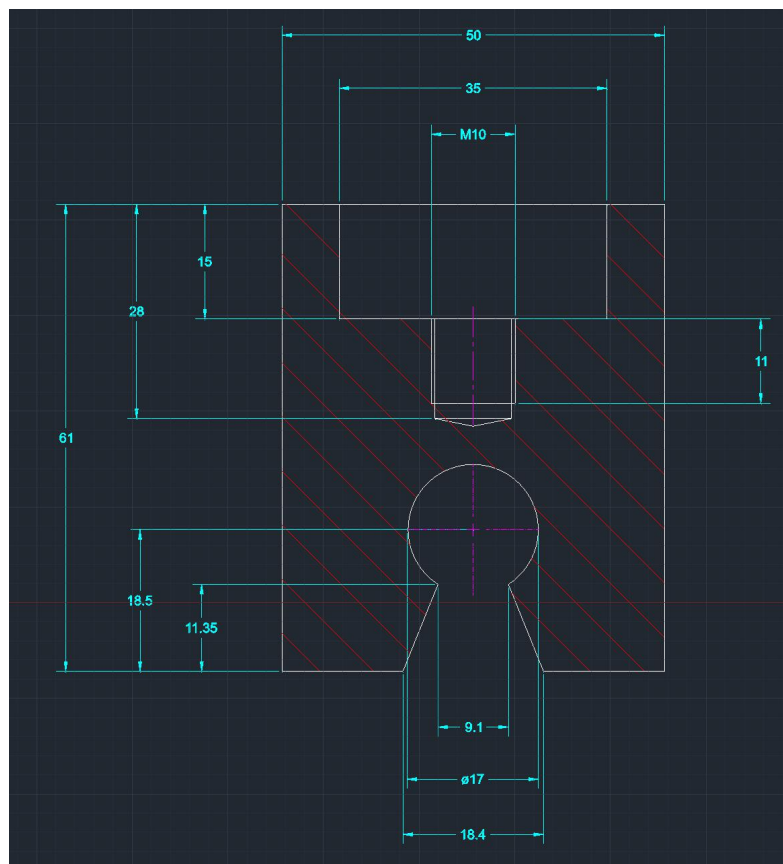


Imagen 32. Dimensión alzado Apoyo

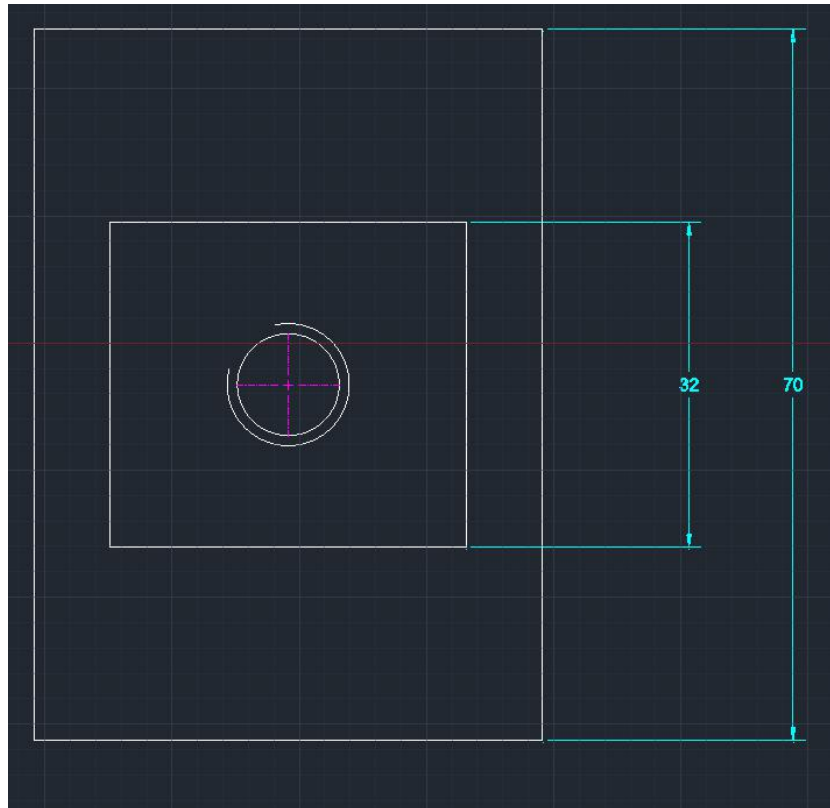


Imagen 33. Dimensión planta Apoyo

El vaciado inferior respecto al perfil de la guía carril está sobredimensionado. En cuanto al vaciado superior, la hembra donde se acopla el tornillo tiene su misma longitud de rosca y 2mm más de vaciado para que éste se pueda apretar hasta que la cabeza entre en contacto con la abrazadera. El vaciado donde encaja la abrazadera también se sobredimensiona, para que ambas piezas contacten únicamente en la superficie de apoyo.

8.3.2.2 Conjunto piezas soporte guía carril

Este conjunto de piezas está formado por unidades de distinta altura. Para dimensionar cada pieza hay que tener en cuenta tres condiciones.

- La distancia entre apoyos de la guía carril es de 150mm
- La longitud de la guía es de 2500mm y el desnivel a salvar de 50mm
- La distancia máxima entre apoyos recomendada por el fabricante de 1350mm

Bajo estas condiciones hay que dimensionar la inclinación de la parte inferior y el número de soportes a utilizar. Por suerte, como la relación entre el desnivel del banco de ensayos y la longitud de la guía carril es muy elevada, del orden de 50 veces mayor, el fallo cometido por no colocar el soporte en el punto exacto donde debiera es muy pequeño y despreciable.

El número de soportes será 3. Esto supone que la distancia entre apoyos sea de 900mm. Sin embargo, la distancia ideal entre apoyos debe ser de 833mm, pero tras realizar unos sencillos cálculos, la guía carril queda en uno de los apoyos 1,5mm por encima de lo que debería. Este error cometido es despreciable ya que se compensa con la propia elasticidad de los diferentes elementos que componen la sección de ensayo.

El diseño para los tres soportes es el mismo, variando únicamente su altura. Los otros dos tienen una altura de $1/3$ y $2/3$ respecto del soporte mostrado a continuación.

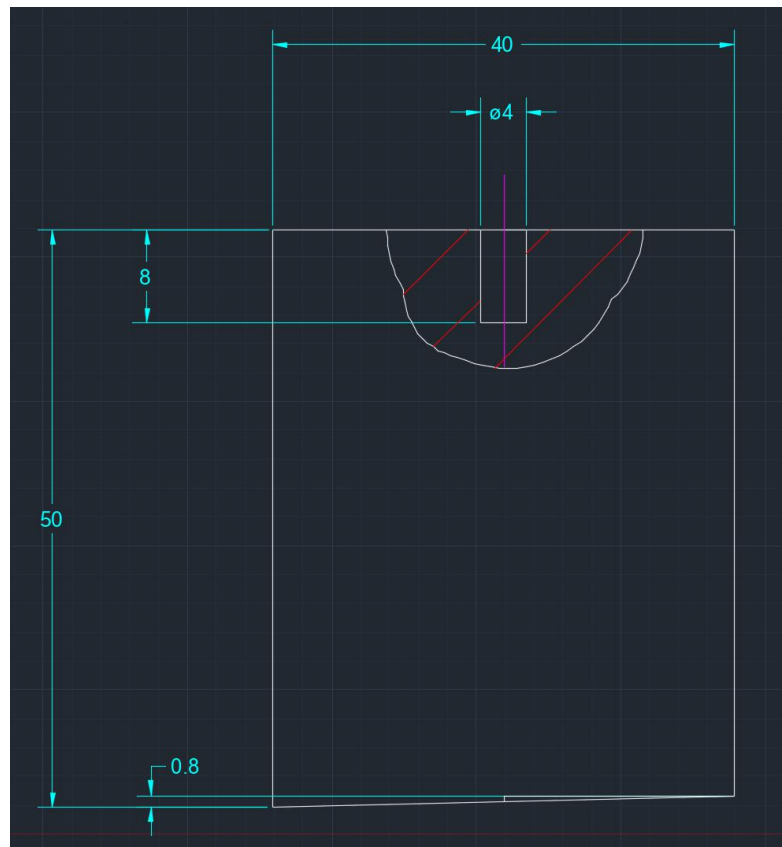


Imagen 34. Dimensión soporte guía carril

8.4 REPRESENTACIÓN UNIÓN ENTRE PIEZAS

A continuación, se muestran las dos uniones entre piezas más relevantes de la sujeción.

8.4.1 Unión Abrazadera - Apoyo

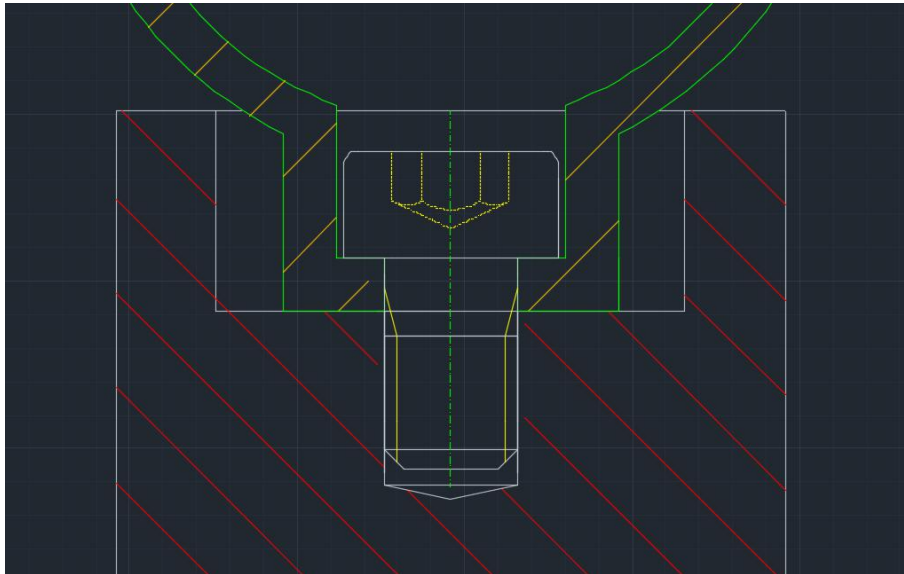


Imagen 35. Unión abrazadera - Apoyo

Como se aprecia en la imagen, únicamente entran en contacto la parte inferior de la abrazadera y el vaciado del apoyo. El tornillo Allen debidamente apretado no interacciona con la tubería cuando ésta descansa sobre la abrazadera.

8.4.2 Unión Apoyo - Guía carril

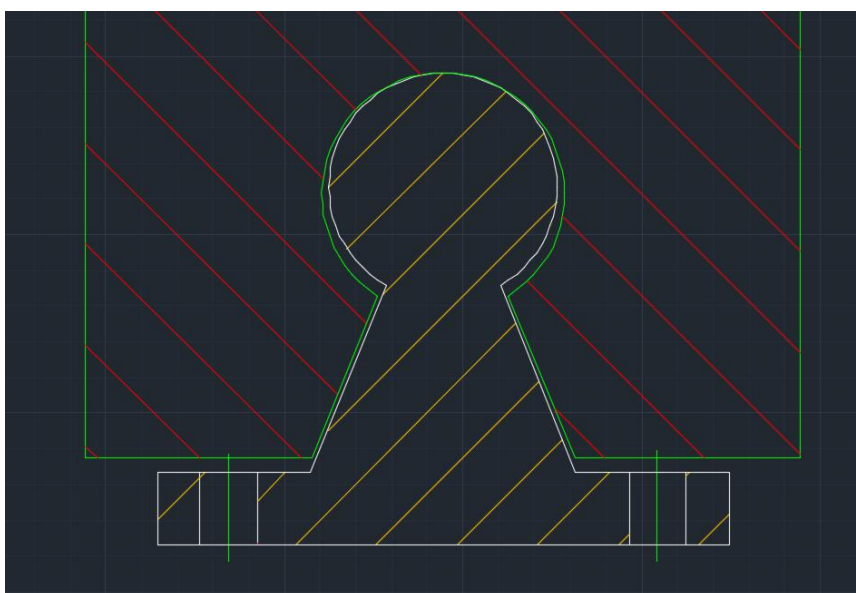


Imagen 36. Unión guía carril - Apoyo

El contacto entre ambas piezas se produce en un único punto, en la parte superior de la guía carril. El resto de dimensiones son ligeramente superiores a las de la guía. De esta forma, el apoyo desliza con facilidad por la guía y no rota.

9 ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CASQUILLOS

9.1 INTRODUCCION

En todo proceso de diseño de cualquier pieza, antes de proceder a su fabricación, se debe garantizar que el diseño sea correcto y cumpla con las condiciones de trabajo a las que se verá sometida. Para asegurarse de que es un buen diseño, se pueden realizar ensayos reales, donde se prueban las piezas bajo cargas de trabajo o se puede hacer una simulación mediante Elementos Finitos (EF).

Los datos más fiables se obtienen siempre de estudios con las piezas reales, pero estos pueden resultar muy costosos. En el caso de este proyecto, debido a la pandemia del Covid-19 no se han podido testear las piezas, por lo que únicamente se ha realizado el estudio de EF. Para elaborar las simulaciones de los casquillos se ha utilizado el programa informático ANSYS.

El proceso de análisis que sigue cualquier software de EF consta de tres partes: preprocesador, procesador y postprocesador.

En el preprocesador el analista debe introducir todos los datos necesarios para definir completamente las piezas a estudiar, así como qué resultados se quieren obtener. Esta es la parte más importante de todo el estudio, ya que dependiendo de como se realice, el análisis será eficiente y de calidad.

En la parte del procesador, de forma muy simplificada, lo que hace cualquier software de EF es discretizar la pieza a estudiar, en elementos de tamaño muy pequeños, asociando y resolviendo para cada nodo (vértice) del elemento la ecuación (1).

$$(1) \{F\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

Donde $\{F\}$ es el vector de solicitaciones, $\{\delta\}$ el vector de deformaciones y $[K]$ la matriz de rigidez del elemento.

La incógnita en la ecuación por lo general es $\{\delta\}$, ya que las condiciones de trabajo a las que se ve sometida la pieza son conocidas. Sabiendo la deformación de cada elemento, utilizando las ecuaciones referentes a la disciplina de Resistencia y Elasticidad de materiales se calcula su tensión y demás datos relevantes.

Por último, en el postprocesador el analista estudia los resultados obtenidos y decide si el estudio es correcto o por lo contrario quiere modificar algún parámetro del preprocesador.

