


# Perforación, Obturación y Sellado de Gasoductos Activos

**Alexia Marisol Coronel**
**Matías García**

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
2025

# Perforación, Obturación y Sellado de Gasoductos Activos

**Alexia Marisol Coronel**
**Matías García**

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero/a Mecánico/a**

Directores:

Ing. Pedro Sismondi

Ing. Guillermo Rodríguez

Ing. Juan Sismondi

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Rosario, Argentina

2025

*Esfuércese por la perfección en todo lo que hace. Tome lo mejor que existe y hágalo mejor. Cuando no exista, diséñelo.*

*Henry Royce*

*El verdadero ingeniero no se detiene ante lo que ya existe; transforma lo común en extraordinario, rediseñando el mundo para hacerlo más accesible, funcional y hermoso.*

*Anónimo*

# Agradecimientos

Un proyecto de ingeniería surge de la combinación de ideas y conocimientos adquiridos previamente, basados en los aportes e ideas de otras personas. Por ello, en primer lugar, queremos agradecer al Ingeniero Mecánico Laureano Isa, Supervisor de Mantenimiento de Redes en Litoral Gas, por el material de estudio facilitado y las sugerencias realizadas.

Sin el apoyo incondicional de nuestras familias, nada de esto hubiese sido posible. Les agradecemos especialmente a ellos por confiar en nosotros en cada paso de este largo camino.

Agradecemos también a nuestros profesores, por compartir su conocimiento y encender en nosotros la pasión por aprender.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a nuestros amigos y a todas aquellas personas que, desde su lugar, contribuyeron a que disfrutáramos más de este recorrido.

# Resumen

Este trabajo final de grado se centra en la mejora del diseño de la maquinaria utilizada hoy en día para la intervención de gasoductos. Estos equipos cuentan con numerosos aspectos desfavorables, entre ellos se puede destacar su poca maniobrabilidad, una logística compleja, tiempos operativos demasiados extendidos y la necesidad de disponer una gran gama de accesorios, de acuerdo con el diámetro de la cañería con la que se trabaje.

Se ha logrado desarrollar un equipo nuevo que elimina o disminuye las problemáticas inducidas por el uso de la maquinaria vigente, conservando sus puntos favorables y considerando los aspectos operativos y de seguridad necesarios para trabajar con un gas explosivo a alta presión.

**Palabras clave: gasoducto, gas natural, perforación, obturación, sellado, hidráulica.**

# Abstract

This final degree project focuses on improving the design of the machinery currently used for gas pipeline interventions. These machines have several unfavorable aspects, including limited maneuverability, complex logistics, excessively prolonged operational times, and the need to have a wide range of accessories depending on the diameter of the pipeline being worked on.

We have accomplished to develop a new design that eliminates or reduces the issues caused by the use of the existing machinery while preserving its favorable features. This design was also made taken into consideration the operational and safety requirements necessary for working with explosive high-pressure gas.

**Keywords: gas pipeline, natural gas, drilling, blockage, sealing, hydraulics.**

# Contenido

**Agradecimientos** ..... **IV**

**Resumen** ..... **V**

**Abstract** ..... **VI**

**Introducción** ..... **1**

**Capítulo 1. Estado actual** ..... **4**
Variables ..... 8
Condiciones límites ..... 8
Objetivos ..... 9

**Capítulo 2. Propósitos y propuestas** ..... **10**
Propósitos ..... 10
Propuestas ..... 11
Elección de la solución ..... 15

**Capítulo 3: Desarrollo de la propuesta elegida** ..... **19**
Circuito hidráulico ..... 19
Sistema de transmisión ..... 21
Variabilidad en los diámetros ..... 23

**Capítulo 4: Selección de componentes** ..... **25**
Máquina de intervención para el gasoducto ..... 25
Circuito hidráulico ..... 25
Motor hidráulico ..... 25
Distribuidor principal ..... 26
Válvulas ..... 27
Mangueras ..... 29
Central hidráulica ..... 31

**Capítulo 5: Procedimiento operativo** ..... **33**
Preparación ..... 33
En el taller ..... 33
En campo ..... 38
Perforado ..... 40
Obturación ..... 42
Sellado ..... 44

**Conclusiones y recomendaciones** ..... **48**
Conclusiones ..... 48
Recomendaciones ..... 49

**Bibliografía** ..... **50**

**Anexo A: Tablas para la memoria de cálculo** ..... **53**

**Anexo B: Catálogos** ..... **55**

**Anexo C: Memoria de cálculo ..... 57**
Perforado ..... 57
Tornillo sinfín – corona ..... 59
Árbol principal ..... 62
Simulaciones ..... 69
Cañería ..... 69
Árbol ..... 73

**Anexo D: Planos ..... 76**

# Introducción

Cuando se detecta una fuga en un gasoducto, se debe intervenir el tramo de cañería que contenga la fisura, a través de la cual se produce dicha fuga. Esto implica que se debe seccionar el tramo de cañería dañada, y luego reemplazarlo por un tramo nuevo, que esté en condiciones adecuadas.

Para poder intervenir el gasoducto de esta manera, se necesita estar en presencia de una atmósfera limpia, es decir, sin gas natural circulando. Esta consideración se hace a raíz de aspectos sobre seguridad, ya que estas intervenciones incluyen procesos de corte y soldadura, los cuales generan focos de temperatura. Si se combina esto con la presencia de una atmósfera explosiva, puede que ocurra una explosión. De esta forma, se necesita que las intervenciones a las cañerías que transportan gas natural se hagan en una atmósfera limpia, sin presencia de gas metano en aire.

Con el fin de generar una atmósfera limpia de gas metano durante las operaciones de intervención, se debe, en primer lugar, perforar el gasoducto activo a ambos lados del tramo a reparar. Esto se realiza con el objetivo de poder obturar el tramo de cañería e impedir el paso del gas en este sector. Por norma, las perforaciones deben estar como mínimo a dos metros de distancia. Luego de la obturación, se debe ventear a la atmósfera el gas natural remanente en el tramo. Una vez hecho esto, se puede realizar la reparación del gasoducto sin inconvenientes. Al finalizar la misma, se deberán sellar las perforaciones hechas anteriormente.

Vale la pena mencionar que antes de ejecutar los procesos de perforado y obturado a ambos lados del tramo a intervenir, se debe ejecutar un bypass del gasoducto, de manera tal de no interrumpir el abastecimiento de gas natural a las instalaciones que se encuentran aguas abajo.

Para las operaciones de perforado, obturado y sellado, se utilizan dos máquinas hidráulicas automáticas, de grandes dimensiones y peso. Una de ellas se destina para el perforado y posterior sellado, y la otra exclusivamente al obturado. Para perforar se requiere un movimiento vertical y rotativo, mientras que para obturar y sellar es únicamente vertical.

Las máquinas mencionadas cuentan con una unidad de potencia hidráulica montadas sobre ellas y son de avance automático. Por otra parte, las operaciones de perforado, obturado y sellado llevan un tiempo considerable de ejecución.

En particular, de este proceso se considerarán los aspectos operativos que tiene Litoral Gas, la empresa argentina distribuidora de gas natural en la provincia de Santa Fe y parte de la provincia de Buenos Aires.

En Litoral Gas, las máquinas de perforado/sellado y obturado se encuentran almacenadas en un estante en un taller. Cuando se necesita usarlas, se las debe colocar con un montacargas o un puente grúa sobre un camión que cuente con una hidrogrúa articulada. Luego, el vehículo debe dirigirse hasta el lugar donde se realizará la intervención, y allí deberá hacerse uso de la hidrogrúa para descender las máquinas del camión y colocarlas luego en su respectiva posición sobre el gasoducto. Esto implica una logística compleja e ineficiente, debido a la gran cantidad de recursos que se deben destinar para la ejecución de las reparaciones.

Para las operaciones de perforado, obturado y sellado, se necesita una serie de accesorios: acople a la cañería, válvula sándwich, carretel, cabezal de corte, cabezal obturador y tapa de sellado. Estos accesorios son únicos para cada diámetro, es decir, no puedo utilizar un mismo accesorio para dos diámetros diferentes de cañería. La nula flexibilidad de la máquina en cuanto a su capacidad de adaptarse a diferentes diámetros de cañería es otro de los parámetros que se han detectado como un problema en el uso de este tipo de maquinaria.

A lo largo de este diagnóstico se han detectado numerosos aspectos que hoy en día dificultan la intervención de gasoductos activos con fallas. Entre ellos, se destacan que se debe utilizar más de una máquina para las operaciones de perforado, obturado y sellado; la máquina tiene un peso y dimensiones excesivas, lo que deriva a una logística compleja; los tiempos de operaciones demasiado extendidos; y la adaptabilidad de la máquina y sus accesorios a los diferentes diámetros de cañería es nula. A raíz de todo esto, hemos decidido trabajar sobre el diseño de una máquina nueva, que contemple todos estos puntos débiles y otorgue un mejor desempeño, en varios aspectos, durante las tareas de intervención de gasoductos activos.

