

3 Diseño de la unión atornillada para la práctica

En este apartado se describirá como se ha llevado a cabo el diseño y la selección de los distintos elementos de la unión atornillada (tornillo, casquillos...), así como el sistema para aplicar la fuerza separadora a la unión atornillada. Finalmente se describirá el circuito extensométrico empleado.

3.1 Diseño de los elementos mecánicos

Como se dijo en el apartado de “Introducción y objetivos”, el objetivo de este proyecto consiste en el diseño de todos los elementos necesarios para la realización práctica de un ensayo sobre uniones atornilladas.

Empezaremos por la unión atornillada en sí, que deberá estar compuesta por los elementos de unión y las piezas que queremos unir. Posteriormente se hablará del método elegido para aplicar distintas fuerzas separadoras.

3.1.1 Elementos de unión

Primero se tiene que decidir qué tipo de elementos van a realizar la unión, entre las tres opciones posibles:

- Mediante un tornillo y una tuerca
- Mediante un esparrago y un par de tuercas
- Mediante un tornillo (o esparrago y tuerca) y una pieza con un taladro roscado

Nuestra decisión va a estar condicionada por los instrumentos de medida que se van a utilizar. Si se observa un ensayo de tracción, uno de los parámetros fácilmente medible en este tipo de ensayo es la deformación que sufre el sólido al estirarse, y dicha medida se obtiene a través de extensómetros o de galgas extensométricas.

En una unión atornillada, la caña del tornillo (o esparrago) queda traccionada (y las piezas unidas comprimidas) tras aplicar el par de apriete, pudiéndose medir la deformación que sufre la caña con los mismos instrumentos que en un ensayo de tracción. Como el tornillo irá alojado en el interior de las piezas a unir, no podremos utilizar como instrumento de medida de la deformación un extensómetro por sus dimensiones. Por ello, se ha optado por la utilización de galgas extensométricas, ya que sus dimensiones son mucho más reducidas y se podrán adherir a la caña rebajada del tornillo (o esparrago) para introducirlas en el taladro de las piezas a unir.

Las galgas extensométricas necesitan de cables para ser unidos al circuito de medida, por lo que las piezas unidas deberán tener un orificio para poder pasar dichos cables.

Volviendo a la elección del tipo de elementos a emplear, constará de dos elementos roscados (las nombradas en los tres puntos del primer párrafo) que durante el apriete tendrán que

hacerse girar uno sobre otro, siendo lo más fácil mantener uno fijo y aplicar el par de apriete sobre el otro. Como el tornillo o esparrago estará unido a los cables de las galgas, si este elemento tiene que girar en el apriete, los cables se enrollarán sobre él pudiéndose dañar las conexiones con las galgas, por lo que es mejor que este elemento permanezca fijo. Para esto la mejor opción es la pareja tornillo-tuerca, ya que podremos fijar el tornillo fácilmente agarrando la cabeza. Si la cabeza del tornillo es de tipo hexagonal se podrá fijar con una mordaza durante el apriete. Y la tuerca deberá ser también hexagonal (DIN 934) para que se pueda apretar con la llave dinamométrica disponible en el laboratorio.

Para seleccionar un métrico del tornillo adecuado se tiene que tener en cuenta que vamos a rebajar una zona de la caña para alojar las galgas. El diámetro rebajado tiene que ser suficiente para que no plastifique durante la realización del ensayo, pero tampoco puede ser excesivo, ya que el diámetro de las piezas a unir aumentaría y el conjunto se haría pesado y difícil de manejar.

Se ha elegido un tamaño de tornillo métrico 16, ya que la caña se podrá rebajar hasta los 10 mm para alojar las galgas y seguir teniendo suficiente sección resistente. Consultando con suministradores de tornillos, las clases de calidad que disponen para los tornillos de cabeza hexagonal son la 6.8, 8.8 y 12.8. Si se escoge la calidad media 8.8 para el tornillo, este podrá aguantar una fuerza de tracción pura de unos 50 KN.

En los tornillos de cabeza hexagonal comerciales, se pueden encontrar tornillo con la caña roscada completamente o parcialmente (DIN 933 o 931). En nuestro caso, se ha optado por el tornillo con la rosca parcial ya que se rebajará una parte de la zona no roscada, y solo necesitamos rosca en el extremo del tornillo para roscar la tuerca. La longitud final del mismo deberá ser algo mayor que la suma de las longitudes de las piezas unidas, más la arandela y tuerca. El catalogo comercial ofrece múltiples longitudes por lo que es fácil seleccionar la adecuada posteriormente.

El paso de rosca deberá ser el menor posible para poder controlar más fácilmente el apriete, así no variará mucho el apriete introducido al girar poco ángulo la llave, facilitando con ello la realización de la práctica. Para el métrico elegido, el paso más pequeño que disponen los distribuidores es de 1,5.