9.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El objetivo principal de este estudio es aportar información relevante acerca de los casquillos diseñados en el proyecto. Para ello, se requiere saber si las piezas van a soportar las diferentes cargas a las que se van a ver sometidas y conocer cuales serán las zonas críticas de las mismas. Obteniendo esta información, en caso de que fuera necesario, se podría modificar la geometría de las piezas con tal de asegurar su buen funcionamiento.

El estudio que se va a realizar, va a ser una comparativa de cada casquillo fabricado mediante dos materiales diferentes: ABS y Resina.

Ambas piezas serán fabricadas mediante impresoras 3D. Como los procesos de fabricación de cada material son diferentes y tienen parámetros que se definen una vez se fabrica la pieza, se considera que ambas están fabricadas de forma compacta. Como no se pueden tener en cuenta todos los parámetros que programan la impresión de las piezas, se va a realizar un estudio con un coeficiente de seguridad elevado.

Para obtener dicho coeficiente de seguridad, se aplican cargas a las piezas mucho mayores a las que se les someterá durante los ensayos y se seleccionan las cualidades mecánicas más desfavorables de cada material. De esta forma, si las piezas estudiadas no fallan bajo las condiciones de trabajo, se garantiza su buen funcionamiento.

9.3 PARÁMETROS DE ESTUDIO

A continuación, se muestra cómo se han definido cada uno de los parámetros que toman parte en el estudio.

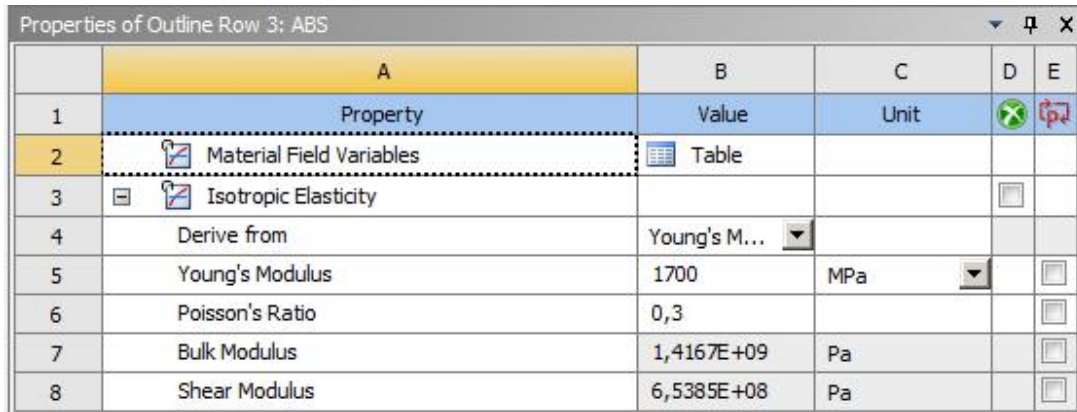
9.3.1 Material

Un material queda totalmente definido con los datos “E” (Módulo de Young) y “ ν ” (coeficiente de Poisson). Los materiales a utilizar son ABS y Resina. Como ya se ha señalado antes, se introducen las características mecánicas del material más desfavorables.

- ABS

$$E = 1700MPa$$

$$\nu = 0,3$$



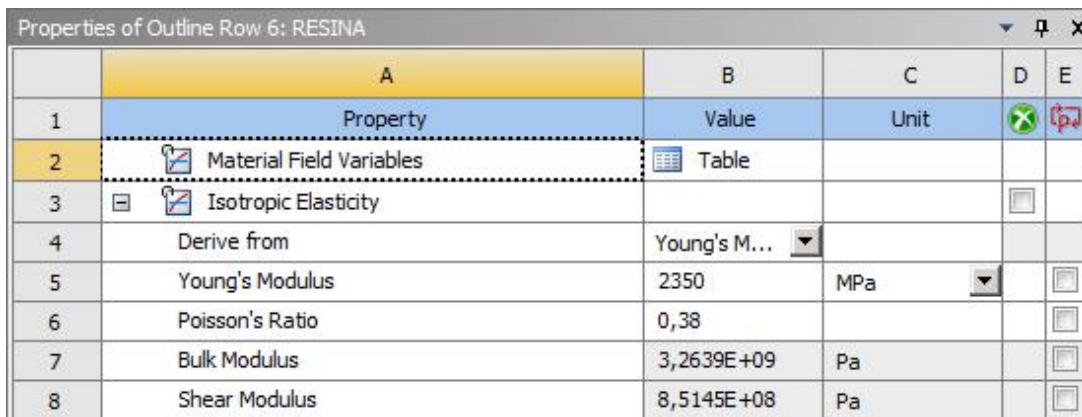
Properties of Outline Row 3: ABS				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/> Material Field Variables	Table		
3	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
4	Derive from	Young's M... <input type="text"/>		
5	Young's Modulus	1700	MPa <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
6	Poisson's Ratio	0,3		<input type="checkbox"/>
7	Bulk Modulus	1,4167E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
8	Shear Modulus	6,5385E+08	Pa	<input type="checkbox"/>

Imagen 37. Valores de E y ν para ABS

- Resina

$$E = 2350MPa$$

$$\nu = 0,38$$



Properties of Outline Row 6: RESINA				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/> Material Field Variables	Table		
3	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
4	Derive from	Young's M... <input type="text"/>		
5	Young's Modulus	2350	MPa <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
6	Poisson's Ratio	0,38		<input type="checkbox"/>
7	Bulk Modulus	3,2639E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
8	Shear Modulus	8,5145E+08	Pa	<input type="checkbox"/>

Imagen 38. Valores de E y ν para Resina

Para definir los materiales también se pueden utilizar otros parámetros como módulo de corte (G) o el módulo de compresión (K). Introduciendo en el programa ANSYS dos de los parámetros, el material queda definido completamente.

9.3.2 Geometría de la pieza

La geometría de cada pieza es la misma que la diseñada anteriormente. En este caso se trata de una pieza axisimétrica, ya que toda su geometría y cargas aplicadas son simétricas respecto del eje longitudinal de la pieza. Esto supone una gran ventaja a la hora de realizar el estudio, ya que se puede analizar únicamente la sección transversal de la pieza, obteniendo los mismos resultados que si se estudiase la pieza al completo. No obstante, al ser un elemento que no requiere gran cantidad de nodos, debido a su geometría simple y tamaño pequeño, se estudia únicamente un dieciseisavo de la pieza. De esta forma, el coste computacional no es elevado y se ilustran mejor los resultados del análisis.

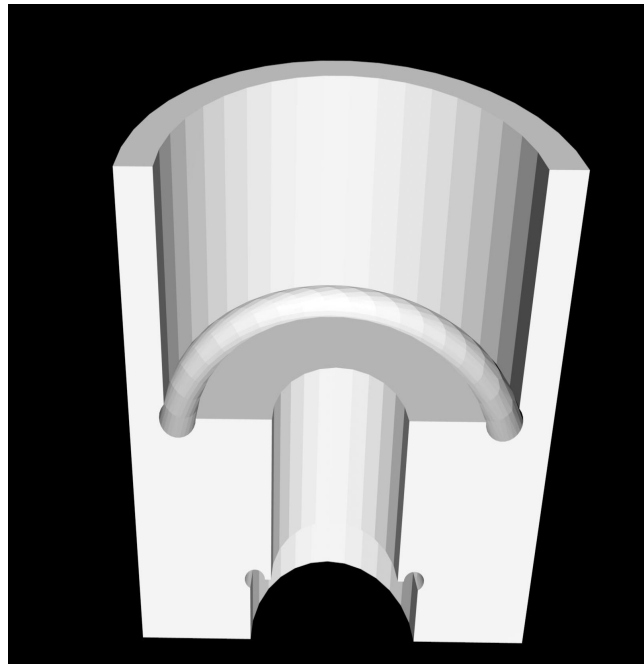


Imagen 39. Geometría pieza a analizar

9.3.3 Apoyos

Se ha empotrado la cara exterior del casquillo ya que esta es la parte de la pieza menos solicitada. Prácticamente no sufre ninguna carga ni deformación debido a que los contactos con el contador, tubería y juntas se producen en las caras interiores.

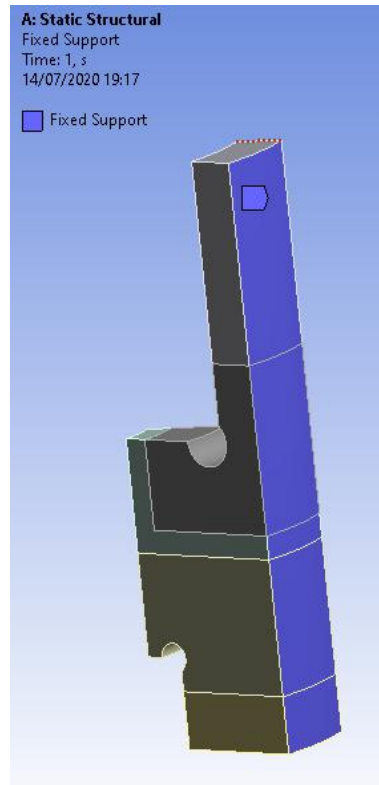


Imagen 40. Apoyo empotramiento

9.3.4 Cargas

El casquillo va a sufrir tres cargas de compresión. Estas cargas son las transmitidas por cada junta tórica debido a las fuerzas de compresión ejercidas por el brazo hidráulico y por la presión del agua que circula por el sistema.

La presión en las hendiduras se aplica normal a la superficie y va a tener diferentes valores debido a que el sumatorio de fuerzas que sufre el casquillo es igual a cero y una de las hendiduras es mayor que la otra. La presión ejercida por las juntas es del orden de 3 veces mayor en la pequeña, no obstante, para mantener el carácter conservador del estudio, se aplica la mitad de la presión sobre la junta grande.

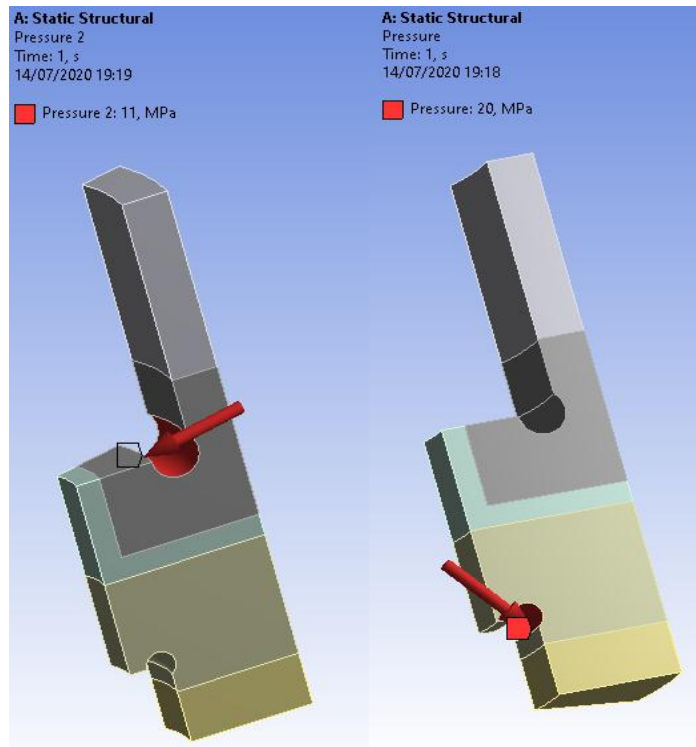


Imagen 41. Cargas transmitidas por juntas

La presión ejercida por el agua del circuito es aplicada normal a la superficie interior del casquillo y también se mayor.

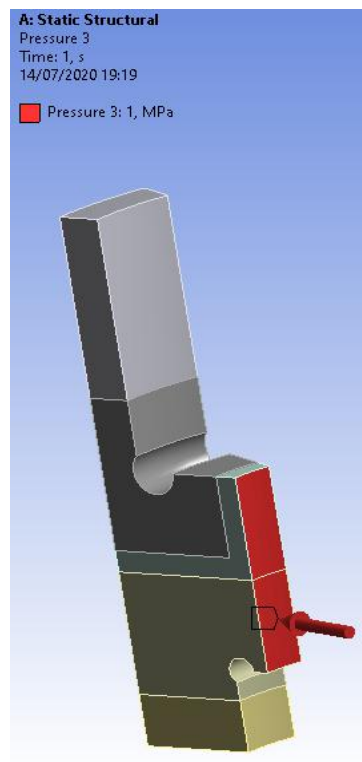


Imagen 42. Carga ejercida por el agua

El módulo de las cargas viene reflejado en la siguiente tabla.

	MODULO (MPa)
PRESION HENDIDURA PEQUEÑA	20
PRESION HENDIDURA GRANDE	11
PRESION AGUA	1

Tabla 8. Módulo de las cargas aplicadas

9.3.5 Mallado

Definir el mallado que va a tener la pieza a estudiar, es el paso más importante de todo el estudio. En este punto el operario estima cual va a ser el tamaño de los elementos, la geometría y orden de los mismos. Los parámetros a elegir han de garantizar la mayor precisión posible a un gasto computacional aceptable.

En el análisis de los casquillos, tras comprobar que reducir el tamaño de elementos no generaba datos más precisos, se divide la pieza en tres partes diferentes. Por un lado, a las zonas donde no se generan cargas ni deformaciones relevantes se les aplica un tamaño de elemento mayor que a las zonas con altos requerimientos. Estas zonas críticas son las inmediaciones de las hendiduras.

El mallado por tanto queda de la siguiente forma con los tamaños de elemento mostrados en la tabla.

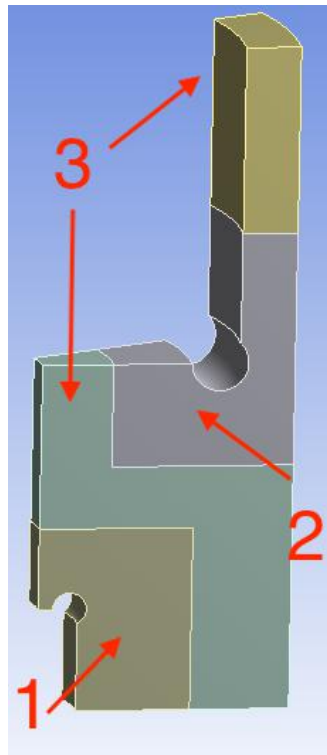


Imagen 43. Zonas para el mallado

	TAMAÑO ELEMENTO (mm)
ZONA 1	2
ZONA 2	3
ZONA 3	1

Tabla 9. Tamaño elementos

9.3.6 Cálculos

Al igual que los aceros, tanto el material ABS como la Resina se comportan como materiales dúctiles. Por ello, se requiere del programa de elementos finitos obtener los resultados necesarios para comprobar si la pieza falla. Estos resultados son las deformaciones totales sufridas por la pieza y la tensión equivalente de Von Mises.