Este diseño, a partir de lo analizado, tendrá como alcance los procesos de perforado, obturado y sellado, sin dejar de lado la parte operativa restante, como por ejemplo la ejecución de pozo, traslado de la máquina, ejecución del bypass, entre otros.

A partir del diagnóstico realizado, se han elaborado los siguientes objetivos para el desarrollo del diseño de la máquina que va a llevar adelante las 3 operaciones alcanzadas.

1) Realizar las tres operaciones de intervención con un único dispositivo
2) Disminuir la altura de la máquina. Se define como altura máxima 2 metros, en relación con el espacio que poseen las camionetas en la parte posterior, para su transporte.
3) Disminuir el peso del equipo, en por lo menos un 50% de su valor original, con el fin de facilitar su maniobrabilidad.
4) Disminuir el tiempo necesario para la intervención del gasoducto. Para poder realizar la reparación en un único día, el tiempo sugerido para que se lleven adelante las tres operaciones será de 2 horas y media.
5) Desarrollar el diseño de forma tal que su operación sea totalmente segura:
    - Mantener controlada la temperatura, por potenciales problemas de ignición del gas natural.
    - Posibilitar el acople simple a la cañería.
    - Asegurar la hermeticidad de la máquina y contar con dispositivos de protección, ante la eventualidad de quedar expuesto a gas metano a alta presión.
6) Aumentar la flexibilidad de la máquina, en cuanto a su capacidad de adaptarse a diferentes diámetros de cañerías.
7) Rapidez y sencillez operativa.
8) El agujero efectuado en el perforado debe quedar alineado y centrado.

# Capítulo 1. Estado actual

Como fue detallado en la Introducción, Litoral Gas actualmente cuenta con 2 máquinas para realizar el proceso de perforado, obturado y sellado de gasoductos activos. La perforadora/selladora que se utiliza es la *T.D. Williamson 760 Tapping Machine* [1] y la obturadora es la *STOPPLE Plugging Machine* [2].

Los operarios tratan de utilizar estos equipos lo menos posible, debido a todas las complejidades que traen consigo. Entre ellas, podemos destacar:

1) Se debe utilizar más de una máquina para realizar las tres operaciones: una para perforar y sellar y dos para obturar, necesitando así 3 máquinas en total
2) Las máquinas tienen un peso y dimensiones excesivas, lo que deriva a una logística compleja
3) Los tiempos de operaciones son demasiado extendidos
4) La adaptabilidad de la máquina y sus accesorios a los diferentes diámetros de cañería es nula

En esta sección desarrollaremos cómo funcionan las máquinas que se utilizan en Litoral Gas hoy en día. Describiremos, en particular, el funcionamiento de la perforadora, ya que el de la obturadora es igual, solo varían en que la obturadora no admite giro.

En la Figura 1-1 se puede observar la máquina perforadora T.D.W. 760. La misma cuenta con dos motores hidráulicos, los cuales hacen girar a un tornillo sinfín, y ese giro se traslada a una corona enchavetada a un eje. Por otra parte, ingresa aceite hidráulico al equipo y mediante la presión que éste genera sobre un émbolo, se provoca el descenso del eje. En el extremo de la máquina, se monta un carretel, que contendrá luego el cabezal de corte o el tapón sellador (o la copa de obturación en el caso de la *STOPPLE*). En la Figura 1-2 podemos ver colocados el carretel y el cabezal de corte sobre la máquina perforadora.



**Figura 1-1:** Máquina perforadora TDW 760



**Figura 1-2:** Carretel y cabezal de corte montados sobre la máquina perforadora

A continuación, describiremos el montaje que se realiza para la utilización de estas máquinas. Las partes mencionadas se ilustran en la Figura 1-3.

En primer lugar, se coloca sobre el gasoducto una montadura, que será el elemento que sostendrá a la máquina para realizar las tres operaciones. El mismo debe quedar

centrado y alineado con respecto a la cañería. Encima de la montadura, se coloca la válvula sándwich, la cual es una válvula de compuerta que permite el paso total o nulo del gas. Ahora bien, en la Figura 1-3 se puede observar que entre la válvula sándwich y la montadura, hay un carretel adaptador: este se usa en casos de que se esté trabajando con elementos de diferente serie. En particular, en este caso la montadura era serie S300 y la válvula serie S600.

Sobre la válvula sándwich, se coloca la máquina perforadora o la obturadora.

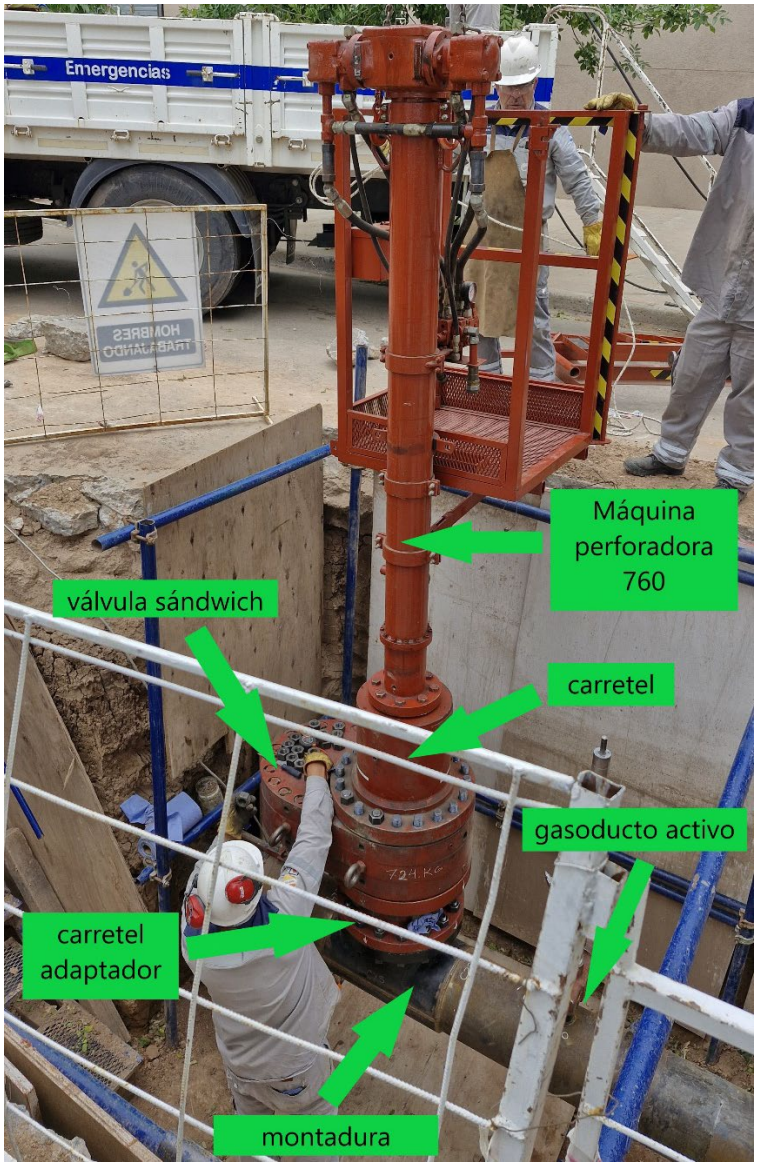



**Figura 1-3:** Máquina perforadora TDW 760 montada sobre gasoducto activo. Se distinguen los diferentes componentes para realizar la operación de perforado

Recordemos que la máquina perforadora TDW 760 también se utiliza para la operación de sellado de la cañería. En esta etapa se necesita que el tapón descienda hasta una cierta profundidad. Mediante un embrague mecánico, se logra desacoplar el giro, por lo cual la perforadora tendrá únicamente movimiento vertical. Esto es indispensable a la hora de realizar el sellado de la cañería, ya que el tapón sellador solo debe descender durante toda la operación. Una vez que el tapón llega a la profundidad adecuada, se deben girar unos tornillos de la montadura (ver elemento 3 de la Figura 1-4), que provocará la extensión de segmentos incorporados en la montadura (ver elemento 2 de la Figura 1-4) que se alojarán en ranuras que presenta el tapón sellador (ver elemento 1 de la Figura 1-4). De esta forma, se asegura que el tapón esté en el lugar indicado y que la perforación quede completamente sellada.




**Figura 1-4:** Desglose de las piezas que se necesitan para sellar las perforaciones.

A partir de los manuales de las máquinas [3, 4], definimos las variables y las condiciones límites de nuestro proyecto, las cuales se desarrollarán a continuación. Con esto, podremos especificar los objetivos y comenzar así con el diseño.