Como se ha comentado, cuando se decidan la longitud de las piezas a unir se podrá definir completamente la longitud del tornillo y la situación adecuada de la zona rebajada.

3.1.2 Piezas unidas y método de aplicación de la fuerza separadora

Por su sencillez geométrica, se elegirán como piezas unidas unos casquillos cilíndricos con un taladro para alojar al tornillo en la dirección del eje de cilindro.

Para poder desarrollar la práctica las piezas unidas tendrán que prestar una serie de funciones. La principal será la de permitir la aplicación de fuerzas separadoras en distintas zonas de la unión, que vayan desde el caso ideal que sería separar desde los extremos en contacto con la cabeza del tornillo y la tuerca, hasta el caso opuesto que sería aplicar la fuerza separadora en

el centro de las piezas unidas. También sería conveniente que en la práctica se pudiera observar un caso intermedio entre los dos anteriores.

Para que se pueda causar una separación entre las piezas unidas al aplicarse la fuerza separadora, deberá de haber un mínimo de dos casquillos para que dicha separación se produzca en la cara de contacto entre ellos.

Para poder aplicarle una fuerza separadora a los casquillos en distintas zonas existen varias alternativas de diseño. La forma más sencilla sería construir varios juegos de casquillos a unir con el sistema de agarre para aplicar la fuerza separadora a distintas alturas del casquillo (Figura 21), aunque el problema que presenta esta opción es el coste de construir múltiples juegos de casquillos diferentes.

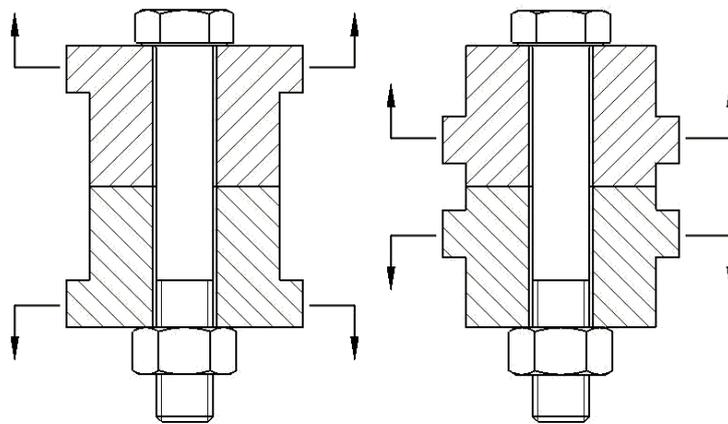


Figura 21: Aplicación de la fuerza separadora con casquillos diferentes

Otra posibilidad sería tener un par de casquillos en los que aplicar la fuerza separadora, después de ensayarlos y se podría insertar uno o varios casquillos intermedios y realizar un nuevo ensayo en estas condiciones (Figura 22). Esta opción es más económica pero no solo se cambia la zona de aplicación de la fuerza separadora, sino la geometría completa de la unión. Además se necesita un tornillo más largo, que en el montaje con menos casquillos sobresaldría demasiado, o tener varios tornillos de distintas longitudes.