En el caso del material ABS, la tensión equivalente no puede superar a una tensión de fluencia de 65MPa o una deformación superior al 20%. La Resina sin embargo presenta peores condiciones mecánicas que el ABS, ya que su tensión de fluencia es de 56MPa y soporta una deformación sin entrar en estado plástico de hasta un 6%.

No obstante, como se verá posteriormente, la deformación no va a ser el factor limitante, ya que las deformaciones sufridas por las piezas, en el peor de los casos no supera el milímetro.

9.4 ESTUDIO DE LOS CASQUILLO

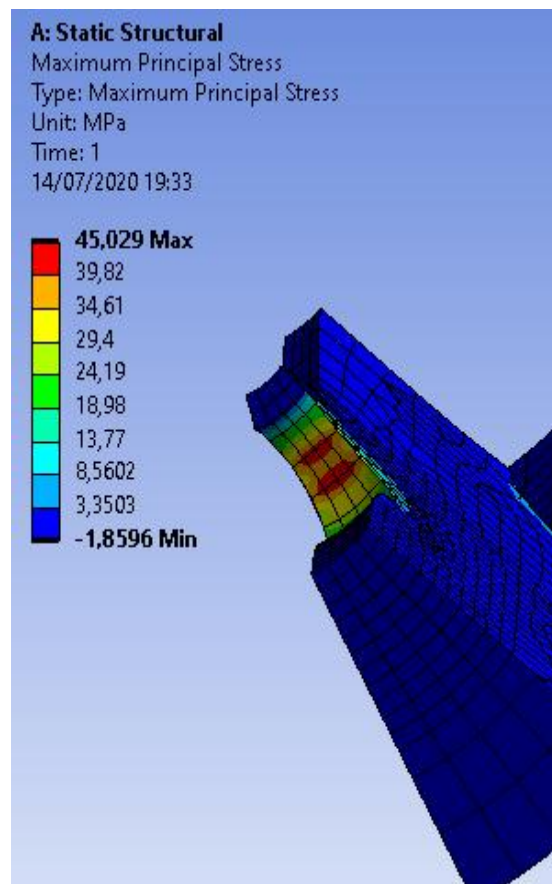
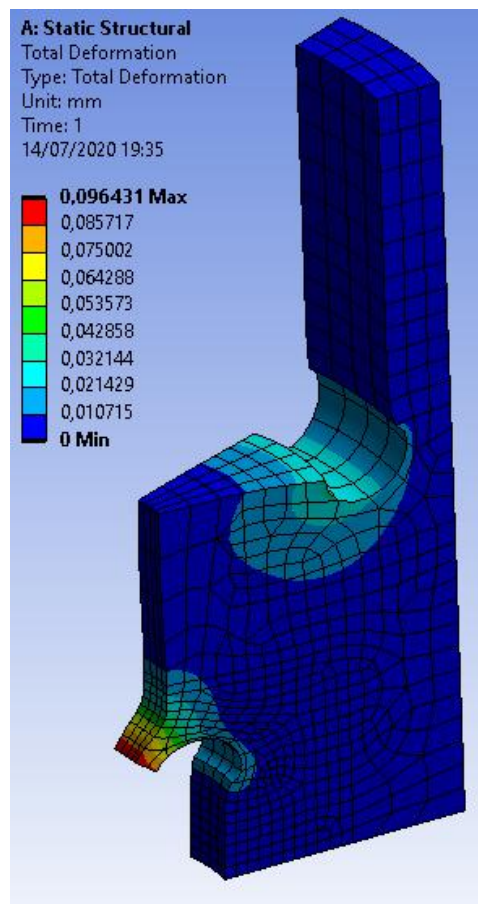
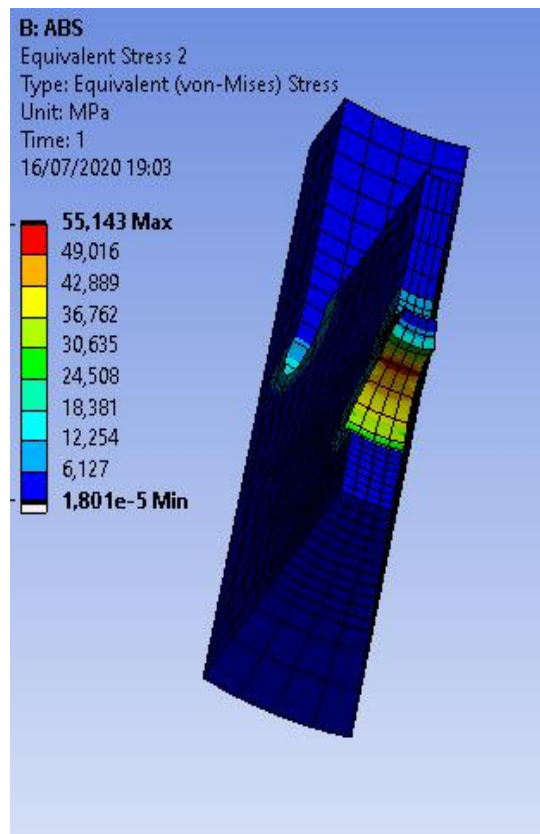
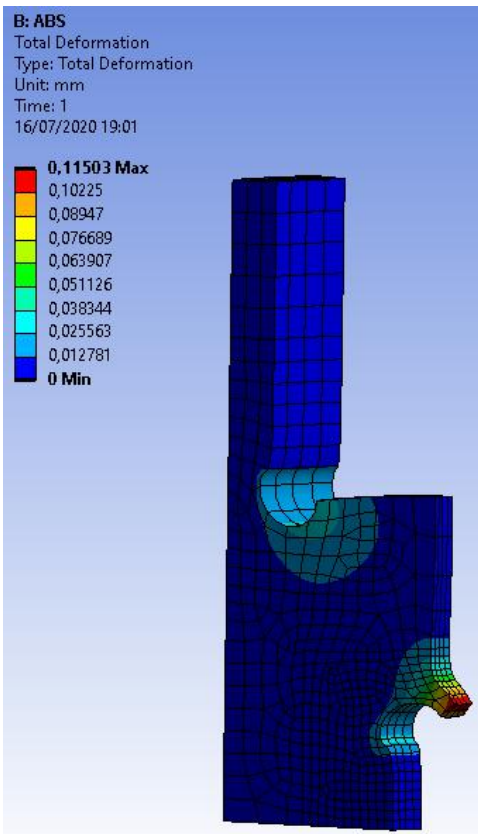
Cada casquillo se va a ver sometido al mismo tipo de estudio, la única diferencia entre ambos es el material del que están compuestos. Los estudios más delicados a priori, van a ser los casquillos DN13-G 1/2 x 14H y DN15-G 3/4 x 14H, ya que estos tienen la diferencia más acentuada entre el tamaño de las hendiduras, lo cual genera que la tensión en la hendidura pequeña sea la más grande. Por ello, para mantener el carácter conservador del estudio, se utiliza dicha relación crítica en el resto de los casos.

A continuación, se muestra la representación de las deformaciones y tensión de Von Mises generadas en los diferentes casquillos. Con el fin de no alargar en exceso los datos obtenidos en el estudio, se van a mostrar 4 imágenes por casquillo. Arriba las piezas fabricadas mediante ABS y abajo las de Resina. A la izquierda los datos referentes a las deformaciones y a la derecha las tensiones de Von Mises.

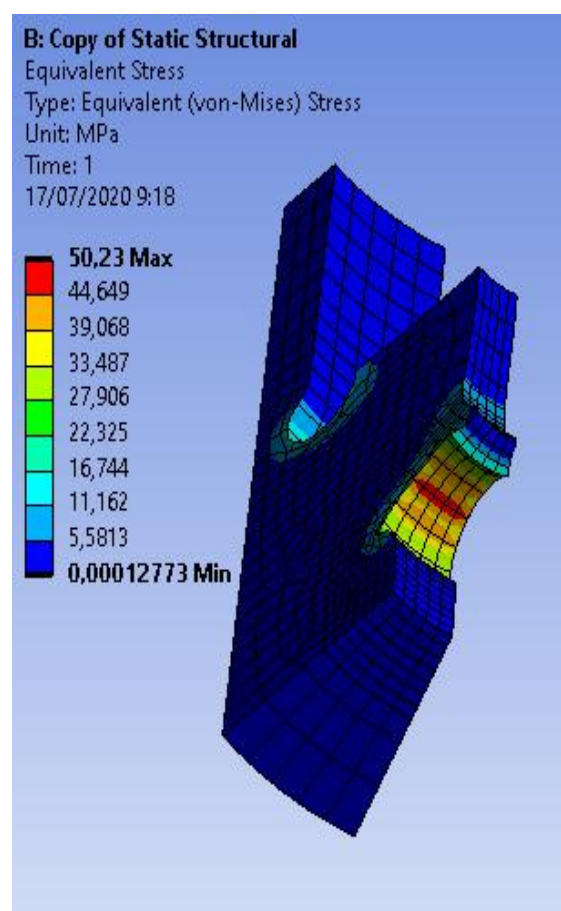
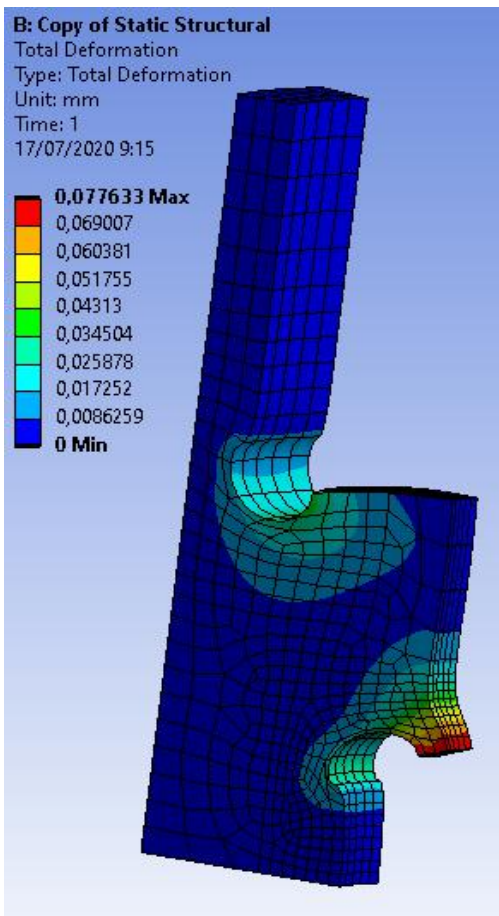
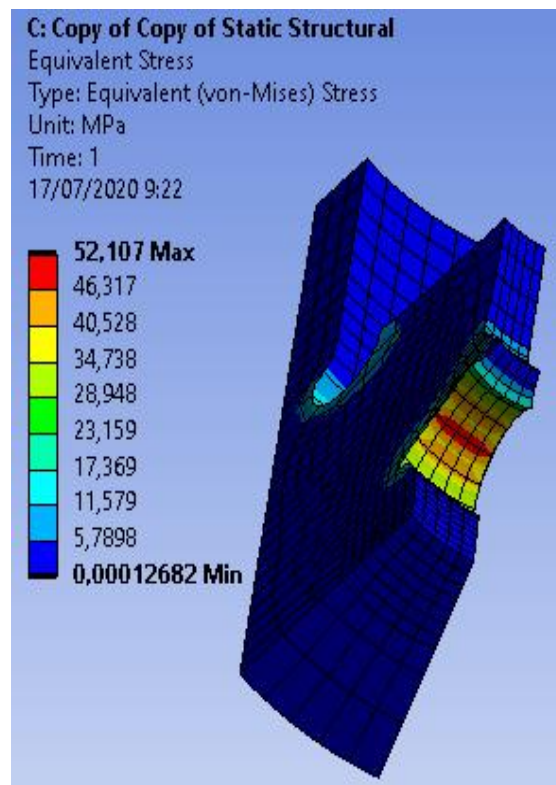
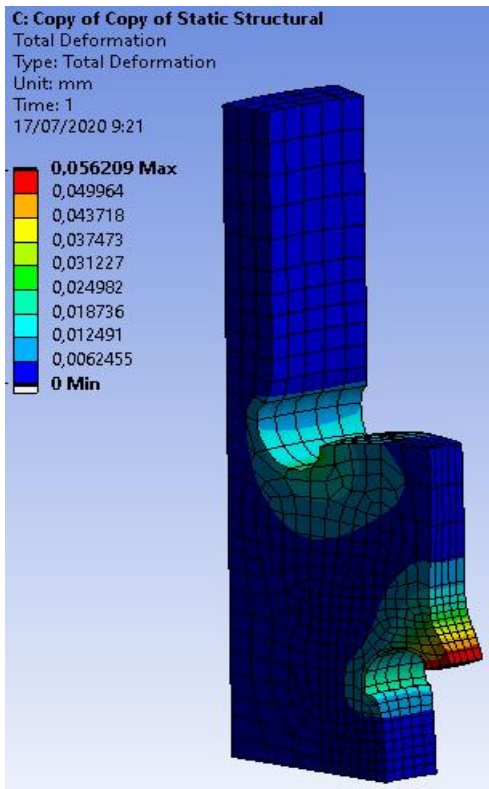
Hay que destacar que las imágenes mostradas reflejan para cada caso, las zonas donde se producen las tensiones y deformaciones más desfavorables. El resto de regiones sufrirá por tanto condiciones menos restrictivas.

Por último, se muestra una tabla con los valores de cada estudio, reflejando mediante colores si los valores son cercanos a los de fallo.