## Variables

Las variables son aquellas características con las que vamos a trabajar en nuestro diseño, con el fin de mejorar el desempeño general de las tareas de intervención de gasoductos activos. En la Tabla 1-1, se establecen las variables para nuestro proyecto.

| Número | Nombre de la variable | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Altura | - Perforadora: 2,248 metros [3] |
| | | - Obturar: 2,248 metros [4] |
| 2 | Peso | - Cuerpo perforadora: 227 kg [3] |
| | | - Unidad de potencia hidráulica: 266 kg [3] |
| | | - Cilindro de operación: 107 kg [4] |
| 3 | Tiempo de operación máximo | El perforado lleva alrededor de 2 horas y 45 minutos, y el obturado y sellado llevan en total 1 hora [5] |
| 4 | Seguridad | Se debe tener una hermeticidad adecuada para evitar filtraciones de gas natural por los accesorios.<br>Se debe controlar la temperatura de operación. |
| 5 | Logística | Compleja debido al alto peso y altas dimensiones de las máquinas |
| 6 | Cantidad de máquinas necesarias para la intervención | 1 para perforar y sellar (*TDW Tapping Machine 760* ) y 2 para obturar (*TDW STOPPLE Plugging Machine* ). |
| 7 | Movimientos | Para perforar, vertical y rotativo; para obturar y sellar vertical |
| 8 | Avance de la perforadora | 0,076 mm/rev [3] |
| 9 | Maniobrabilidad | Dependerá de cómo se coloque la máquina sobre la válvula sándwich, cómo se la conecte a la unidad de potencia y de cómo se realicen las operaciones |
| 10 | Cambio de cabezales | Hay un cabezal diferente para cada operación, cada vez que se necesita cambiarlos, se debe desvincular y levantar la máquina |

**Tabla 1-1:** Variables para el diseño del proyecto

## Condiciones límites

Todo diseño se encuadra en un cierto contexto operacional. En particular, estas máquinas se utilizan en Litoral Gas, por lo cual realizaremos todos los cálculos para los gasoductos sobre los que ellos operan. Además, se incluyen propiedades fisicoquímicas del fluido con el que estamos trabajando. En la Tabla 1-2 se establecen las condiciones límites del proyecto.

| Número | Nombre de la condición límite | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Presión máxima de trabajo | Las máquinas pueden operar hasta con presiones de 100 bar, pero se las utiliza hasta 60 bar en Litoral Gas. |
| 2 | Diámetro del gasoducto | Se pueden utilizar en diámetros desde 3" hasta 16", pero Litoral Gas cuenta con gasoductos de hasta 12". |
| 3 | Características del gas en trabajo | - El gas circula a aproximadamente 15°C. |
| | | - Límites de explosividad del gas, % en volumen en el aire: 5 - 15 [6] |
| | | - La temperatura de autoignición del gas es 537°C [6] |
| | | - La temperatura de inflamabilidad del gas es -188°C [6] |
| | | - No se podrán dar explosiones de ningún tipo (a menos que haya alguna fuga imprevista) debido a la baja temperatura del gas y a que es imposible que se genere una atmósfera explosiva ya que dentro del caño circula (casi) 100% de gas. |

**Tabla 1-2:** Condiciones límites para el diseño del proyecto

# Objetivos

A partir de los puntos desfavorables en el diseño actual detectados en el desarrollo de la Introducción y el presente capítulo, y considerando las variables y condiciones límites establecidos; logramos establecer 7 objetivos, sobre los cuales se apoyarán todas las decisiones para llevar adelante este proyecto. Los mismos, se listan en la Tabla 1-3.

| Número | Descripción |
|---|---|
| 1 | Realizar las 3 operaciones de intervención con un único dispositivo. |
| 2 | **Disminuir la altura de la máquina.** Altura máxima permitida: 2 metros. Se establece este número basándose en evitar que la manipulación del equipo sea muy compleja. |
| 3 | **Disminuir el peso del equipo** (sin contar la unidad de potencia) en por lo menos un 50% de su valor original para facilitar su maniobrabilidad. |
| 4 | **Disminuir el tiempo** necesario para la intervención del gasoducto. Para poder realizar la reparación en un único día, el tiempo sugerido de operación será 2:30 hr. |
| 5 | Diseñar la máquina de forma tal que su operación sea totalmente segura:<br>- Mantener controlada la temperatura por posibles problemas de ignición del gas<br>- Posibilitar el acople simple a la cañería<br>- Asegurar la hermeticidad de la máquina |
| 6 | Máquina flexible en cuanto a su capacidad de adaptarse a diferentes diámetros de cañerías |
| 7 | Rapidez y sencillez operativa. |

**Tabla 1-3:** Objetivos para el diseño del proyecto

# Capítulo 2. Propósitos y propuestas

En este capítulo se definen los propósitos que guían el desarrollo del diseño, los cuales están fundamentados en las variables, condiciones límites y objetivos analizados en el capítulo anterior. Además, se presentan propuestas iniciales que abordan las necesidades identificadas, considerando aspectos funcionales, técnicos y económicos.

## Propósitos

Los propósitos identificados son los siguientes:

1) Incluir un sistema de cambio de cabezal rápido y preciso, de manera tal de poder realizar las operaciones de perforación, obturación y sellado con una única máquina
2) Diseñar la máquina de manera tal de que la unidad de potencia no se encuentre sobre ella, con el fin de poder disminuir su peso y por ende facilitar su maniobrabilidad y logística.
3) Aumentar la velocidad de avance de los cabezales, con el objetivo de poder disminuir el tiempo de operación hasta como máximo 2 horas y media.
4) Incluir sensores de temperatura e indicadores de metano sobre la máquina, para poder detectar posibles fugas y situaciones que sean favorables para la ignición del gas natural, aumentando así la seguridad de la máquina.
5) Implementar un cabezal obturador expandible, que se adapte a distintos diámetros de cañería. De esta manera, se podrán usar los mismos accesorios (excepto el acople de la válvula sándwich al gasoducto) y cabezales de perforado, obturado y sellado **para todos los diámetros** (o al menos para un cierto rango).
6) Diseñar el cabezal de corte de manera tal de que, al momento de finalizar la perforación, permita retirar los residuos del corte cuando se levanta el cabezal.
7) Incluir puntos de izaje en la máquina para facilitar su maniobrabilidad y logística
8) Incluir dispositivos de última barrera de protección para evitar que queden los operarios expuestos a gas natural de hasta 60 bar, en el caso que fallen las medidas de seguridad.

# Propuestas

A partir de los propósitos, se definen diferentes aspectos a tener en cuenta en el diseño para poder proponer tres soluciones diferentes. En la Figura 2-1 se pueden ver estos aspectos considerados.

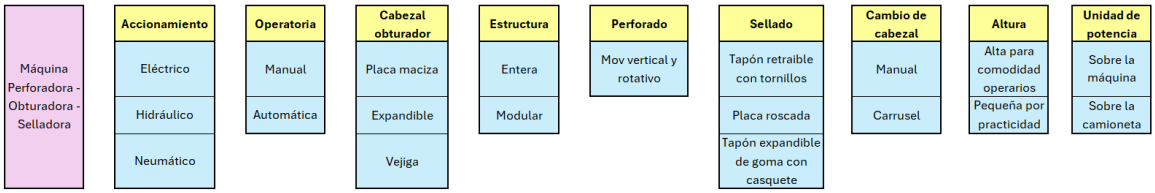



**Figura 2-1:** Desglose de aspectos a considerar para el diseño

A continuación, entraremos más en detalle en cada categoría:

- Accionamiento

La máquina deberá tener con un movimiento vertical y rotativo. Dentro de nuestras opciones, podemos utilizar un motor eléctrico, uno hidráulico o uno neumático.

- Operatoria

La rotación de la máquina puede optarse por realizarla de forma manual o automática.

- Cabezal obturador

El cabezal obturador se utiliza para bloquear el paso del gas dentro de una cañería en una dirección determinada. El mismo puede ser una placa maciza (Fig. 2-2), la cual se trata de un cabezal metálico que sirve para un único diámetro de cañería, y se coloca sobre él un elemento de goma de forma levemente cónica, de manera tal de que al momento que el gas choque sobre esta goma, se termine de adherir a las paredes interiores de la cañería.



**Figura 2-2:** Cabezal obturador con la goma selladora colocada

- Estructura

Proponemos que la máquina sea una estructura completa, o que se fragmente de a partes, es decir, se va montando cada elemento durante la operación en campo.

- Perforado

La operación de perforado únicamente será a través de un movimiento rotativo y vertical. La copa de corte tendrá una pequeña mecha que, en primer lugar, guiará el corte de la cañería, y luego permitirá retirar el trozo de caño perforado. Es indispensable que los residuos del corte se retiren, ya que, si llega a caer dentro de la cañería, el obturado se volverá extremadamente complejo. En la Figura 2-3, se puede observar el cabezal de corte con la mecha en su centro, ya montado sobre el carretel.