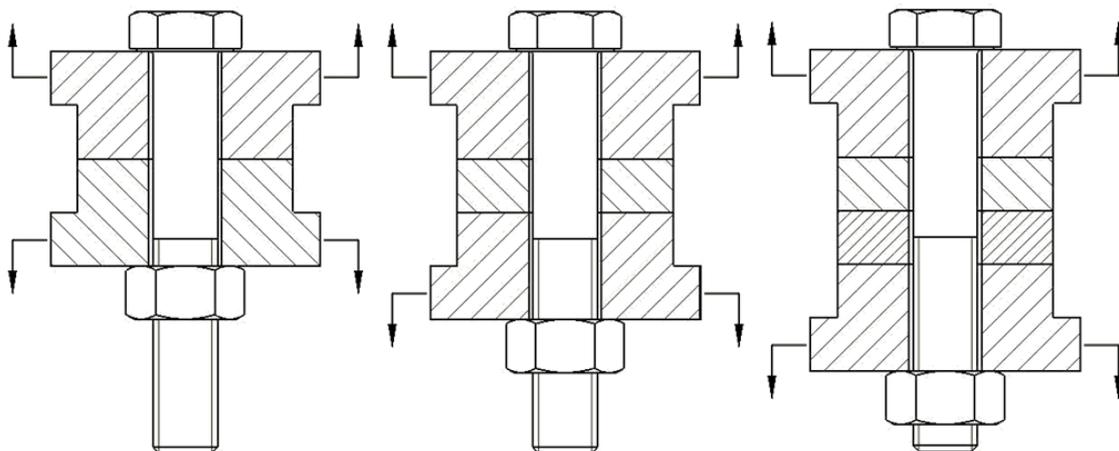


Figura 22: Aplicación de la fuerza separadora con casquillos insertados

La última opción y por la que se ha optado, es construir un par de casquillos en los que aplicar la fuerza separadora, y dos pares más de geometría similar, para que al ensayarlos siempre haya el mismo número de casquillos y por lo tanto similar geometría de las piezas unidas, aunque se podrá modificar la zona de aplicación de la fuerza separadora colocando los casquillos en los que aplicar la fuerza separadora en distintas posiciones, desde que se encuentren en los extremos de la unión hasta en la zona más interior (Figura 23). Esta opción es más económica que la primera, ya que podremos realizar los tres ensayos con un único juego de casquillos, y mejor que la segunda ya que mantendremos la misma longitud de tornillo en los distintos montajes.

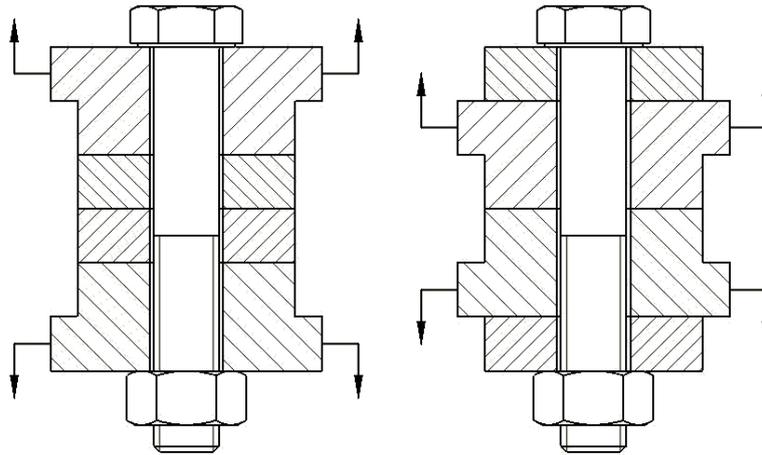


Figura 23: Aplicación de la fuerza separadora con casquillos reordenados

Hay distintos métodos para conseguir aplicar la fuerza separadora a uno de los casquillos. La idea es poder transmitir la fuerza que proporcionará la máquina de ensayos de tracción disponible en el laboratorio a uno de los casquillos mediante un elemento de unión. Lo ideal es que esta unión pueda ser desmontable, así se facilita el apriete de los casquillos. De entre los métodos de unión desmontables se ha elegido la unión roscada, por lo que incluiremos una rosca exterior al casquillo que vamos a transmitir la fuerza casquillos (Figura 24), de esta forma los casquillos roscados tendrán unas dimensiones similares a los otros casquillos.

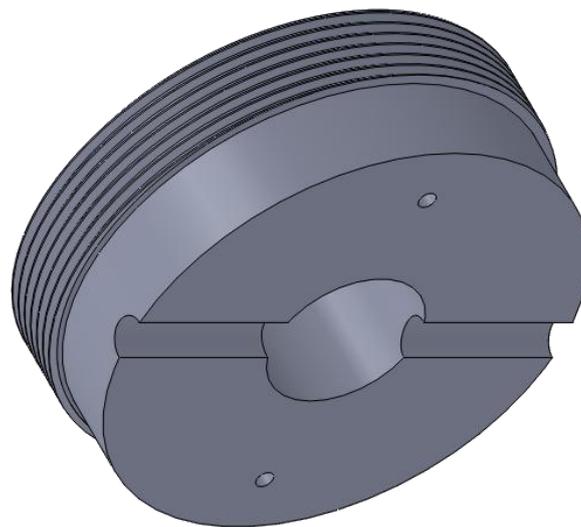


Figura 24: Casquillo roscado

Para transmitir la fuerza lo roscaremos al utillaje que nos servirá de conexión con las mordazas de la máquina, y que se verá en el siguiente apartado. Para facilitar el roscado a dicho utillaje se moletearán la superficie exterior de los casquillos roscados

Al montar el conjunto de casquillos, colocando los casquillos roscados en distintas posiciones aplicaremos la fuerza separadora en una parte de la unión o en otra (ver Figura 25). En el siguiente apartado veremos el conjunto que conecta los casquillos con las mordazas de la máquina.