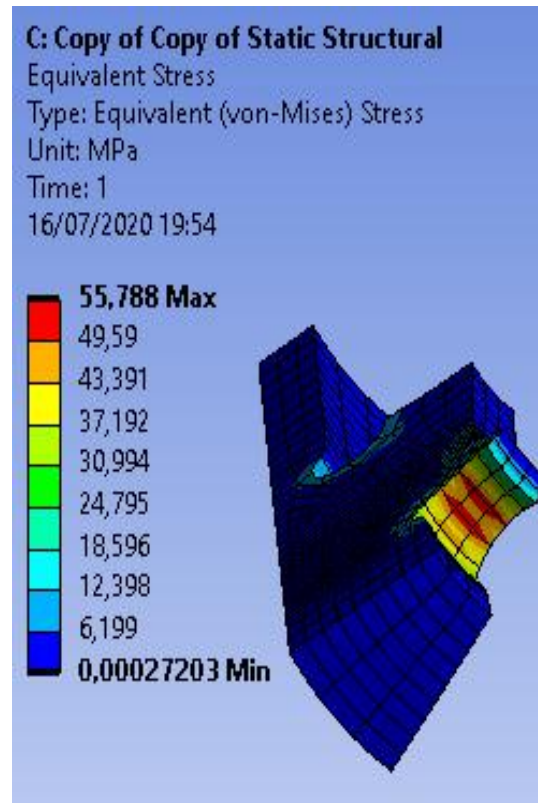
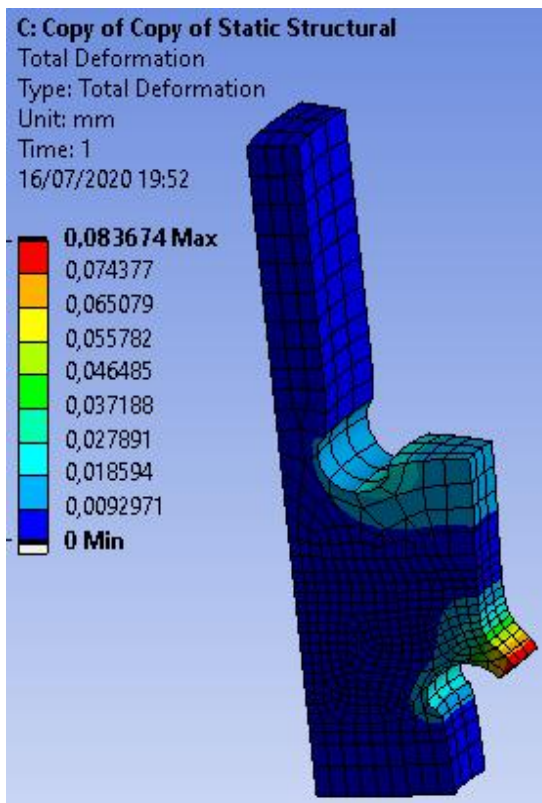
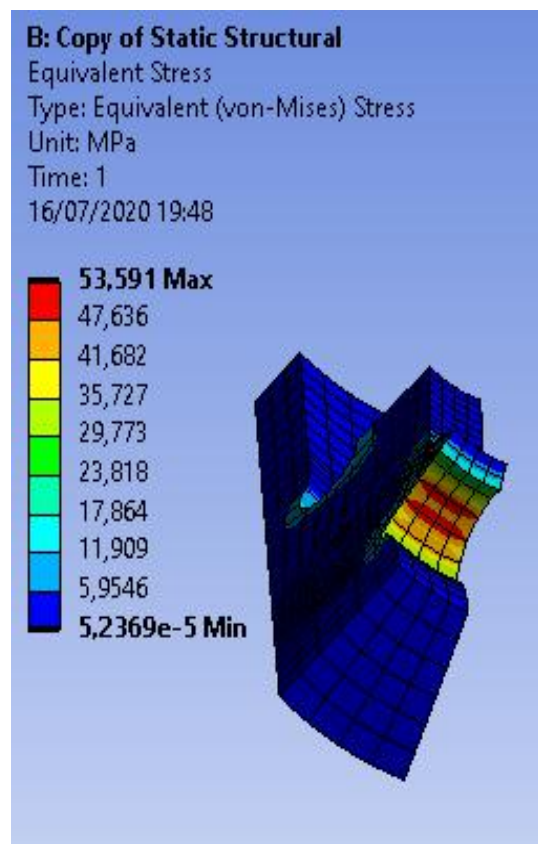
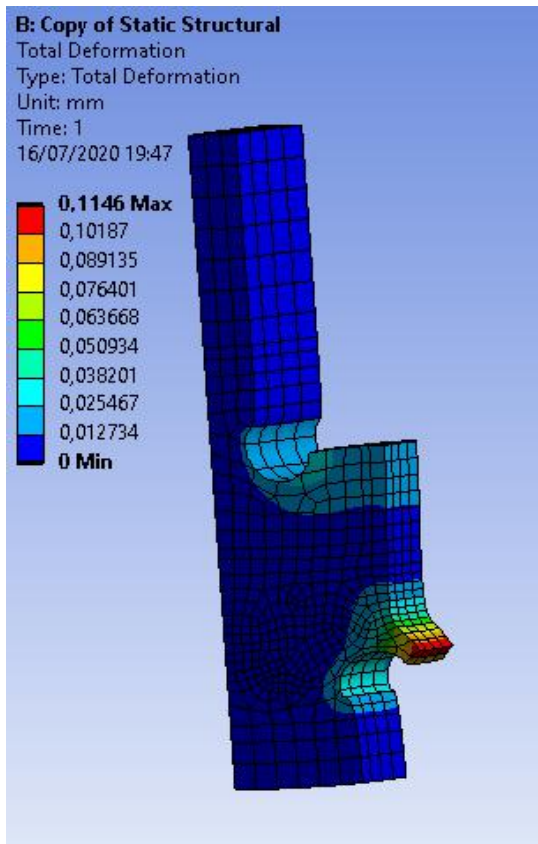
9.4.1 Casquillo DN13 - G 1/2 X 14H



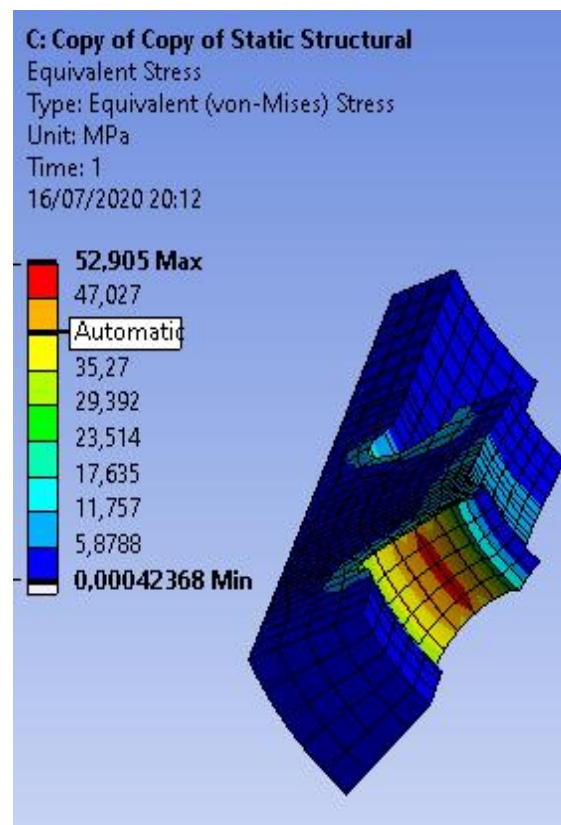
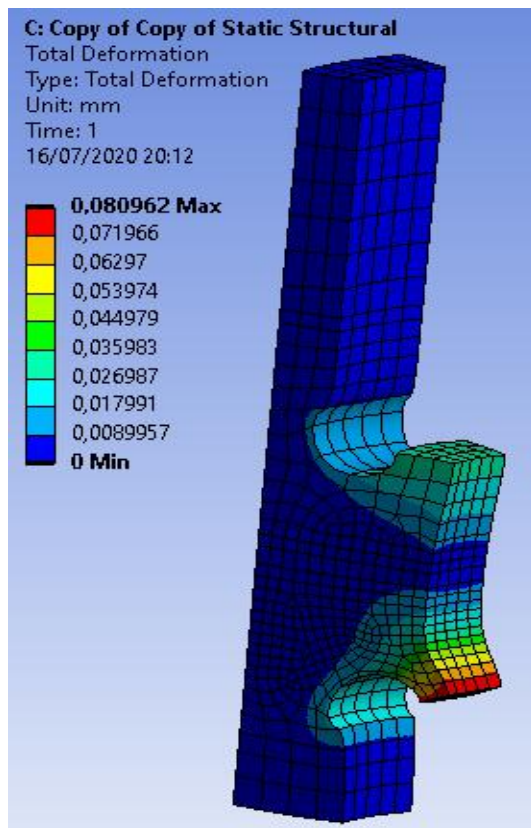
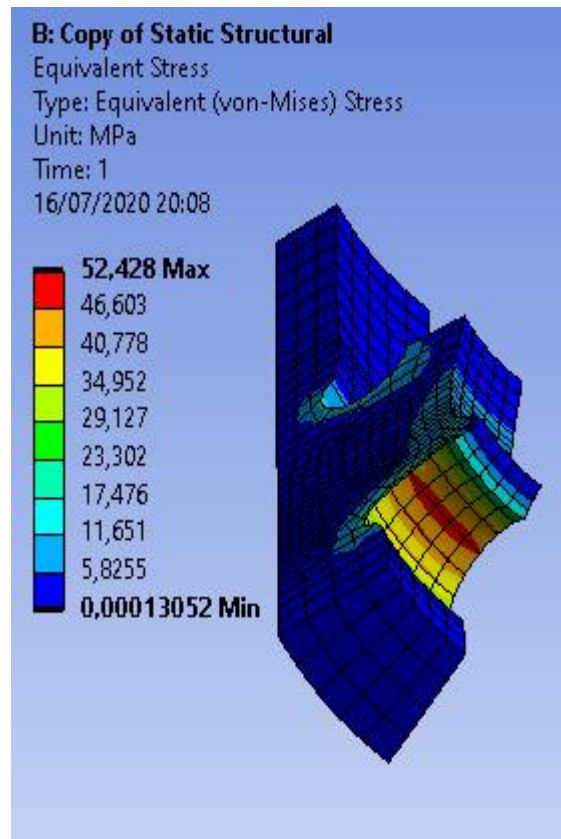
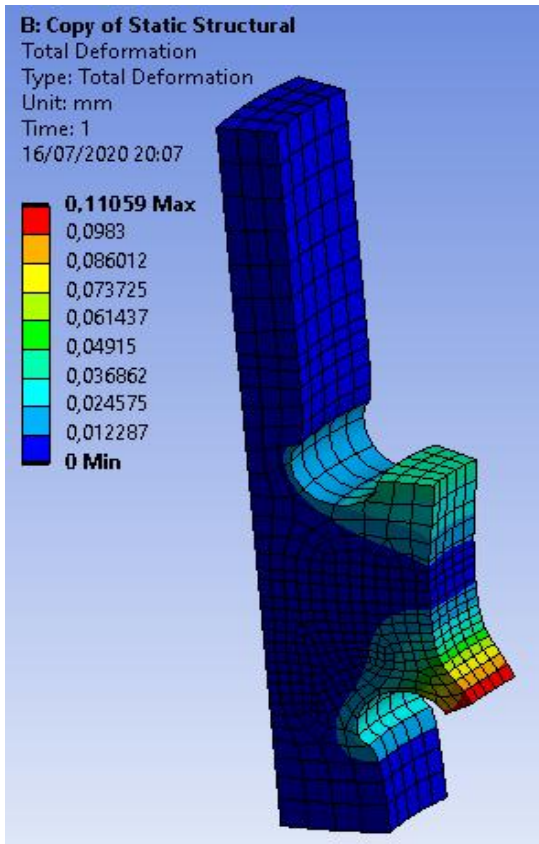
9.4.2 Casquillo DN15 - G 3/4 X 14H



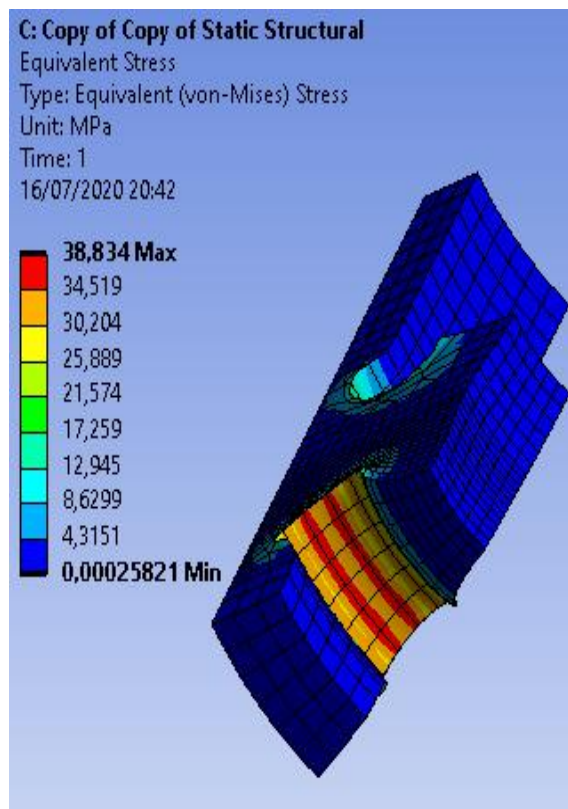
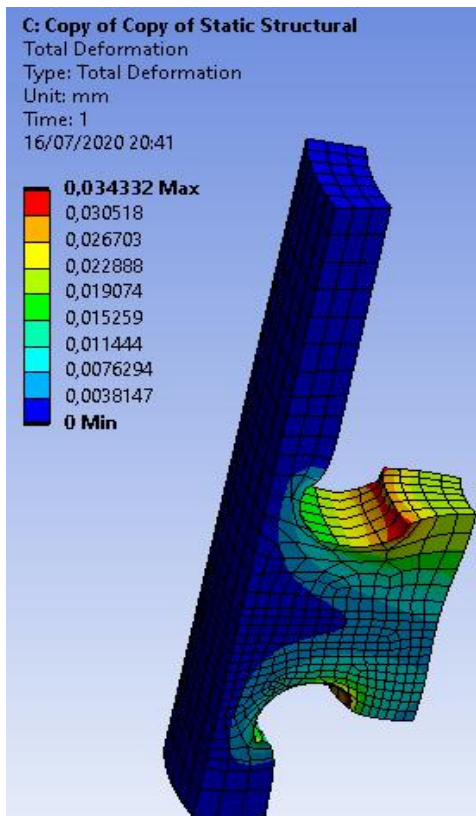
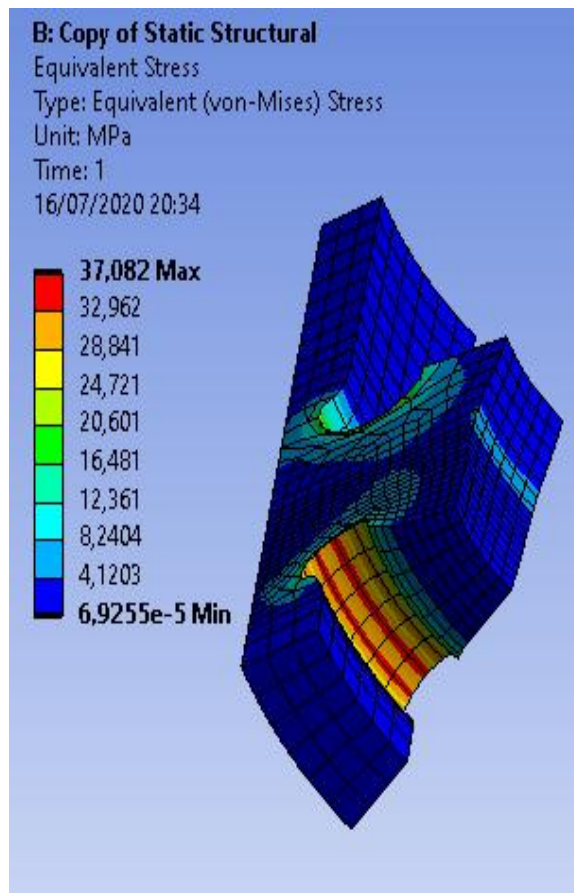
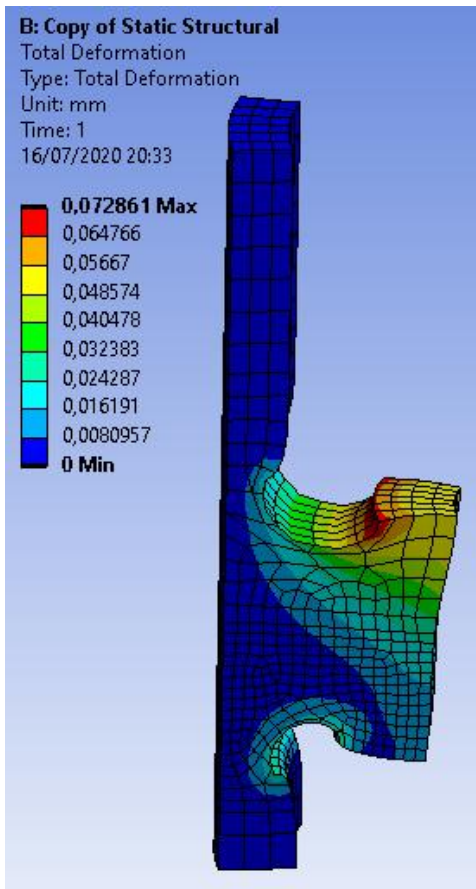
9.4.3 Casquillo DN20 - G 1" X 11H