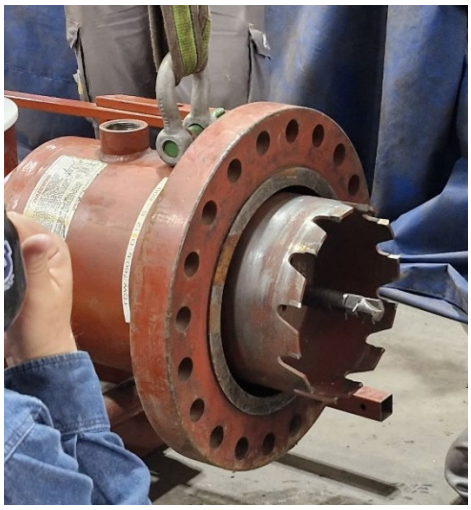


**Figura 2-3:** Cabezal de corte, con su respectiva mecha en el centro.

- Sellado

Una de las opciones es continuar utilizando las tapas que se usan hoy en día para este tipo de operaciones, es decir, utilizar un tapón retraíble con tornillos (Figura 1-4).

La segunda opción reside en realizar un roscado a la parte interna de la montadura, y sellar la perforación así mediante una placa roscada.

La tercera opción se trata de utilizar un tapón expandible de goma, el cual se observa en la Figura 2-4. Al girar la rosca del tapón, se genera una presión dentro del tapón, haciendo que sus paredes de goma se expandan. Actualmente en Litoral Gas se utilizan estos tapones para dejar anuladas las cañerías de media presión (desde 0,5 hasta 1,5 bar), y para dejar protegido este tapón, se tapa el tramo de cañería expuesto con un casquete.



**Figura 2-4:** Tapón expandible de goma

- Cambio de cabezal

Actualmente, la perforadora y la obturadora salen del taller con sus respectivos cabezales colocados. Luego de perforar, se retira la TDW 760 de la válvula sándwich, se cambia manualmente el cabezal perforador por el tapón sellador, y después de finalizar la intervención del gasoducto, se sella la perforación. Podemos continuar con la metodología de cambio de cabezales de forma manual o podemos implementar un sistema más dinámico: un carrusel que sostenga los cabezales, asimilándose al carrusel portaherramientas que tienen los tornos CNC.

- Altura

Actualmente la gran altura de la máquina dificulta su maniobrabilidad. Podemos optar por reducir su altura en lo mayor posible para facilitar su uso, o podemos reducirla en un punto medio, de manera tal de que sea ergonómica: en el primer caso los operarios tendrían que agacharse para poder operar la máquina.

- Unidad de potencia

Otra gran problemática que volvía muy poco maniobrable a esta máquina era el peso de la misma. Actualmente la unidad de potencia va montada sobre la máquina, pero podríamos optar por dejarla sobre el camión que la transporta y aumentar la longitud de las mangueras que van hasta la máquina.

A partir de las diferentes propuestas que se sugirieron para cada aspecto operacional, se realizarán diversas combinaciones de las mismas, formando diferentes propuestas de diseño. Estas luego se ponderarán, y la solución elegida será aquella que obtenga la mayor puntuación.

***Propuesta N°1***

Será una máquina con accionamiento hidráulico, de operatoria automática, con un cabezal obturador macizo con rueda guía para un único diámetro de cañería. La estructura será entera, pero nos centraremos en reducir el tamaño de la misma en lo máximo posible buscando una mejora en la maniobrabilidad. El perforado se realizará con un movimiento vertical y rotativo. El sellado será con un tapón retraíble con tornillos. El cambio de cabezal será manual. La unidad de potencia se encontrará sobre la camioneta para disminuir el peso de la máquina.

***Propuesta N°2***

Será una máquina con accionamiento neumático, de operatoria manual, con un cabezal obturador expandible que permita operar en un cierto rango de diámetros de cañerías (por ejemplo, un cabezal que se pueda utilizar para diámetros de 10’’ a 12’’). La estructura será modular, de manera tal de poder aumentar la maniobrabilidad de la máquina a la hora del montaje, siempre haciendo foco en mantener la hermeticidad durante el perforado. El perforado se realizará con un movimiento vertical y rotativo. El sellado será

una placa roscada. El cambio de cabezal será con un carrusel. La unidad de potencia se encontrará sobre la máquina.

***Propuesta N°3***

Será una máquina con accionamiento hidráulico, de operatoria manual, con un cabezal obturador tipo vejiga, adaptable para distintos rangos de diámetros, por ejemplo, de 10" a 12". La estructura será entera, pero nos centraremos en reducir el tamaño de la misma en lo máximo posible buscando una mejora en la maniobrabilidad. El perforado se realizará con un movimiento vertical y rotativo. El sellado será un tapón expandible de goma con casquete. El cambio de cabezal será con un carrusel. La unidad de potencia se encontrará en la camioneta, de forma de reducir el peso de la máquina

## Elección de la solución

Para determinar cuál de estas tres propuestas es la más adecuada, realizamos una matriz de ponderación, en la cual se califican numéricamente (del 0 al 1) seis aspectos diferentes y luego se suma cada puntaje. La propuesta elegida será aquella que tenga el puntaje final más alto.

Los aspectos por evaluar en cada propuesta surgen de las variables identificadas en este proyecto. Cada solución será calificada según los estándares que se observan en la Tabla 2-1.

| Aspecto a evaluar | Escala |
|---|---|
| **Altura** | 1: Maximiza la disminución de altura |
| | 0,5: Disminuye la altura, pero no sustancialmente |
| | 0: No se observan modificaciones con respecto a la altura |
| **Peso** | 1: Maximiza la disminución del peso |
| | 0,5: Disminuye el peso, pero no sustancialmente |
| | 0: No se observan modificaciones con respecto al peso |
| **Maniobrabilidad** | 1: Maximiza todo lo relacionado al montaje de la máquina para su operación, considerando aspectos de peso, altura y tiempo de armado |
| | 0,5: Facilita relativamente la operabilidad con relación a la máquina utilizada actualmente |
| | 0: No se observan cambios respecto a la máquina utilizada actualmente |
| **Flexibilidad con respecto a Diámetros** | 1: Permite disminuir la cantidad total de accesorios con los que se deben operar en la totalidad de diámetros |
| | 0,5: El material utilizado no asegura la implementación en todos los accesorios en un rango considerable de diámetros |
| | 0: No se observan cambios respecto a la máquina utilizada actualmente |
| **Seguridad (hermeticidad)** | 1: Al ser una máquina entera, se asegura que la misma sea completamente estanca (no modular) |
| | 0,5: Corre riesgo la hermeticidad de la máquina al utilizar un obturador tipo vejiga |
| | 0,3: Corre en riesgo la hermeticidad de la máquina al ser modular |
| **Tiempo de operación** | 1: Maximiza la disminución de tiempo de operación |
| | 0,5: Disminuye el tiempo de operación, pero no sustancialmente |
| | 0: No se observan modificaciones con respecto al tiempo de operación |

**Tabla 2-1:** Referencias establecidas para calificar los diferentes aspectos que definen a las propuestas

A partir de estas referencias, calificamos cada propuesta según los diferentes aspectos a evaluar. Se puede ver, en la Tabla 2-2, cada calificación y que la **propuesta elegida será la N°1**, al ser la que obtuvo un mayor puntaje total.

| Rango de escala: de 0 a 1 | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 |
|---|---|---|---|
| Altura | 1 | 0,5 | 0,5 |
| Peso | 1 | 0,4 | 0,7 |
| Maniobrabilidad | 0,5 | 1 | 0,8 |
| Flexibilidad en cuanto a diámetros | 0,5 | 1 | 0,8 |
| Seguridad (hermeticidad de la | 1 | 0,3 | 0,5 |
| Tiempo de operación | 0,7 | 0,8 | 0,5 |
| **PUNTAJE TOTAL** | **4,7** | **4** | **3,8** |

**Tabla 2-2:** Matriz de ponderación de las propuestas de soluciones presentadas

Se describirá, a continuación, el motivo de cada puntaje asignado.

- **Altura**: a la solución 1 se le asigna un valor igual a 1 porque su diseño se centra en la disminución de su altura y la misma no cuenta con un carrusel. A las soluciones 2 y 3 se les asigna un valor igual a 0,5 al realizar el cambio de cabezal mediante un carrusel, aumentando su altura.