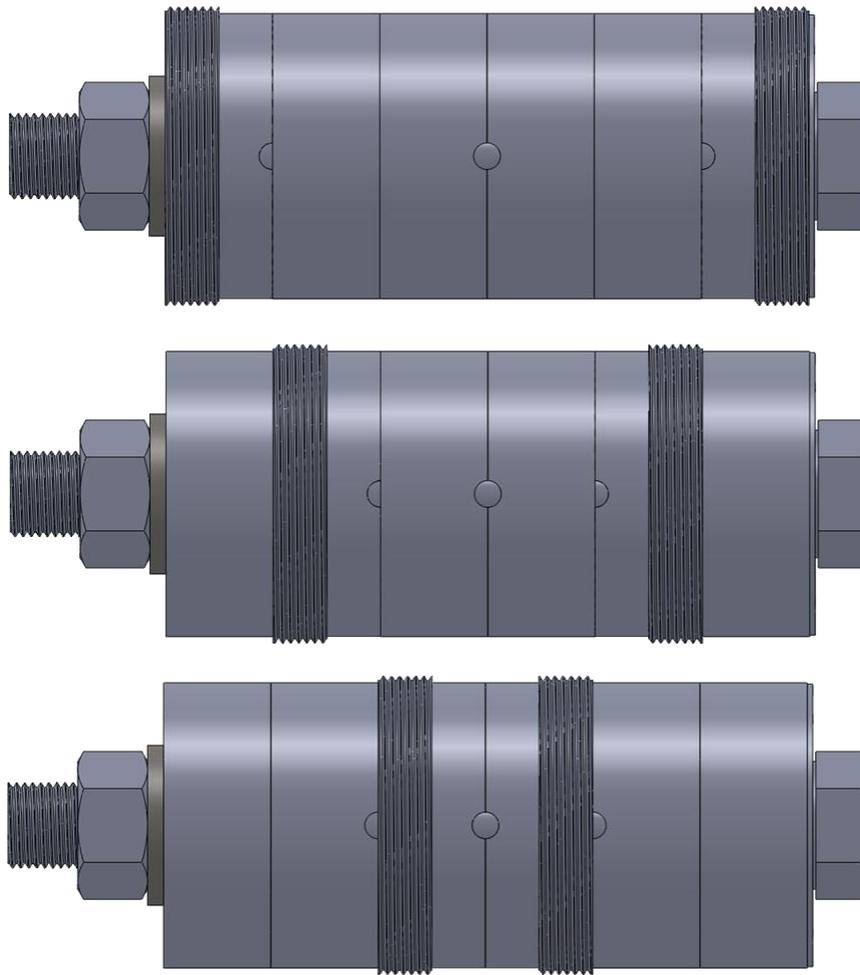


Figura 25: Posibles montajes de la unión atornillada

Para facilitar la correcta alineación de los casquillo durante el apriete hay que incluir sistema de centraje. En piezas de grandes el centraje se realiza mediante un par de taladros ciegos correctamente posicionados en ambas piezas a centrar y colocando pasadores en dicho taladros y que fijan la posición de una pieza sobre otra. Pero en nuestro caso, al tener seis casquillos a centrarse uno respecto a otro deberíamos realiza un gran número de taladros ciegos (cuatro por casquillo) y muy bien posicionados lo que incrementaría el coste de fabricación. Los casquillos cilíndricos tendrán 20 mm de altura, por lo que una mejor solución para nuestro caso sería un par de taladros que atraviesen completamente el casquillo y que conecten con el siguiente casquillo, y como elemento centrador en lugar de usar múltiples pasadores utilizaremos dos varillas que atraviesen todos los casquillos (ver Figura 26).

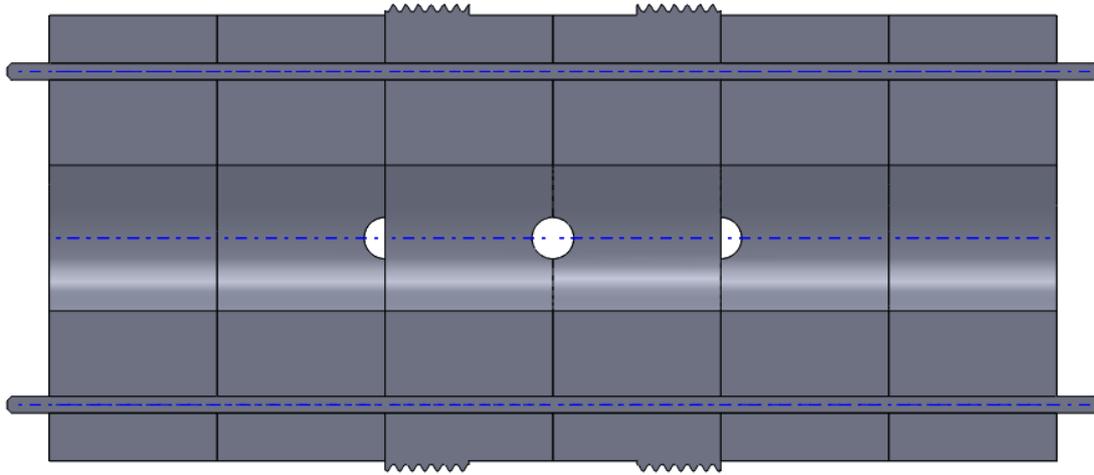


Figura 26: Casquillos centrados con dos varillas

También hay que tener en cuenta que los casquillos que queden en el centro de la unión deberán permitir la salida de los cables que conectan con las galgas del tornillo. La mejor solución es que los casquillos que tengan que colocarse en el centro de la unión incluyan medio taladro que al unirse al casquillo contiguo formen un orificio que conecte el taladro central (que aloja al tornillo) con el exterior (Figura 27).