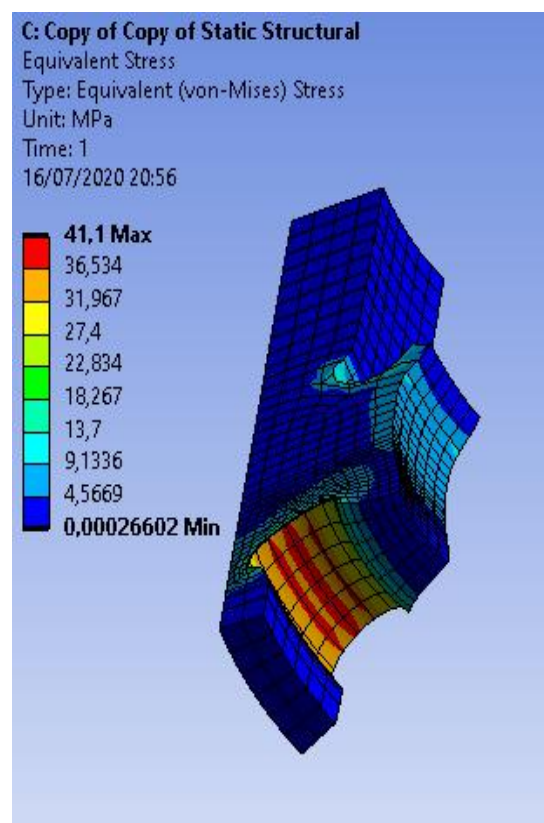
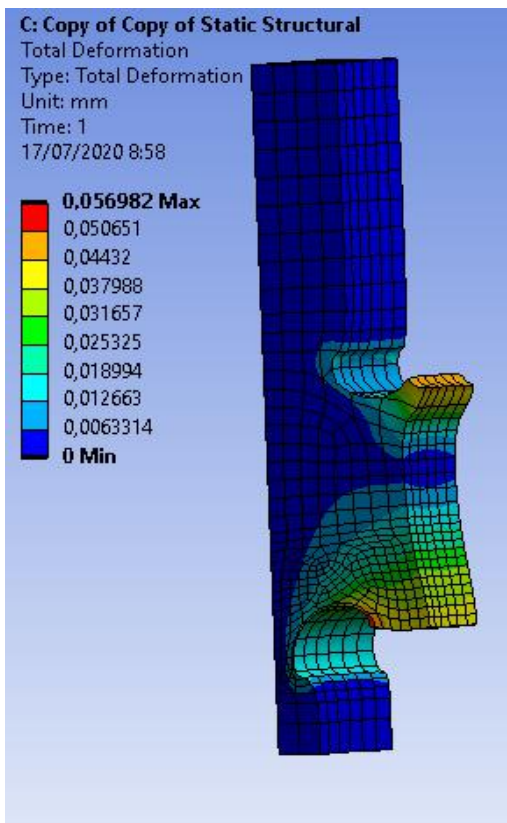
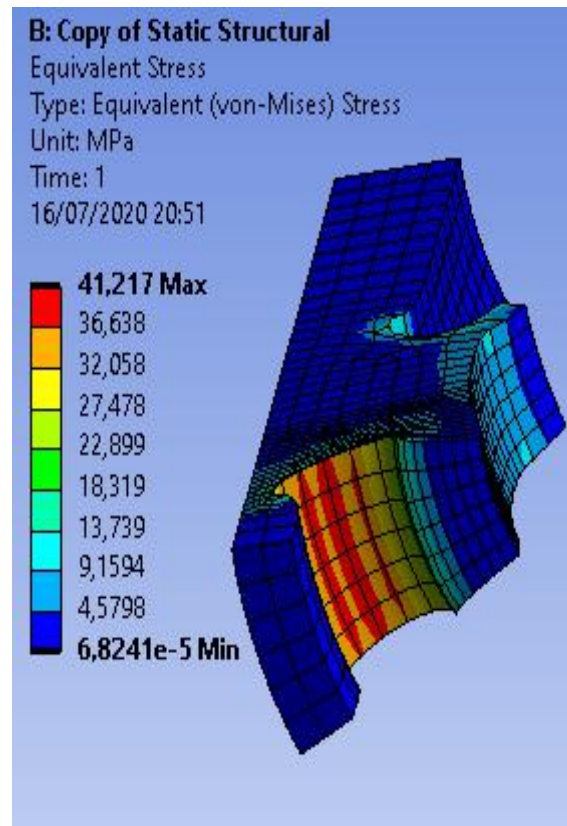
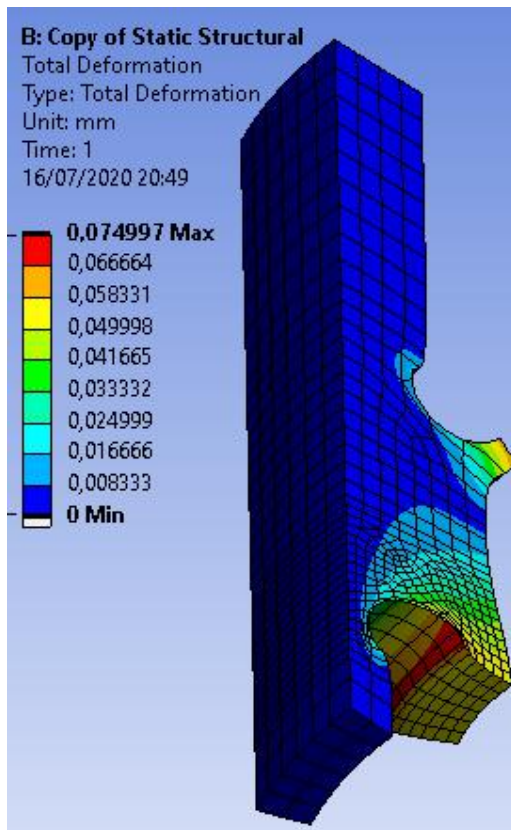
9.4.4 Casquillo DN25 - G 1"1/4 X 11H



9.4.5 Casquillo DN30 - G 1"1/2 X 11H



9.4.6 Casquillo DN40 - G 2" X 11H



En la siguiente tabla se muestran todos los valores obtenidos de deformaciones y tensiones de Von Mises para cada casquillo y material. En esta tabla se aprecia que ninguna de las tensiones generadas en los casquillos supera las anteriormente citadas tensiones de fluencia.

El código de colores refleja si los valores obtenidos superan cierto porcentaje del valor de la tensión de fluencia.

	MATERIAL	DEFORMACIONES (mm)	TENSION DE VON MISES (MPa)
CASQUILLO DN13 - G 1/2 X 14H	ABS	0,115	55,14
	RESINA	0,964	45,03
CASQUILLO DN15 - G 3/4 X 14H	ABS	0,056	52,11
	RESINA	0,078	50,23
CASQUILLO DN20 - G 1" X 11H	ABS	0,115	53,6
	RESINA	0,084	55,79
CASQUILLO DN25 - G 1"1/4 X 11H	ABS	0,11	52,43
	RESINA	0,084	52,91
CASQUILLO DN30 - G 1"1/2 X 11H	ABS	0,073	37,08
	RESINA	0,034	38,83
CASQUILLO DN40 - G 2" X 11H	ABS	0,075	41,1
	RESINA	0,057	41,1

Tabla 10. Resultados con código de colores

> 80%
80% > x > 60%
< 60%

9.5 CONCLUSIONES

Del estudio de elementos finitos realizado para todos los casquillos, se sacan las siguientes conclusiones.

Conclusión 1

Antes de realizar el estudio, se creía que serían los dos casquillos de menor DN los que podrían fallar antes. No obstante, se demuestra que el casquillo más proclive a fallar es el DN20 - G 1" X 11H fabricado en Resina. Como ya se suponía, la Resina es el material que falla antes. No obstante, que sea el casquillo de DN20 el más susceptible a fallar demuestra dos factores críticos de las piezas. Primero, a menor tamaño de hendidura mayor las reacciones generadas en las inmediaciones de ésta. Segundo, cuanto menor sea la distancia entre la hendidura y el vaciado interior por donde circula el agua, mayores deformaciones y tensiones se generan. Esto se debe a que la geometría de la pieza en dicha región sufre todas las cargas y deformaciones por no tener material a su alrededor que le ayude a absorber las cargas.

Conclusión 2

El factor que limita si la pieza falla o no, es la tensión generada en su interior, ya que las deformaciones producidas están lejos de suponer una amenaza para la integridad de las piezas. La mayor deformación no llega ni a un milímetro, valor muy por debajo de las deformaciones de fallo del 20% y 6%.

Conclusión 3

Como se aprecia en la tabla, excepto para el primer y último caso, la Resina genera mayores tensiones y deformaciones que el ABS.

A primera vista, el material a utilizar debería ser el ABS, ya que éste soporta mayores cargas y genera menos tensiones en las zonas críticas. No obstante, en este estudio se han mayorado las cargas aplicadas en más del doble, por lo que cualquiera de las dos piezas soporta las condiciones de trabajo.

Por ello, la decisión de utilizar un material u otro dependerá de otros factores como el acabado que se quiera obtener de las piezas o el coste de producción de las mismas.

10 PROCESO DE FABRICACIÓN MEDIANTE IMPRESORA 3D

A la hora de fabricar cualquier tipo de pieza en una impresora 3D hay que conocer su funcionamiento y manera de trabajar.

De forma simplificada lo que hacen estas máquinas es imprimir la pieza capa por capa en sentido ascendente. Por ello es importante seleccionar una buena orientación para imprimir las piezas, ya que, si la base de la pieza por donde comienza la impresión no es firme, se corre el riesgo de que la pieza se mueva y se arruine la impresión.

Otros factores a tener en cuenta son los puntos ciegos de las piezas. Estos son zonas de la pieza donde la impresora no imprime sobre material, sino que lo hace al aire. Estos puntos se producen comúnmente en vaciados internos de las piezas que suponen un voladizo inferior a 70° respecto de la horizontal. Si esto ocurre y no se puede solucionar mediante el uso de piezas auxiliares o modificando la orientación de impresión, se producen unos acabados no admisibles para partes funcionales de la pieza.

10.1 PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Para realizar cualquier pieza, primero hay que programar los parámetros de impresión que va seguir la máquina 3D. De entre los más importantes se encuentran: draft, altura y grosor de capa, número de paredes y techos, densidad y patrón de relleno, temperatura y velocidad de impresión y soportes.

En piezas con geometrías simples como las producidas en este proyecto, siempre que se programen adecuadamente estos parámetros, la impresión de las mismas debería ser aceptable.

10.2 PUESTA A PUNTO DE LA MÁQUINA IMPRESORA

Antes de realizar cualquier impresión, la máquina impresora ha de estar bien calibrada y con todas las partes que la componen en buen funcionamiento. Para ello, hay que comprobar las partes de la impresora donde debido al uso de la misma, se pueden producir desajustes. Estas principalmente son: base bien nivelada, pieza extrusora de material no obturada y plano base de impresión en correlación con la base.

Adicionalmente a esto, si no se dispone de una placa calefactora en la base, como es el caso de la máquina “Prusa i3” del laboratorio, ha de impregnarse la base con algún producto antiadherente, como laca, ya que, de no hacerlo, una vez impresas las piezas quedan muy adheridas a la base y a la hora de despegarlas se puede dañar la pieza o la misma base.

11 METODOLOGÍA

En este apartado se muestra las tareas llevadas a cabo para la realización del proyecto. Esta consta de cuatro fases diferenciadas.

11.1 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS

Fase 1: Revisión de la documentación.

El primer paso a llevar a cabo es obtener información referente al proyecto que se va a realizar. De esta forma, el conocimiento adquirido facilita la realización del mismo y permite profundizar más en aspectos técnicos. La obtención de dicha información se ha conseguido principalmente de diferentes fuentes de internet y teniendo conversaciones con profesionales del sector. No obstante, la búsqueda de información, no se ha limitado únicamente a ser un primer paso si no que es un proceso llevado a cabo durante todo el proyecto.

Fase 2: Diseño de los diferentes elementos.

Tras analizar cuales son las debilidades que tiene el sistema de ensayo y pensar en una solución, se procede a diseñar los elementos que componen la solución planteada. Este proceso se alarga durante mucho tiempo, ya que se van realizando diferentes modificaciones sobre los primeros diseños creados, con la intención de optimizarlos. Este proceso de mejora ocurre tras realizar los procesos de impresión y diferentes simulaciones realizadas.

Fase 3: Familiarización con los programas.