- **Peso**: A la solución 1 se le asigna un valor igual a 1 ya que la unidad de potencia se encontrará en el camión, lo cual disminuirá el peso total de la máquina. A la solución 2 se le asigna un valor igual a 0,4 ya que la unidad de potencia se encuentra sobre la máquina y, además, cuenta con un carrusel. A la solución 3 se le asigna un valor igual a 0,7 ya que también cuenta con un carrusel, pero la unidad de potencia se encuentra sobre el camión.
- **Maniobrabilidad**: A la solución 1 se le asigna un valor igual a 0,5 debido a que es una estructura entera y se realiza el cambio de cabezal manualmente. A la solución 2 se le asigna un valor igual a 1 debido a que es una estructura modular y realiza el cambio de cabezal con un carrusel. A la solución 3 se le asigna un valor igual a 0,7 debido a que es una estructura entera y realiza el cambio de cabezal con un carrusel.
- **Flexibilidad con respecto a los diámetros**: a la solución 1 se le asigna un valor igual a 0,5 ya que, si bien deberemos contar con un cabezal obturador por diámetro, se pueden realizar diferentes adaptaciones para disminuir la cantidad de accesorios totales. A la solución 2 se le asigna un valor igual a 1 al implementar el sistema de cabezal obturador de placa expandible. A la solución 3 se le asigna un valor igual a 0,8 al implementar como obturador una vejiga, la cual no permitirá un rango de aplicación muy grande debido a su resistencia contra las altas presiones del gas.
- **Seguridad (hermeticidad):** a la solución 1 se le asigna un valor de 1 ya que, al ser una estructura entera, disminuye las probabilidades de que haya fugas y además se sigue implementando el cabezal de placa maciza que se utiliza hoy en día, que ha demostrado excelentes condiciones operativas, sin riesgos de fugas. A la solución 2, en cambio, se le asigna un valor de 0,3 ya que la estructura al ser modular tendrá mayores riesgos de fugas a través de los puntos de conexión de las partes. La solución 3 tendrá un puntaje de 0,5 en este aspecto ya que un obturador del tipo vejiga no es el más adecuado para soportar presiones de hasta 60 bar.
- **Tiempo de operación**: a la solución 1 se le asigna un valor igual a 0,7 debido a que posee operatoria automática, una estructura entera y un cambio de cabezal manual. A la solución 2 se le asigna un valor igual a 0,8 debido a que posee una operatoria manual, una estructura modular (aunque haya que ir uniendo las

partes, el tiempo de montaje será menor que en el caso de una estructura entera, al ser más maniobrable) y un cambio de cabezal mediante carrusel. A la solución 3 se le asigna un valor igual a 0,5 debido a que posee una operatoria manual, una estructura entera y un cambio de cabezal mediante carrusel.

# Capítulo 3: Desarrollo de la propuesta elegida

En este capítulo, se detallarán todos los aspectos de diseño que en los que nos hemos basado para llevar adelante esta solución.

## Circuito hidráulico

Antes de comenzar a realizar el diseño mecánico de la estructura y definir sus elementos constructivos, decidimos empezar diseñando el circuito hidráulico.

Uno de nuestros objetivos era lograr realizar las 3 operaciones con una única máquina. Para esto, debemos contemplar 2 situaciones: una en la que tenga en simultáneo un avance lineal y un movimiento rotativo; y otra en que solamente tenga un avance lineal. A partir de esto, definimos que precisamos un motor hidráulico para proporcionar el giro del cabezal de corte, y que el eje avance a partir de la presión que pueda generar el aceite hidráulico sobre un émbolo, que esté sostenido por el eje, como si la propia máquina actuase como un circuito hidráulico.

La máquina *TDW 760* tiene dos motores hidráulicos: se utiliza uno solo cuando se desea un torque mayor, y se utilizan los dos cuando se busca obtener una velocidad mayor. En nuestro caso, decidimos utilizar un único motor y además incluir una válvula reguladora de caudal. Debemos tener en cuenta que los motores hidráulicos giran a altas velocidades y, a efectos que no se generen focos de calor, el perforado tiene que ser a una velocidad baja. En este sentido, podríamos pensar en una segunda válvula reguladora de caudal que disminuya la velocidad de giro, pero por cuestiones de costos preferimos optar por reducir la velocidad de giro a través del sistema de transmisión mecánico.

En la Figura 3-1, se observa el circuito hidráulico diseñado.

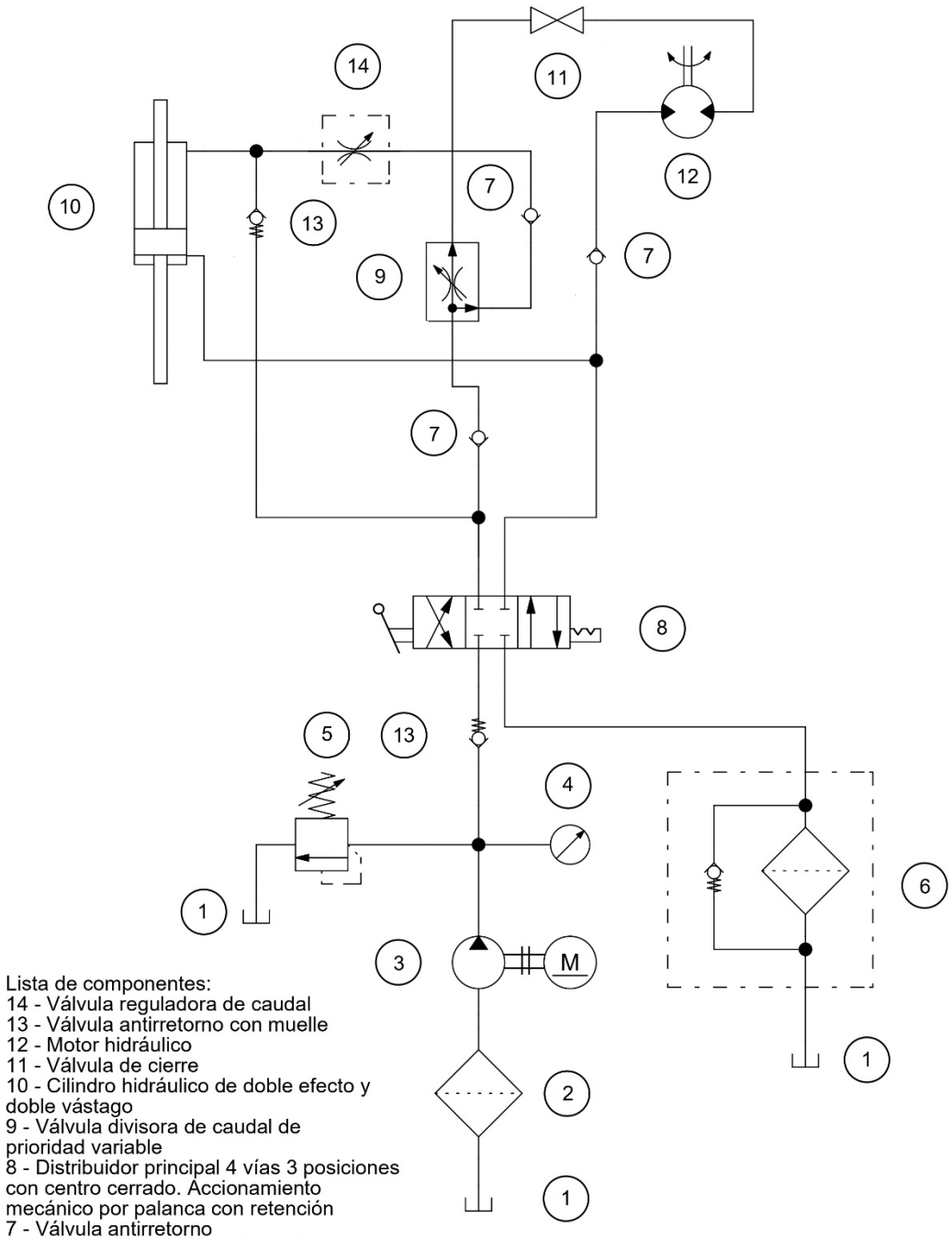



**Figura 3-1:** Circuito hidráulico diseñado para la máquina

Los elementos más importantes de nuestro circuito son la válvula divisora de caudal de prioridad variable (ver elemento 9 en Figura 3-1), la válvula de cierre (ver elemento 11 en Figura 3-1) y la válvula reguladora de caudal (ver elemento 14 en Figura 3-1).

En nuestro caso, la velocidad de avance será muy pequeña en relación con la velocidad de giro del motor hidráulico; recordemos que la velocidad de rotación se disminuye a través de un sistema reductor de engranajes. Es por esto por lo que haremos una división de caudal muy fina, la mayor parte irá destinado al motor y lo restante irá a la máquina. Una válvula divisora de caudal convencional no admite divisiones tan desproporcionadas, por lo cual decidimos implementar la divisora de caudal de prioridad variable. Elegiremos un motor cuyo caudal sea lo más cercano posible al del motor y ajustaremos la válvula de prioridad de manera tal que le llegue el caudal necesario al motor. El resto, se enviará a la máquina, que actuará como un cilindro hidráulico.