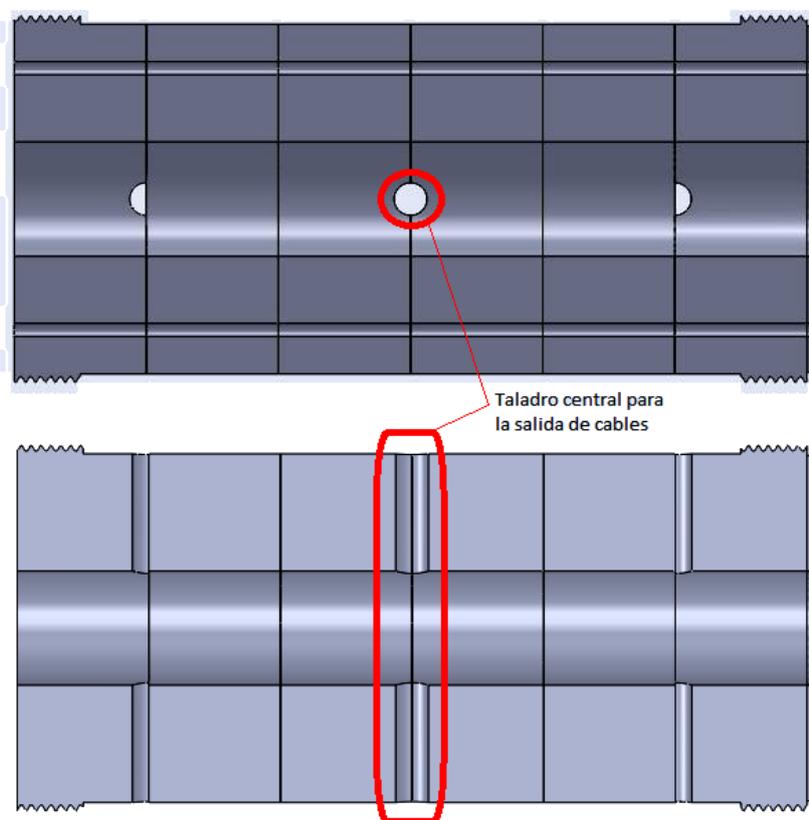


Figura 27: Secciones del conjunto de casquillos

Además para evitar el giro del tornillo respecto a los casquillos que puedan dañar los cables de conexión con las galgas, se utilizará una chapa doblada que abrace la cabeza del tornillo y que estará fija a los casquillos porque también posee los agujeros de centraje (ver figura).



Figura 28: Chapa fija tornillo

Destacar también que las caras de los casquillos deben ser perfectamente paralelas, para que al montarse en los distintos montajes no se pierda la forma cilíndrica del conjunto aunque se varíe el orden de los casquillos. Dichas caras deberán estar bien pulidas para que se produzca un buen contacto de una cara con otra. Además se hizo hincapié en la correcta posición de los taladros pasantes para la correcta alineación del conjunto.

Durante la fabricación del conjunto no se encontraron las varillas de centraje adecuadas al pequeño tamaño, ya que no eran lo suficientemente rectas y distorsionaban la forma del conjunto. Finalmente se optó por cortar unas varillas roscadas comerciales que sí tenían el adecuado tamaño y rectitud, añadiéndose la posibilidad de utilizar en los extremos unas pequeñas tuercas que harían de tope para que las varillas no se salieran de su sitio durante la práctica.



Figura 29: Unión atornillada

3.1.3 Utilaje de conexión de la unión atornillada a la máquina de tracción

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, se necesitarán una serie de piezas que sirvan de conexión entre los casquillos roscados y las mordazas de la máquina de ensayo de tracción. Por un extremo deberá tener una rosca interior para agarrar el casquillo roscado (y el suficiente espacio para alojar los demás casquillos si los casquillos roscados se encuentran en medio de la unión), y por otro un vástago para poder agarrarlo con las mordazas de la máquina (que deberá ser de un diámetro adecuado para las mordazas).

Hacer esta conexión de una sola pieza mecanizada conlleva varios problemas. Primero, debido a que ambos extremos tienen dimensiones muy diferentes, lo que comportaría un elevado coste de mecanizado, que supondría partir de una gran cantidad de material para mecanizar por un lado el vástago y por el otro el alojamiento hueco y la rosca. Esto se soluciona fabricando como mínimo dos piezas distintas y posteriormente unir las para ahorrar en mecanizado.