A lo largo del proyecto se han utilizado 3 programas con funciones diferentes. Para poder realizar unos estudios y simulaciones de las piezas adecuados, se ha de tener un conocimiento extenso de los diferentes parámetros que rigen cada programa. Pese a que este proceso en parte se lleva años produciendo, ya que algunos de los softwares se utilizan en el grado, ha sido en la realización del proyecto donde más se ha profundizado y adquirido conocimientos específicos necesarios para la realización del mismo.

Fase 4: Redacción del documento.

Una vez concluido todo el desarrollo práctico del trabajo, el cual incluye el desarrollo de todos los modelos de las piezas y sus pertinentes análisis, se realiza la redacción del texto.

Esta parte consta tanto de la realización de la memoria, anexo y planos como de la revisión completa de todo el documento.

11.2 DIAGRAMA DE GANTT

TAREAS	FEBRERO		MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	
REVISION DOCUMENTACION																				
DISEÑO CASQUILLOS																				
ENTENDIMIENTO DEL SOFTWARE																				
DISEÑO SUJECION																				
REDACCION																				

Tabla 11: Diagrama de Gantt.

12 ASPECTOS ECONÓMICOS

En este apartado se muestra el presupuesto del proyecto. A continuación, se presenta la tabla con los diferentes conceptos que lo componen junto con su importe. Por último, se describen cada una de las partes.

PRESUPUESTO			
Concepto	Precio/h	Horas	Total
Horas internas			
Ingeniero Jr.	13,00 €	225	2.925,00 €
Ingeniero Doctor	60 €	20	1.200,00 €
Amortizaciones			
Licencia ANSYS	10,00 €	20	200,00 €
Ordenador	0,20 €	200	40,00 €
Impresora 3D	2,00 €	25	50,00 €
Gastos			
PLA impresion			8,00 €
Material de Oficina			20,00 €
Subtotal 1			4.443,00 €
Gastos indirectos	7%		311 €
Subtotal 2			4.754 €
Imprevistos	10%		475,00 €
Total			5.229,00 €

Tabla 12: Presupuesto del proyecto.

12.1 ANÁLISIS DEL PROYECTO

El presupuesto queda dividido de la siguiente forma:

- Horas dedicadas: En este concepto se reflejan las horas empleadas para su realización del ingeniero, aun sin graduar, y de su director de proyecto. 225 horas son las trabajadas por el alumno, equivalentes a 9 créditos (ECTS), valorando la hora de trabajo a 13€. Las horas de trabajo del director del proyecto son las relativas el tiempo empleado en sus tutorías y seguimiento del trabajo. Las horas de trabajo realizadas por el mismo son valoradas en 60€.
- Amortizaciones: En este concepto se incluye la licencia de ANSYS utilizada para realizar el estudio mediante elementos finitos, el ordenador donde se ha realizado el proceso de análisis y redacción del proyecto y por último el tiempo empleado en imprimir los prototipos en la impresora 3D. El método utilizado para calcular el precio de las distintas herramientas ha sido el de Precio (€) /Vida útil (h).

- Gastos: En este apartado se cuentan aquellos gastos de material que no podrán volver a ser reutilizados. Por tanto, se incluye el material empleado en la impresión 3D y todo aquel material de oficina relativo a la escritura, cálculos o mediciones.
- Gastos indirectos: Este valor se obtiene de calcular el 7% respecto del primer subtotal obtenido. El concepto refleja el gasto relativo de agua, transporte o electricidad empleados para llevar a cabo el proyecto.
- Improvistos: Se trata del gasto asociado a los riesgos que conlleva el proyecto como averías, daño del material del laboratorio... Su valor es del 10% del segundo subtotal calculado. De esta forma se dispone de un fondo para subsanar los citados imprevistos.

13 CONCLUSIONES

El actual método de unión entre elementos y sujeción al banco de ensayos permite realizar los estudios de contadores de forma satisfactoria. Sin embargo, como todo organismo que se precia de ofertar una alta calidad de sus servicios, ha de revisar periódicamente sus procesos y mejorarlos si es necesario.

Este proyecto tiene como objetivo realizar dicha tarea de investigación que proporciona al LEVC la capacidad de mejorar y avanzar al ritmo que lo hacen las tecnologías de los contadores de agua y no quedarse atrás respecto del resto de centros de ensayo y verificación nacionales.

La implantación de las piezas diseñadas supone reducir parte de las debilidades que muestran a día de hoy algunos de los elementos del banco de ensayos. Las fugas de agua debidas al sistema de unión entre tuberías y contadores quedan subsanadas con el uso de los casquillos, mientras que el tiempo empleado en montar la sección de ensayo queda reducido notablemente tras implantar la nueva sujeción. El desalineamiento de algunos de los elementos no se producirá de forma tan acentuada gracias a la propia geometría de los casquillos y a la firmeza que proporcionan las abrazaderas al sistema.

Por todo ello se puede concluir, que los diseños de las piezas creadas en este proyecto suponen una amplia mejora sobre el actual sistema de ensayos con el que cuenta el LEVC.

Futuros proyectos podrían utilizar como base estos diseños y fabricar, mediante las impresoras 3D disponibles en la facultad de Ingenieros de Bilbao, tanto los casquillos como las diferentes piezas que componen la sujeción. Tras la fabricación de las piezas, podrían realizar el proceso de instalación de las mismas sobre el banco de ensayos.

14 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Modelo de sujeción obtenido de Contazara
(<https://www.contazara.es/index.php/es/>)
- [2] Modelo de sujeción obtenido de Hidroconta
(<https://hidroconta.com/>)
- [3] Medidas de contadores sacado de Elster-Iberconta
(<https://www.elster-iberconta.com/es/S220.html>)
- [4] Modelo abrazadera obtenido de
(<https://es.rs-online.com/>)
- [5] Modelo guía carril y medidas obtenidas de
<https://es.aliexpress.com/i/4000339551890.html>
- [6] Norma DIN 912 (2016). Recuperado de
<https://www.gestiondecompras.com/files/products/>
- [7] Norma DIN 912 (2012). Recuperado de
<https://indexfix.com/docs/FT MET es.pdf>
- [8] No solo herramientas (2013)
<https://nosoloherramientas.es/>
- [9] Relación roscas pulgadas milímetros obtenida de
<http://www.valvias.com/>
- [11] Catalogo juntas tóricas Parker S.A
https://www.parker.com/Literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_HydrSeals_PTD3350-ES.pdf
- [12] Gómez Martínez, P.; Fuente Salomón, G.; Martínez Codina, A. (2016). *Estudio de casuística y modos de fallo en tuberías, acometidas y conjuntos de medida en la Comunidad de Madrid*.
- [13] Escuela de Ingeniería de Bilbao, «Normativa Trabajo de Fin de Grado,» Bilbao, 21 de noviembre 2017. [En línea]. Available:
<https://www.ehu.eus/es/web/ingeniaritza-bilbo/gradu-en-araudiak>.
- [14] Díaz-Parralejo, A.; Sánchez-González, J.; Gallego-Núñez, A.; Guiberteau, F. (2009) *Estudio técnico sobre la rotura de tubos de presión de PVC*.