Aun así, la máquina estaría recibiendo un caudal muy grande y necesitamos disminuir la velocidad del aceite, de forma tal de poder cumplir con los requerimientos para el perforado que nos otorga el fabricante. Es por esta razón que decidimos incluir la válvula reguladora de caudal, luego de la salida de la divisora de prioridad y antes de ingresar al cilindro. Es importante destacar que cuando el cilindro esté ascendiendo (es decir, cuando ya hemos finalizado cualquiera de las tres operaciones), lo hará de forma rápida, ya que el aceite no atravesará la válvula reguladora.

Por último, es fundamental recordar que para las operaciones de obturación y sellado necesitamos un movimiento únicamente vertical. Para poder entonces bloquear el giro del motor, se instala una válvula de cierre aguas arriba del motor. Esto también nos sirve para bloquear el giro cuando el cilindro esté ascendiendo.

## Sistema de transmisión

Necesitamos diseñar un mecanismo que permita un giro y un avance lineal simultáneo y, por otra parte, que permita únicamente el giro. Para ello, nos inspiramos en el diseño de un taladro de banco: tendremos una corona enchavetada a un eje, pero la chaveta será de una gran longitud, permitiendo así que continue el giro, aunque el eje esté descendiendo. La corona va a girar al estar engranada a un tornillo sinfín, el cual a su vez

va a estar acoplado al motor hidráulico. Luego, el eje tendrá un émbolo, tal como si fuese un cilindro hidráulico, y la presión de aceite que se genere sobre él, lo hará avanzar.

El sistema de corona y tornillo sinfín logrará reducir en gran medida la velocidad de giro del eje; ya que logra una alta relación de transmisión en un volumen considerablemente pequeño.

Para impedir el desplazamiento axial de la corona, se colocará debajo de ella una crapodina, que permitirá su rotación sin sufrir desgaste con la carcasa de la máquina. Además, se incorpora por encima una tapa, la cual tendrá atornillada un elemento de sacrificio de bronce, que estará en contacto con la corona. Este elemento de bronce deberá reemplazarse según el desgaste que sufra.

Vale la pena resaltar que esta no es una máquina que trabaja con una alta frecuencia, sin pausas, como una máquina usual de un entorno industrial; sino que se trata de un equipo de intervención cuya operación dura como máximo 2 horas y media. Es por esto por lo que el desgaste del elemento de sacrificio no será excesivo, por lo que no se deberá cambiarlo con tanta periodicidad.

En la Figura 3-2 se puede observar el sistema de transmisión corona y tornillo sinfín, junto con la crapodina y tapa de bronce descriptas.

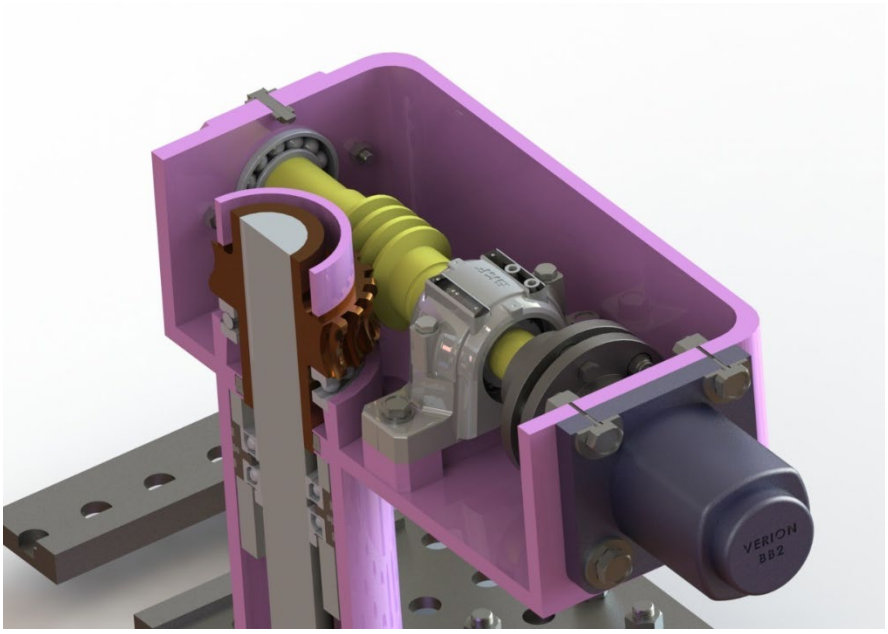



**Figura 3-2:** Sistema de transmisión

## Variabilidad en los diámetros

Uno de los objetivos de este proyecto reside en volver más flexible a la máquina en cuanto a la adaptabilidad a diferentes diámetros de cañería. Hoy en día para operar esta máquina se necesita utilizar los accesorios específicos para cada diámetro, lo cual deriva en un gran costo.

Es por esto por lo que decidimos disminuir la cantidad de accesorios necesarios para operar en todo el rango de diámetros que debemos considerar. En una primera instancia se podría pensar en contar con un único accesorio (de cada tipo) que sirva para todos los diámetros, utilizando algún tipo de adaptador para cada medida. El problema de esto reside en que deberíamos usar, por ejemplo, la válvula sándwich y el carretel del mayor diámetro (cambiando las mechas de corte, copa de obturación, tapón sellador y montadura para la indicada para cada diámetro), el peso que debería soportar la cañería sería demasiado grande y eso provocaría deformaciones y roturas en el mismo; sin mencionar que también deberá soportar el peso de la máquina en sí, más del aceite que contenga.

Siguiendo nuestro objetivo de aumentar la flexibilidad de adaptación a diferentes diámetros, lo cual significa disminuir la cantidad de accesorios con los que debemos contar para poder operar, decidimos trabajar de a rangos de 2 diámetros. Es decir, los accesorios utilizados para, por ejemplo, cañerías de 12”, serán los mismos que los utilizados para cañerías de 10”. En este último caso, se agrega un carretel adaptador que permitirá conectar la válvula sándwich de 12” con la montadura de 10”. Esto se repite para los diferentes rangos: 8 y 6”; y 4 y 3”. En la Figura 3-3 se puede observar la diferencia de elementos que necesitamos ahora con respecto a las que se precisan para el diseño anterior.

| Antes | |
|---|---|
| **Cañería 12"** | |
| Máquina | 1 |
| Carretel 12" | 1 |
| Válvula Sándwich 12" | 1 |
| Montadura 12" | 1 |
| Mecha de corte 12" | 1 |
| Copas de obturación 12" | 2 |
| Tapón sellador 12" | 1 |
| Porta-herramientas 12" | 1 |
| Porta-tapón 12" | 1 |
| **Cañería 10"** | |
| Carretel 10" | 1 |
| Válvula Sándwich 10" | 1 |
| Montadura 10" | 1 |
| Mecha de corte 10" | 1 |
| Copas de obturación 10" | 2 |
| Tapón sellador 10" | 1 |
| Porta-herramientas 10" | 1 |
| Porta-tapón 10" | 1 |
| **Total elementos** | **19** |

| Después | |
|---|---|
| **Cañería 12"** | |
| Máquina | 1 |
| Carretel 12" | 1 |
| Válvula Sándwich 12" | 1 |
| Montadura 12" | 1 |
| Mecha de corte 12" | 1 |
| Copas de obturación 12" | 2 |
| Tapón sellador 12" | 1 |
| Porta-herramientas 12" | 1 |
| Porta-tapón 12" | 1 |
| **Cañería 10"** | |
| Carretel 10" | 1 |
| Carretel adaptador 12 a 10" | 1 |
| Montadura 10" | 1 |
| Mecha de corte 10" | 1 |
| Copas de obturación 10" | 2 |
| Tapón sellador 10" | 1 |
| **Total elementos** | **17** |

**Figura 3-3:** Análisis de la cantidad de elementos necesarios para operar en dos diámetros, tanto para el diseño anterior como el desarrollado en este proyecto

Vemos de la Figura 3-3 que hemos logrado disminuir la cantidad de elementos en 2. Si bien este número puede parecer pequeño, debemos tener en cuenta que en lugar de tener una válvula sándwich para cada diámetro, ahora tendremos 1 sola por rango. Estas válvulas son realmente costosas, en comparación a lo que cuesta fabricar un carretel adaptador (elemento que se agrega para compensar la diferencia de diámetro). Además, son elementos que se deben mantener con una alta rigurosidad, ya que son la última barrera de protección entre un gasoducto activo y las personas. Teniendo entonces 1 válvula sándwich en vez de 2 en un rango, se disminuyen los costos de fabricación y de mantenimiento y los riesgos asociados a la tarea.