Además, al ser un agarre rígido, difícilmente quedarían los dos vástagos extremos alineados con el eje del tornillo, lo que introduciría un momento flector en la unión atornillada. Si unimos el vástago a una rótula axial, podremos paliar el efecto del desalineamiento, ya que no se transmitirá flector a los elementos de la unión, sino un pequeño esfuerzo cortante que será despreciable comparado con la fuerza de tracción axial que transmitiremos. El vástago deberá tener un tope que apoye bien sobre la rótula axial para transmitir correctamente los esfuerzos (ver Figura 30), además un buen ajuste para que quede fijo al casquillo semiesférico de la rótula.

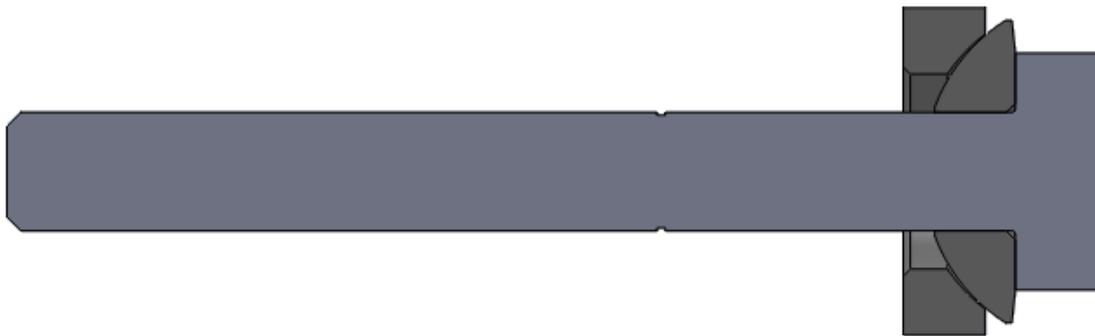


Figura 30: Sección del conjunto vástago y rótula axial

Por el otro lado, la pieza roscada que se une al casquillo deberá tener en un extremo un hueco en su interior lo suficientemente grande para contener los casquillos y lo que sobresalga del tornillo cuando la fuerza separadora se quiera aplicar en la zona central de la unión. Como elemento de unión entre ambos extremos se utilizará un tubo con unas roscas interiores en sus extremos.

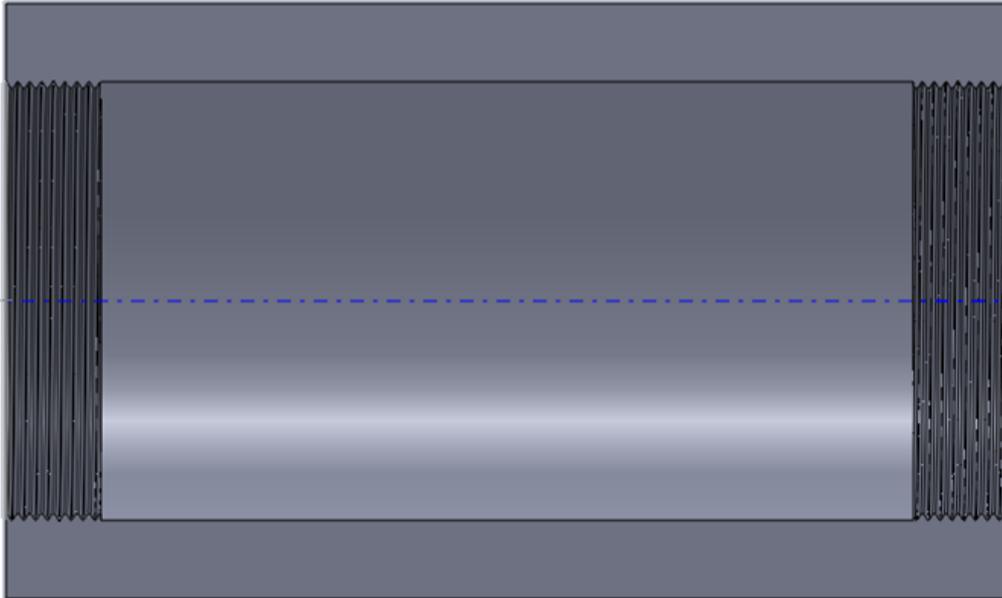


Figura 31: Sección del tubo roscado

Finalmente para conectar las rótulas y el tubo roscado se utilizará un casquillo con un taladro para alojar el vástago y una zona rebajada para alojar la rótula axial junto con el vástago. A su vez que tendrá una rosca exterior para poder unirla al tubo roscado.