II PLANOS

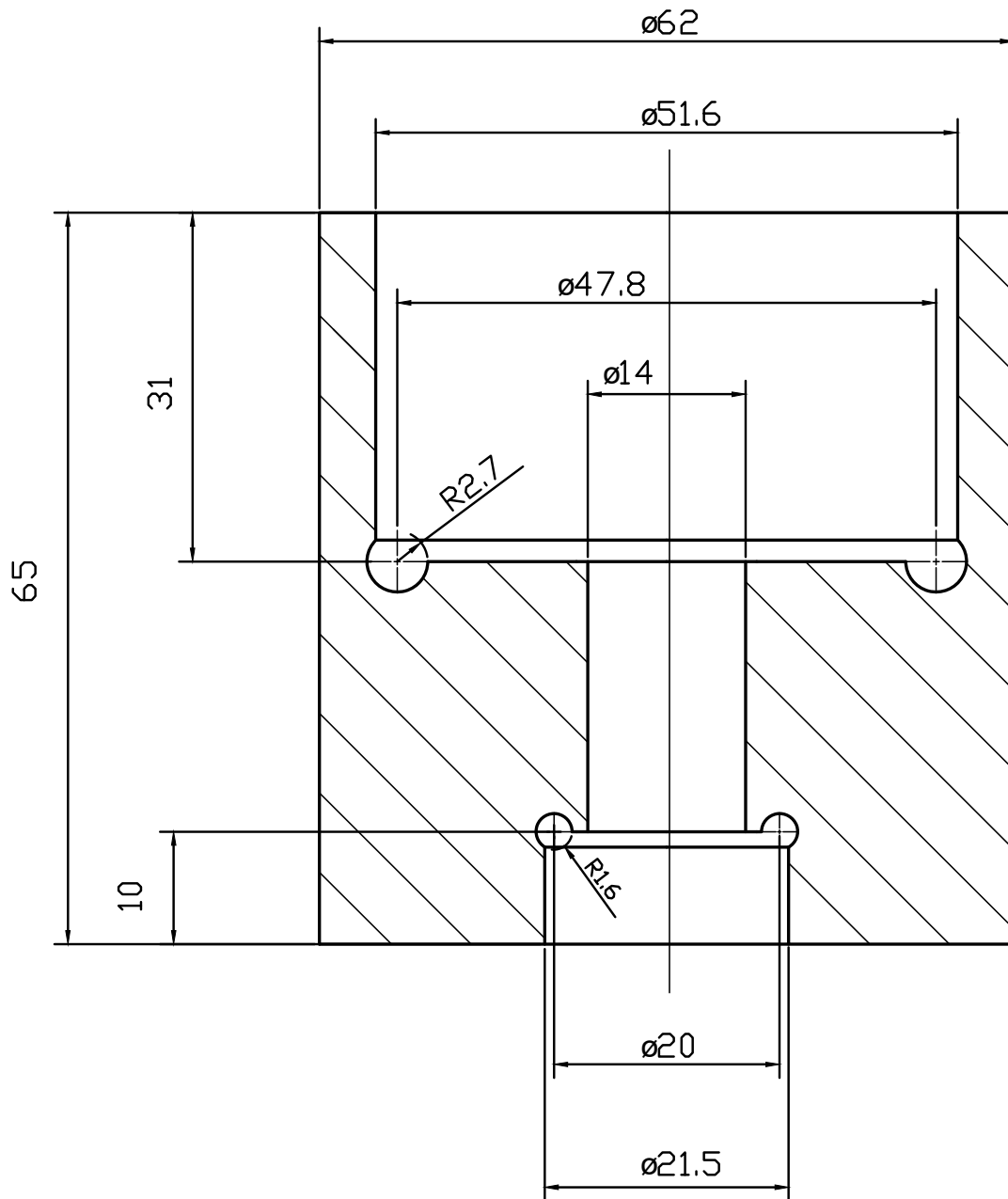
ÍNDICE


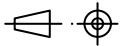
1 LISTA DE PLANOS

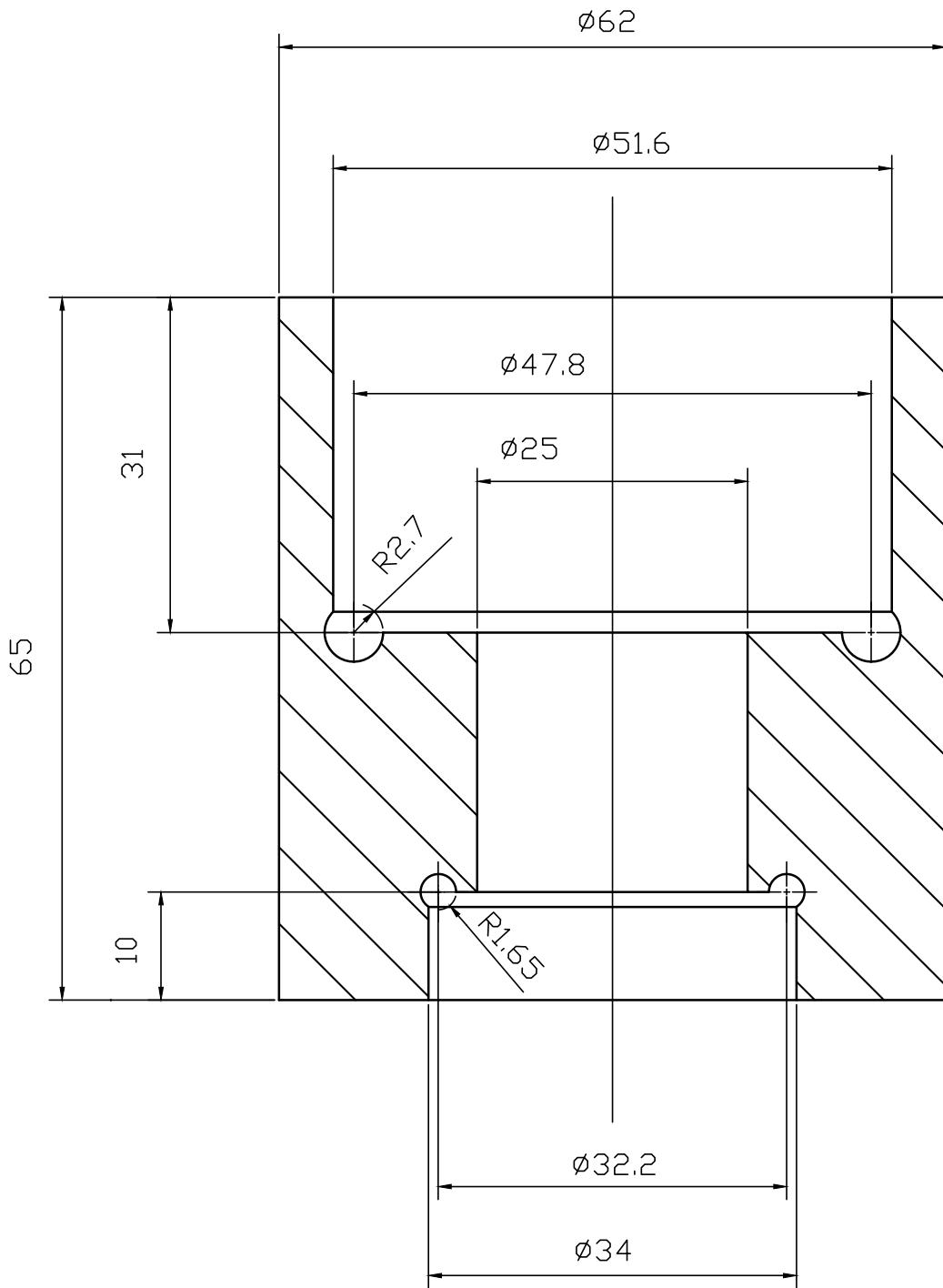
2 PLANOS



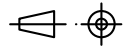
1 LISTA DE PLANOS

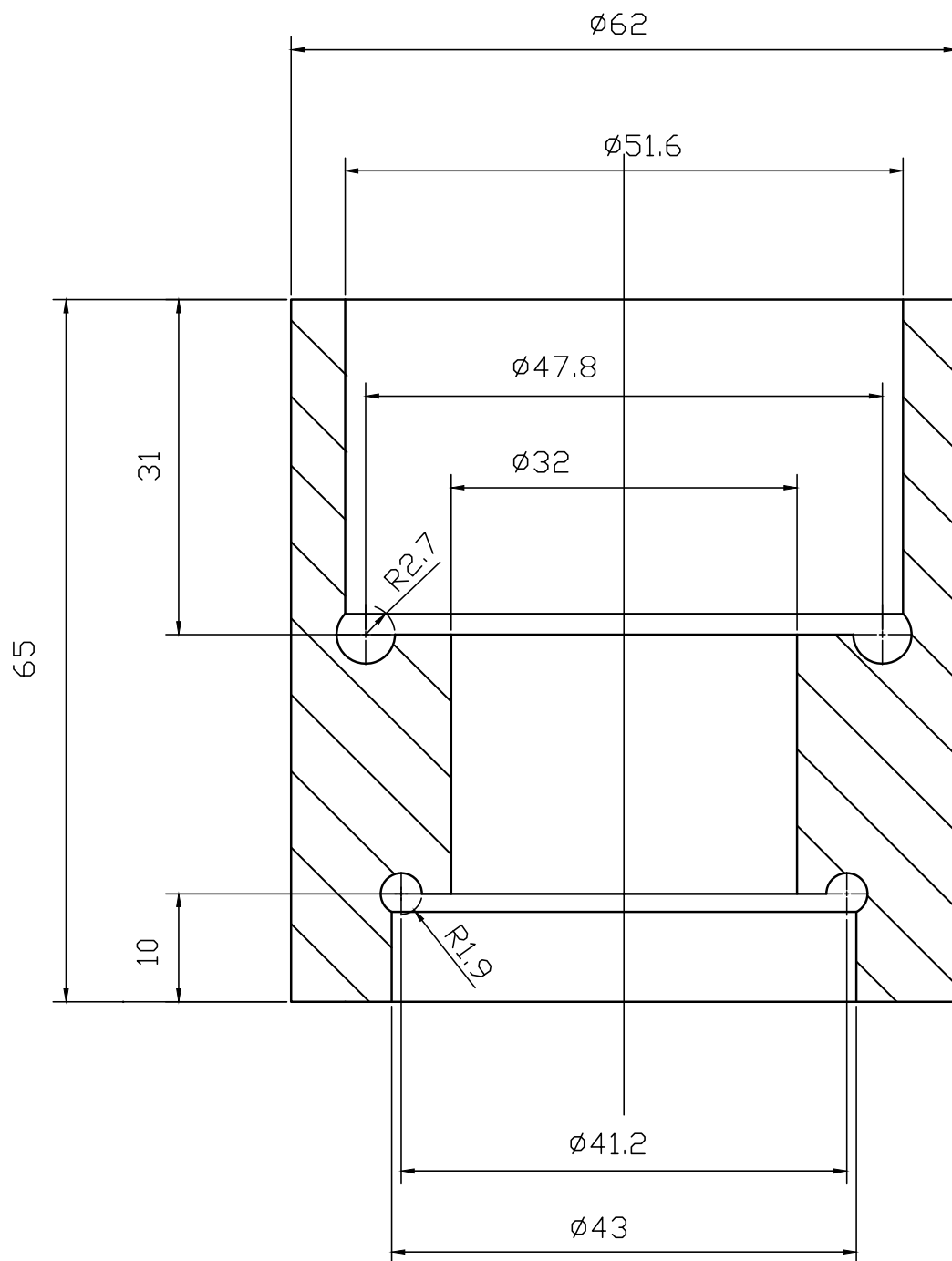
- 1.1 CASQUILLO DN13 - G 1/2 X 14H
- 1.2 CASQUILLO DN15 - G 3/4 X 14H
- 1.3 CASQUILLO DN20 - G 1" X 11H
- 1.4 CASQUILLO DN25 - G 1"1/4 X 11H
- 1.5 CASQUILLO DN30 - G 1"1/2 X 11H
- 1.6 CASQUILLO DN40 - G 2" X 11H
- 1.7 APOYO
- 1.8 GUÍA CARRIL
- 1.9 SOPORTE I
- 1.10 SOPORTE II
- 1.11 SOPORTE III
- 1.12 TORNILLO ALLEN



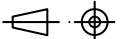


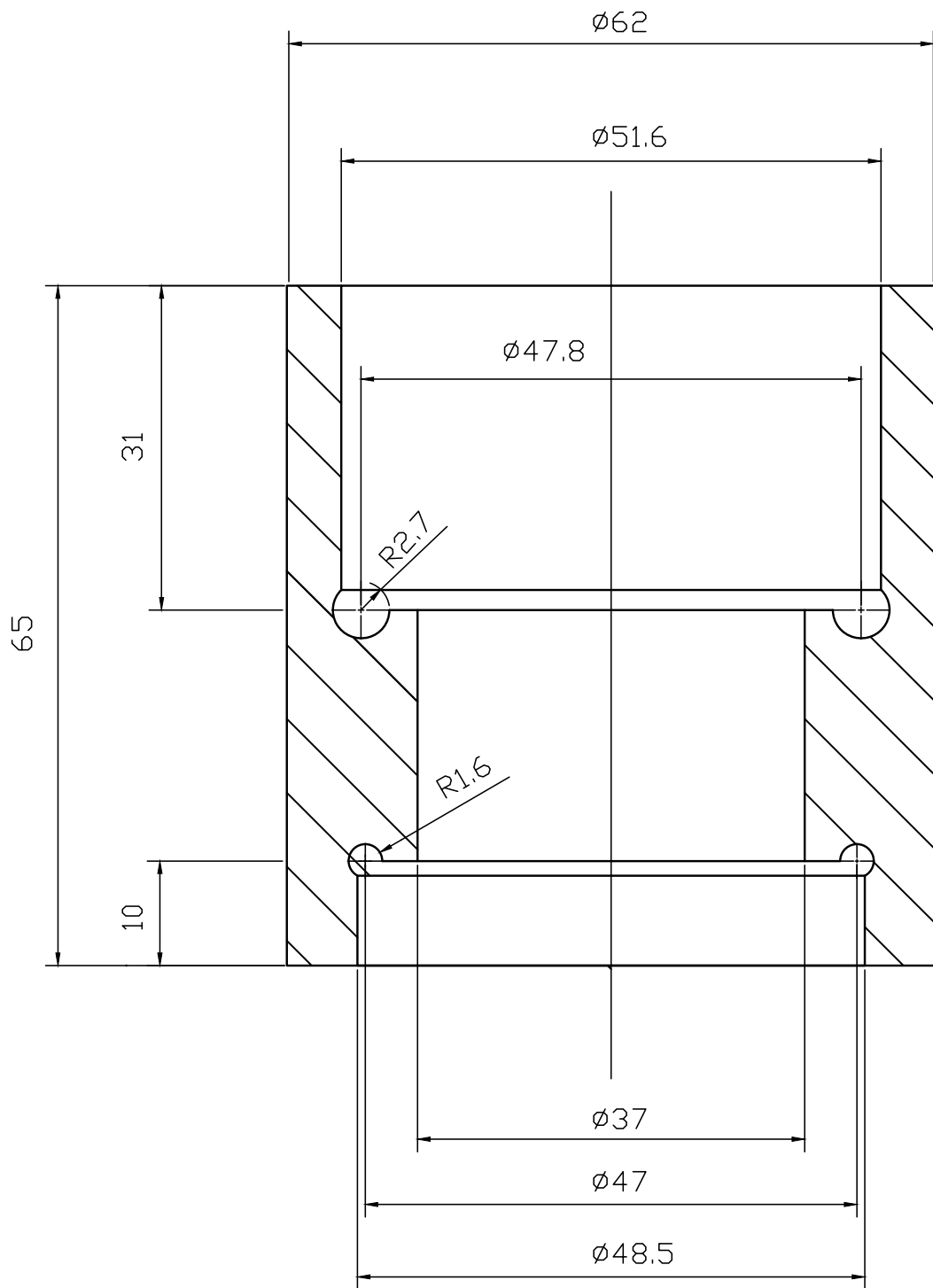
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 3:2	CASQUILLO DN13		Plano N°.1 N° Planos.12



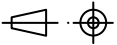


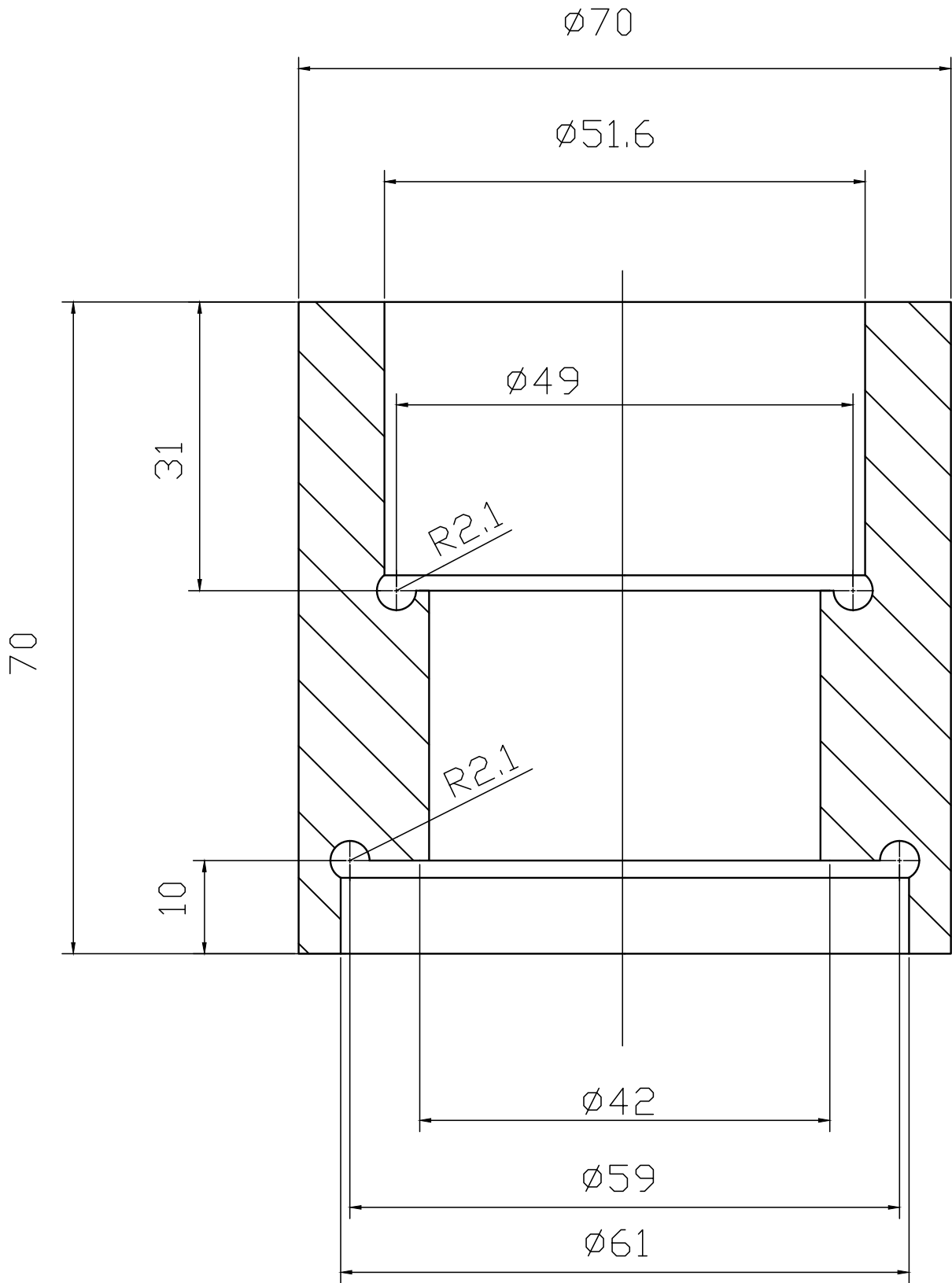
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 3:2	CASQUILLO DN20		Plano N°.3 N° Planos.12



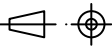


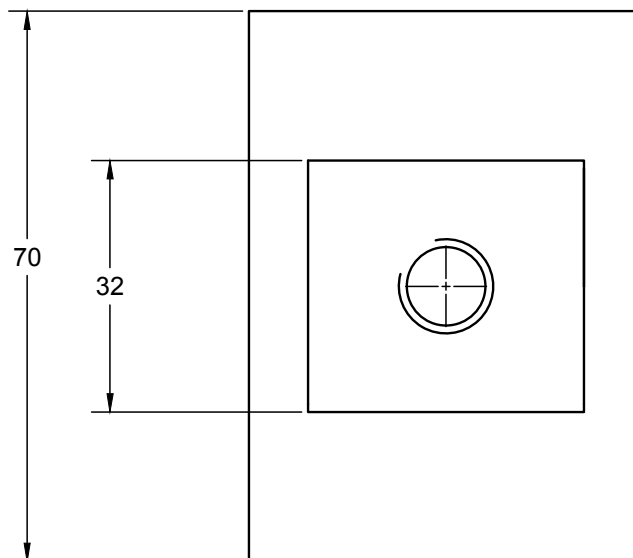
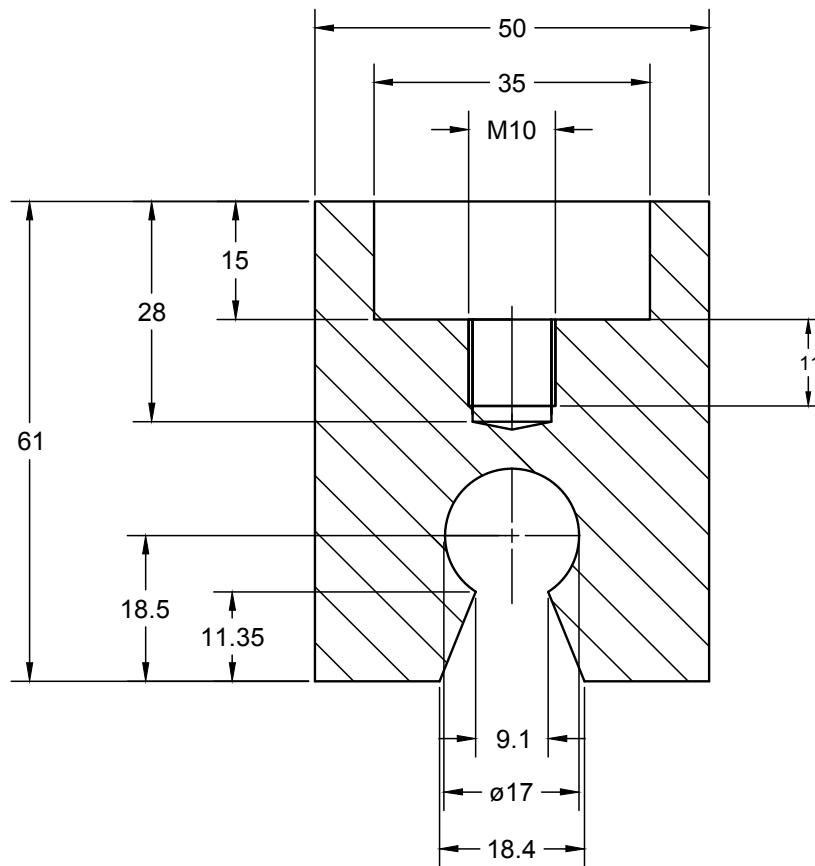
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 3:2	CASQUILLO DN25		Plano N°.4 N° Planos.12