# Capítulo 4: Selección de componentes

En este capítulo indicaremos cuáles son los componentes que seleccionamos para nuestro diseño, principalmente del circuito hidráulico que le da el movimiento.

## Máquina de intervención para el gasoducto

Por un lado, nos centraremos en los componentes que irán acoplados a la máquina que hemos diseñado. Haciendo referencia a la Figura 1-3, la válvula sándwich y la montadura serán elementos comerciales que proveerá *T.D. Williamson* [13, 14]. También se utilizarán de este fabricante las mechas de corte, las mechas guías, el cabezal obturador, el tapón sellador y la unidad de potencia hidráulica con un motor diésel.

Por otra parte, la propia máquina y sus elementos de transmisión, los carreteles convencionales y adaptadores, y los portaherramientas serán fabricados según los planos que se presentan en el Anexo D.

## Circuito hidráulico

En esta sección detallaremos los componentes que vamos a seleccionar para poder armar el circuito ilustrado en la Figura 3-1. Entre ellos, definiremos la válvula distribuidora principal, la válvula divisora de caudal prioritario, la válvula reguladora de caudal, la válvula de cierre, el motor hidráulico y las válvulas antirretorno. También se seleccionará la bomba y la válvula limitadora de presión.

### Motor hidráulico

Para elegir el motor hidráulico, nos basamos en los valores obtenidos para el perforado: la potencia que requiere la operación de $\mathbf{10,26}\ \boldsymbol{kW}$ (ver Ecuación (C.5)) y el torque de $\mathbf{4898,89}\ \boldsymbol{Nm}$ (ver Ecuación (C.6)) que deberá ejercer la mecha de corte sobre el gasoducto para poder perforarlo. De esta forma, elegimos el motor **VERION BB2** cuya potencia es de $\mathbf{15}\ \boldsymbol{kW}$ y su torque de $\mathbf{555}\ \boldsymbol{Nm}$**,** según la Tabla B-1.

Si bien el torque del motor es menor al requerido por la operación, debemos tener en cuenta que tenemos un sistema reductor mecánico, lo que provocará que disminuya la

velocidad de giro, pero aumente la potencia entregada. A través de la Ecuación (C.11) podemos ver que el torque entregado por el motor, aumentado por el sistema de transmisión, resulta ser de $\mathbf{13875}\ \boldsymbol{Nm}$, siendo este valor mayor al requerido para la perforación.

Por catálogo, la cilindrada del motor hidráulico es de $\mathbf{125}\ \boldsymbol{cm^3/rev}$ y su velocidad de giro es de $\mathbf{500}\ \boldsymbol{RPM}$. Así, podemos obtener el caudal necesario que debe llegar al motor a través de la Ecuación (4.1).

$$Q_{motor} = C\ .\ \omega_{motor} = 125\,\frac{cm^3}{rev}\ .\ 500\,\frac{rev}{min} = 62500\,\frac{cm^3}{min} = 62{,}5\,\frac{L}{min} = 3{,}75\,\frac{m^3}{h} \quad (4.1)$$

Así, se enviará al motor un caudal de $\mathbf{62,5}\,\frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{min}}$ por la válvula divisora de caudal prioritario, y el resto se enviará al cilindro. Sabemos que este resto de caudal será muy pequeño, por lo cual, para calcular las pérdidas de carga, vamos a suponer que estamos trabajando con una bomba que genera un caudal de $\mathbf{64}\,\frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{min}}$. Más adelante seleccionaremos una bomba con un caudal y presión definida.

Por catálogo, no se define la pérdida de carga que el motor provoca. Por ello, vamos a considerar un valor conservador de **11 bar**.

### Distribuidor principal

Necesitamos un distribuidor principal de 3 posiciones con 4 vías con accionamiento mecánico. Para ello, elegimos la válvula **REXROTH 4WMM10E55/F/M-**, cuya presión de trabajo máxima es de **350 bar** y su caudal máximo es de **160 L/min** [15]. Más adelante, cuando seleccionemos la bomba, podremos ver que estos valores son superiores a los que vamos a operar. Por la Figura 4-1 [15], obtenemos que la pérdida de carga de esta válvula es de **4 bar**, con una bomba que entrega un caudal de **64 L/min**.

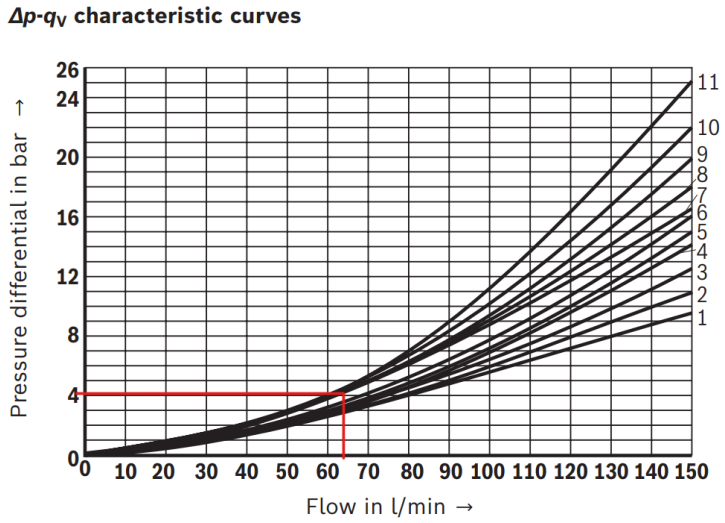



**Figura 4-1:** Caída de presión del distribuidor en función del caudal

Este distribuidor estará accionado por palancas con retención, de manera de poder operar con mayor comodidad: al principio de los recorridos se puede dejar la palanca activada y retenida, y cuando se esté llegando a las posiciones finales se le puede dar un avance más controlado.

### Válvulas

Para la válvula divisora de caudal prioritario, elegimos la WEBTEC VFD120-RD-200-H [16]. Su presión de trabajo máxima es de **420 bar** y su caudal máximo es de **120 L/min**. Optamos por este tipo de válvula en lugar de una divisora convencional, ya que ésta nos permite tener un control mucho más fino: necesitamos un caudal muy pequeño para el avance de la máquina, en comparación al que se dirigirá para el giro del motor hidráulico.

Para obtener la pérdida de carga de este elemento, consideramos el caudal prioritario (el que va al motor) y trabajaremos con la gráfica de la Figura 4-2 proporcionada por el catálogo de esta válvula [16]. De allí, vemos que la pérdida de carga es **165 PSI**, lo que equivale a **11,4 bar**.

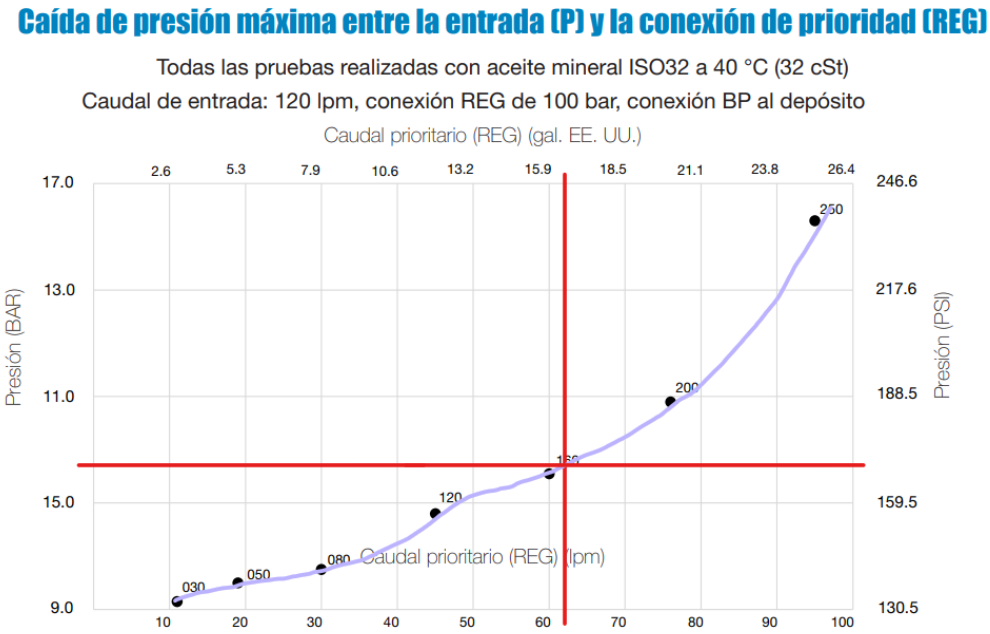



**Figura 4-2:** Caída de presión de la válvula divisora de caudal prioritario

Para la válvula reguladora de caudal, elegimos la REXROTH 2FRM16-30/100LBJV [17], cuya presión máxima de trabajo es de **315 bar** y su caudal máximo es de **160 L/min**. Esta válvula hará que la velocidad proveniente de la válvula divisora de caudal prioritario se disminuya hasta la medida que se lo necesita para cumplir con los parámetros recomendados del perforado. Por la Figura 4-3 [17], obtenemos que la pérdida de carga de esta válvula es de **6 bar,** con una bomba que entrega un caudal de **64 L/min**.