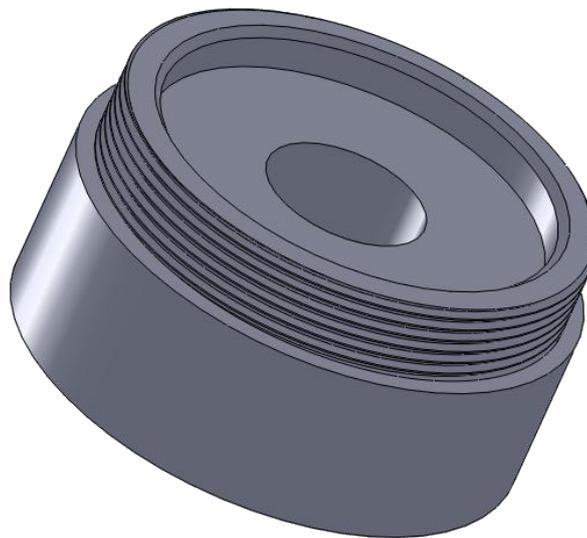


Figura 32: Casquillo para la rótula

Todas estas rocas también tienen un paso de 1,5 para que haya el suficiente número de filetes en menor longitud. Con esto la distribución de esfuerzos en las roscas será la correcta, sin sobrecargar los primeros filetes.

Al igual que en el casquillo roscado, se ha moleteado el exterior de los casquillos y una banda en la zona intermedia de los tubos para facilitar su enrosque. Por último, se ha mecanizado una hendidura en el vástago para colocar un anillo elástico que evita que el conjunto de vástago y rótula se salga de su sitio.

3.1.4 Montaje completo

Por último mostramos varias imágenes del modelo del conjunto con los posibles montajes de la unión atornillada más el sistema de agarre (Figura 33)

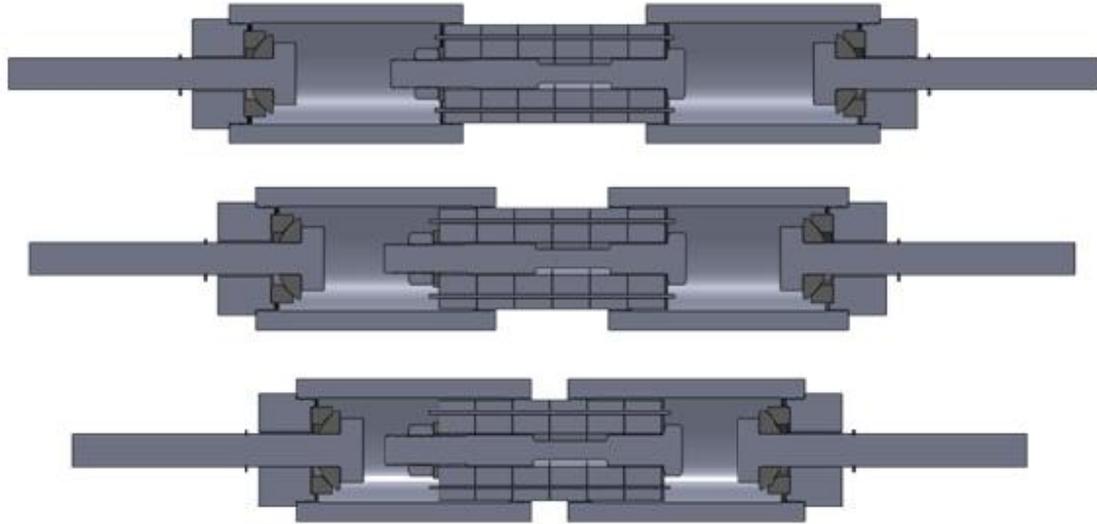


Figura 33: Distintos montajes posibles

Y también una imagen del conjunto completo fabricado:



Figura 34: Conjunto real fabricado

3.2 Circuito extensométrico

En nuestro ensayo se quiere medir la fuerza axial a la que estará sometido el tornillo durante el apriete y posteriormente tras aplicar una fuerza separadora al conjunto. Se podrá obtener dicha fuerza conociendo la deformación axial del tornillo obtenida a través de un montaje de medio puente.

Se necesita un montaje que nos permita eliminar los efectos producidos por la flexión que podamos inducir en el sistema debido a una falta de alineación de las cargas de tracción, o por falta de paralelismo de las caras donde se apoyan la cabeza del tornillo y la tuerca.