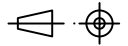


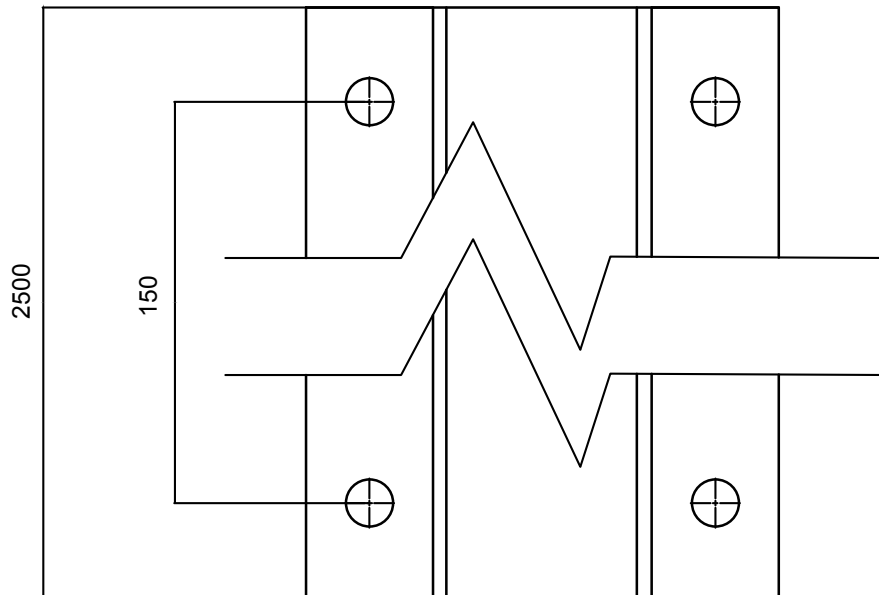
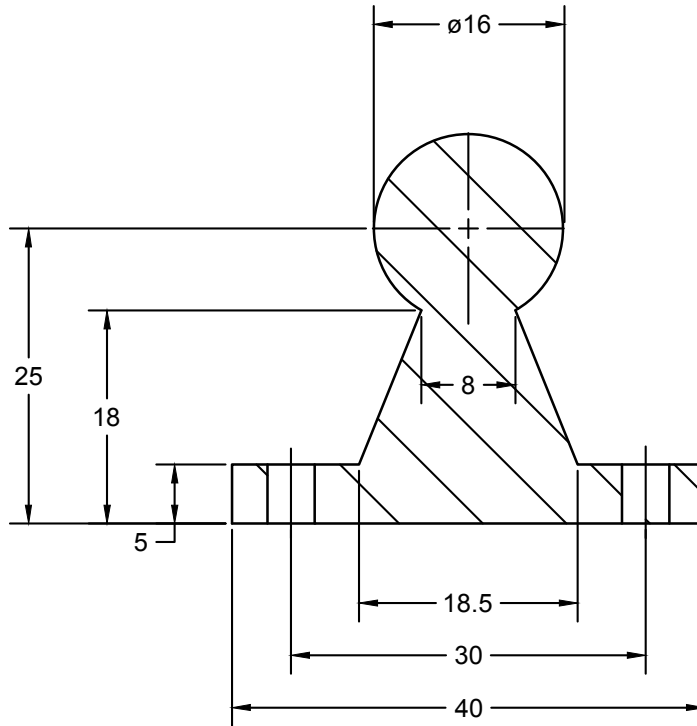
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 3:2	CASQUILLO DN30		Plano N°.5 N° Planos.12



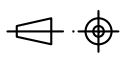


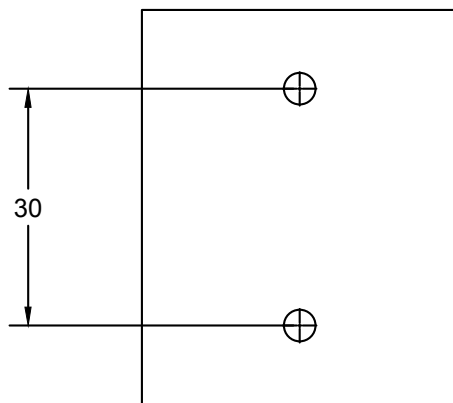
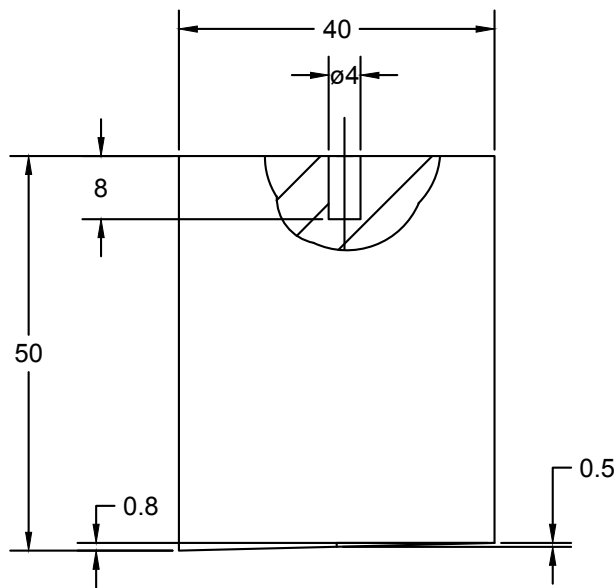
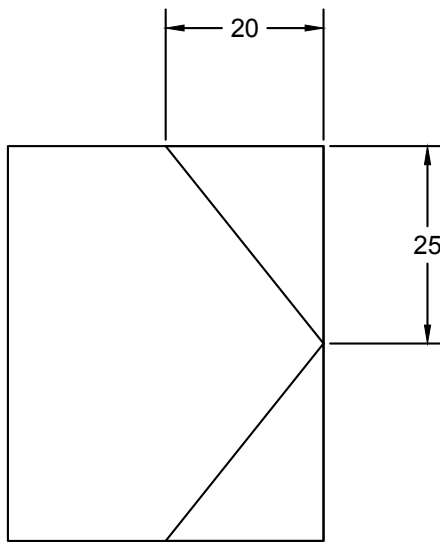
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 3:2	CASQUILLO DN40		Plano N°.6 N° Planos.12



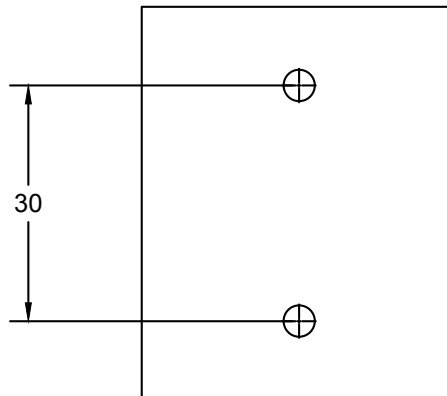
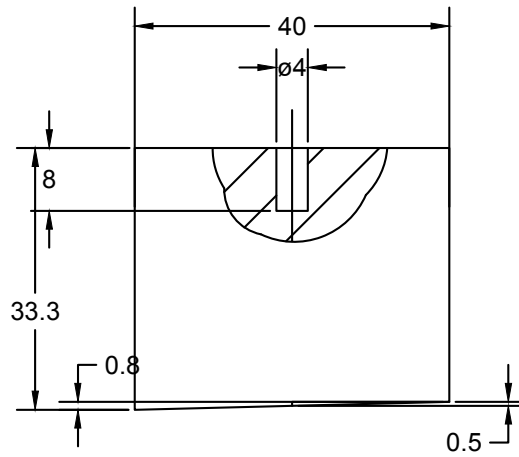
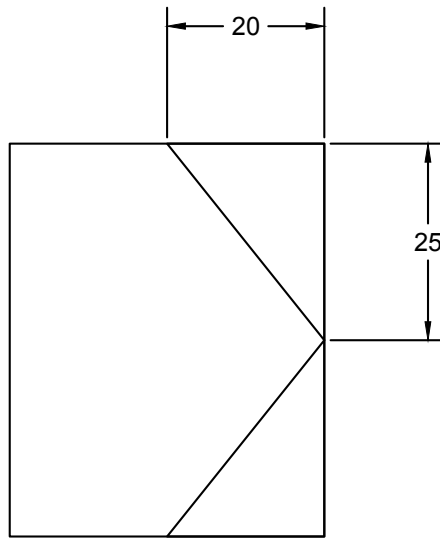
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 1:1	APOYO ABRAZADERA		Plano N°.7 N° Planos.12



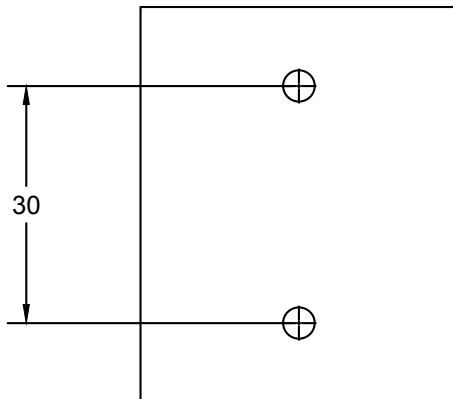
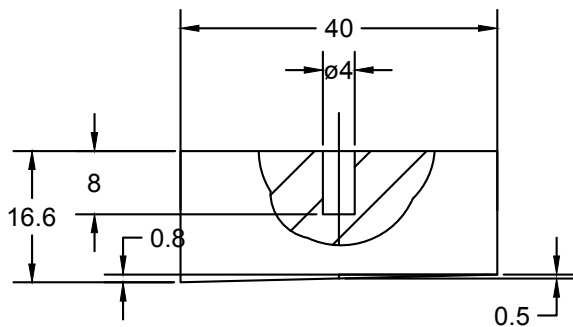
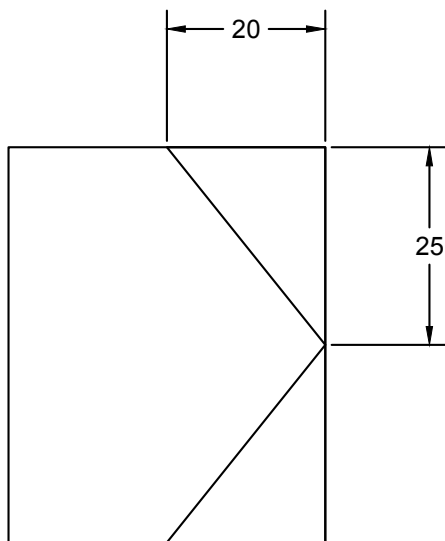
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 1:1	GUIA CARRIL		Plano N°.8 N° Planos.12



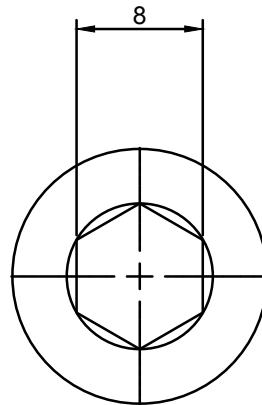
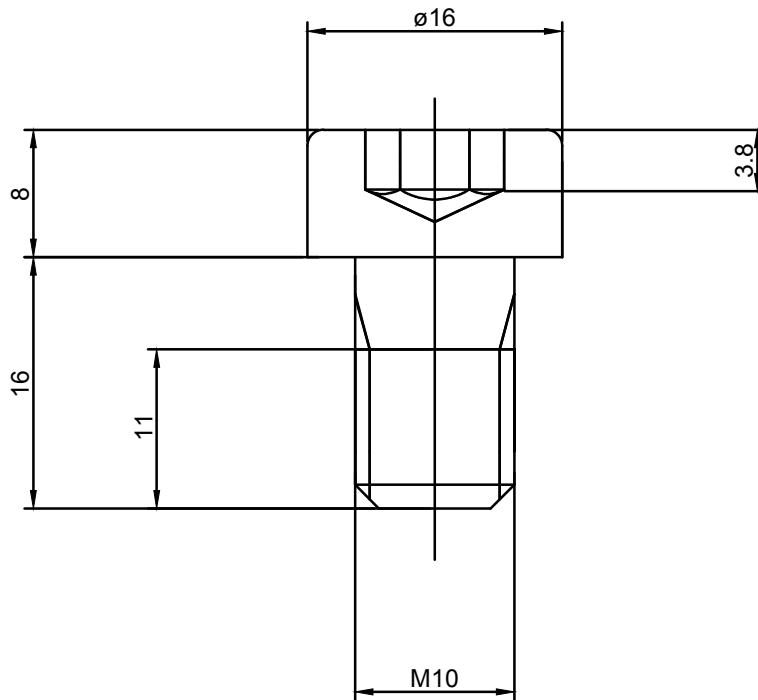
	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 1:1	SOPORTE APOYO I		Plano N°.9 N° Planos.12



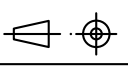


	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 1:1	SOPORTE APOYO II		Plano N°.10 N° Planos.12



	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala 1:1	SOPORTE APOYO III		Plano N°.11 N° Planos.12



	Fecha	Nombre	Firma	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL. BILBAO 
Dibujado:				
Comprobado:				
 Tol. gen.	Escala	TORNILLO ALLEN M10xL16		Plano N°.12 N° Planos.12