El hecho de que las variaciones de resistencia situadas en las diagonales del puente (la parejas de resistencias R_1 y R_3 , o R_2 y R_4) tengan aportaciones de medidas con signo el mismo signo en la expresión de la variación de la diferencia de potencial, permite obtener información no directamente obtenible con una sola banda. Así si nuestro tornillo está sometido a axil y flector, si se está interesado en encontrar la deformación debida al axil exclusivamente, se puede conseguir colocando dos bandas en lados opuestos del tornillo ambas en la dirección longitudinal del tornillo:

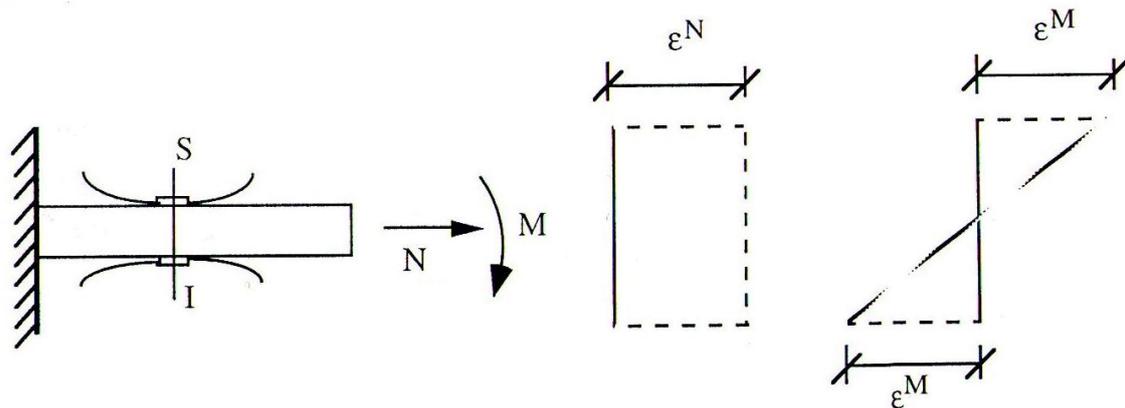


Figura 35: Disposición para medir deformaciones axiales en flexión compuesta

Dado que el axil y el flector provocan las deformaciones que se indican en dicha figura, la deformación total de las bandas superior e inferior será, en este caso:

$$\epsilon^S = \epsilon^N + \epsilon^M \quad \epsilon^I = \epsilon^N - \epsilon^M$$

Si se conecta la banda superior como resistencia 1 y la inferior como resistencia 3 obtendremos un circuito de medio puente como el de la siguiente figura:

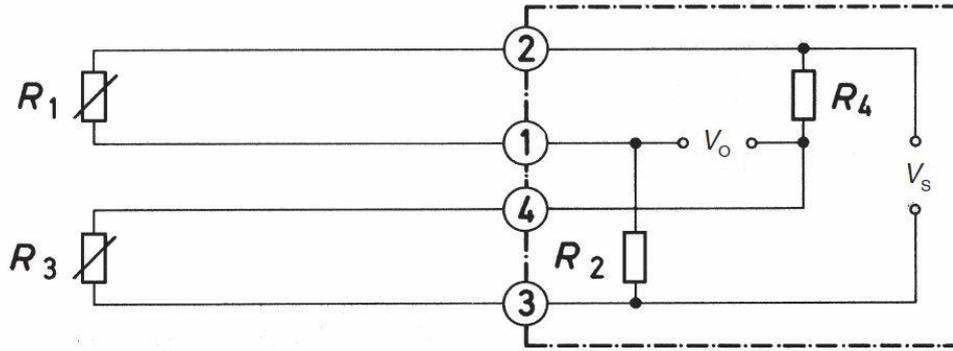


Figura 36: Montaje de medio puente

Estas bandas 1 y 3 sufrirán unas variaciones de resistencia debido las deformaciones por el axil y el flector de la siguiente forma:

$$\Delta R_1 = \Delta R_1^N + \Delta R_1^M \quad \Delta R_3 = \Delta R_3^N - \Delta R_3^M$$

Por lo que la medida del puente será:

$$V_o = V_s \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1^N}{R_1} + \frac{\Delta R_1^M}{R_1} + \frac{\Delta R_3^N}{R_3} - \frac{\Delta R_3^M}{R_3} \right)$$

Si se han colocado bandas iguales:

$$V_o = \frac{V_s}{4} 2 \frac{\Delta R^N}{R} = \frac{V_s}{2} K \varepsilon^N$$

Por lo que finalmente la deformación debida al flector será:

$$\varepsilon^N = \frac{2V_o}{KV_s}$$

Conociendo las deformaciones axiales es fácil relacionarlo con la tensión axial mediante el módulo de elasticidad del material del tornillo:

$$\nu^N = E \cdot \varepsilon^N = \frac{2V_o}{KV_s} E$$

Finalmente se puede saber la fuerza axial a la que está sometida el tornillo si se conoce el área de la sección del tornillo en donde están colocadas las bandas:

$$F_t = S \cdot \sigma^N = E \cdot \varepsilon^N = \frac{2ES}{KV_s} V_o$$

Aunque con esta relación se puede conocer teóricamente la relación entre la fuerza axial del tornillo y la tensión a la salida del puente, lo mejor es realizar una calibración de las bandas del tornillo, aplicando una fuerza de tracción conocida al sistema con la máquina de tracción en un montaje en el que el tornillo no tenga apriete previo.