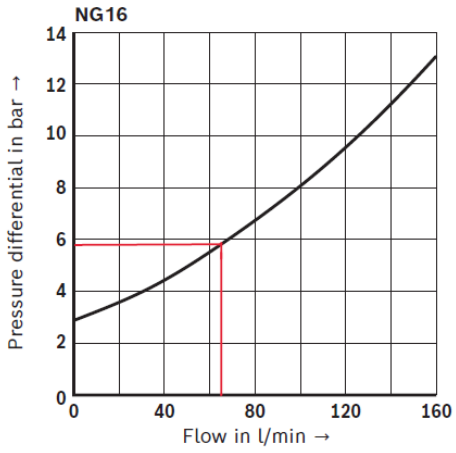



**Figura 4-3:** Caída de presión de la válvula reguladora de caudal

Como válvula de cierre elegimos una esférica de la marca TMM I-500 [18], cuya presión nominal de trabajo es de **80 bar**. Con ella tendremos la posibilidad de permitir el paso total del caudal o anularlo. Por la Figura 4-4 [18], obtenemos que la pérdida de carga de esta válvula de 3/4" es de **0,01 bar,** con una bomba que entrega un caudal de **1,06 L/s**.

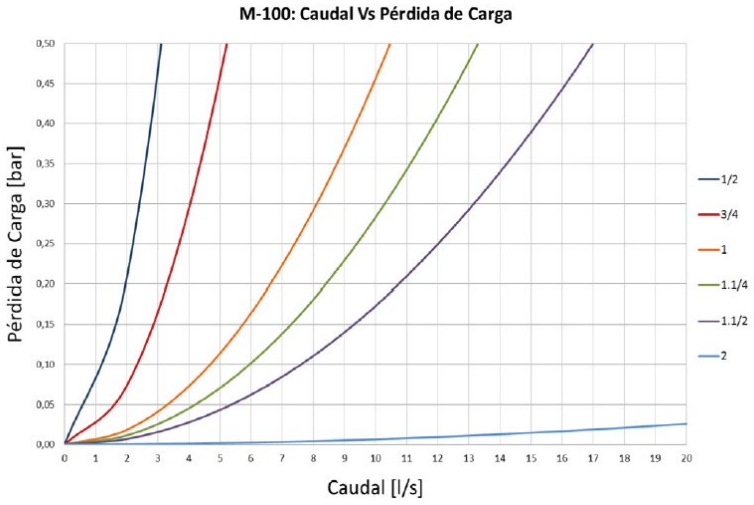



**Figura 4-4:** Caída de presión de la válvula esférica

Para las válvulas antirretorno seleccionamos la DISUMTEC 3/4". La presión mínima de abertura es de 0,5 bar [23], y considerando que tendremos 5 antirretornos en el circuito, la pérdida de carga total generada por estos elementos es **2,5 bar**.

### Mangueras

Seleccionaremos las mangueras DICA SAE 100 R2 3/4". Por catálogo [20], son aptas para líneas hidráulicas de alta presión, desde 50 a 415 bar. Para calcular la pérdida de carga de la manguera, utilizaremos la ecuación de Darcy-Weisbach (ver Ecuación (4.2)), donde $f$ es el factor de fricción, $\rho$ es la densidad del fluido, $v$ es la velocidad del fluido, $L$ es la longitud de la manguera y $D$ es el diámetro interno de la manguera.

$$\Delta P_m = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2 \cdot L}{2D} \quad (4.2)$$

De aceite hidráulico elegimos el LIQUIMOLY - ACEITE HIDRÁULICO HLP 22. Por catálogo [22], tiene una densidad $\rho = 0{,}85 \frac{g}{cm^3} = 850\ kg/m^3$ y una viscosidad cinemática $\nu = 22\ mm^2/s = 0{,}000022\ m^2/s$. Para poder calcular el factor de fricción, necesitamos

saber en qué régimen de flujo se encuentra el aceite. Para ello, primero vamos a calcular la viscosidad dinámica del aceite por la Ecuación (4.3).

$$\mu = \nu \,.\, \rho = 0{,}000022 \frac{m^2}{s} \,.\, 850 \frac{kg}{m^3} = 0{,}019 \; Pa \,.\, s \quad (4.3)$$

Ahora necesitamos calcular la velocidad del fluido. Primero determinaremos el área de la sección transversal de la manguera por la Ecuación (4.4).

$$A = \frac{\pi \, D^2}{4} = \frac{\pi \left(\frac{3}{4} pulg \,.\, \frac{0{,}0254 \; m}{1 \; pulg}\right)^2}{4} = 0{,}000285 \; m^2 \; (4.4)$$

La velocidad del fluido la obtenemos por la Ecuación (4.5).

$$v = \frac{Q_{bomba}}{A} = \frac{3{,}88 \frac{m^3}{h}}{0{,}000285 \; m^2} = 3{,}78 \frac{m}{s} \; (4.5)$$

Con esto, ya nos encontramos en condiciones de calcular el número de Reynolds (ver Ecuación (4.6)).

$$Re = \frac{\rho \, v \, D}{\mu} = \frac{850 \frac{kg}{m^3} \,.\, 3{,}78 \frac{m}{s} \,.\, \left(\frac{3}{4} pulg \,.\, \frac{0{,}0254 \; m}{1 \; pulg}\right)}{0{,}019 \; Pa \,.\, s} = 3276{,}01 \; (4.6)$$

De esta forma, por la Figura 4-5, el aceite tendrá un régimen de flujo transicional. Para calcular el factor de fricción, asumiremos que tenemos un flujo turbulento.

| | |
|---|---|
| $\mathrm{Re} \lesssim 2\,300$ | flujo laminar |
| $2\,300 \lesssim \mathrm{Re} \lesssim 4\,000$ | flujo transicional |
| $\mathrm{Re} \gtrsim 4\,000$ | flujo turbulento |

**Figura 4-5:** Régimen de flujo según el número de Reynolds [24]

Así, para calcular el factor de fricción $f$ utilizamos la aproximación de Blasius para flujo turbulento en tuberías lisas (ver Ecuación (4.7)).

$$f = \frac{0{,}0316}{Re^{0{,}25}} = \frac{0{,}0316}{3276{,}01^{0{,}25}} = 0{,}04 \; (4.7)$$

Para determinar la cantidad de metros de manguera que tenemos, primero consideraremos que la distancia desde la camioneta (donde estará la unidad de potencia) hasta la máquina es de 10 metros. Por otro lado, la distancia máxima entre el gasoducto

y la máquina es de 3 metros, es en el caso de gasoductos de 10. Teniendo en cuenta que tenemos en total 4 mangueras, la cantidad de metros de manguera que vamos a considerar viene dado por la Ecuación (4.8).

$$L = (10 + 3)\ m\ .4 = 52\ m \quad (4.8)$$

Finalmente, podemos reemplazar en la Ecuación (4.2) los valores obtenidos, y así obtener la pérdida de carga generada por las mangueras (ver Ecuación (4.9)).

$$\Delta P_m = \frac{0{,}04\ .\ 850\ \frac{kg}{m^3}\ .\ \left(3{,}78\ \frac{m}{s}\right)^2\ .\ 52\ m}{2\ \left(\frac{3}{4}\ pulg\ .\ \frac{0{,}0254\ m}{1\ pulg}\right)} = 694000\ Pa = 6{,}94\ bar \quad (4.9)$$

**Central hidráulica**

Como válvula limitadora de presión, elegimos la Rexroth DB10A-110100-W230N9K4V [18], cuya presión máxima de trabajo es de **350 bar** y su caudal máximo es de **400 L/min**. El catálogo no dice cuál es la pérdida de carga que provoca este elemento, por lo cual vamos a suponer que es de **10 bar.**

Con el desarrollo realizado hasta el momento, podemos seleccionar la bomba. Ya definimos el caudal aproximado que deberá entregar, pero aún nos falta definir la presión mínima que debe entregar. Para ello, calculamos la pérdida de carga de todo el sistema a partir de la Ecuación (4.10):

$$\Delta P = \Delta P_{dist-ppal} + \Delta P_{antirretorno} + \Delta P_{prioridad} + \Delta P_{reguladora} + \Delta P_{mangueras} + \Delta P_{motor} + \Delta P_{esferica} + \Delta P_{limitadora}$$

$$\Delta P = (4 + 2{,}5 + 11{,}4 + 6 + 6{,}94 + 11 + 0{,}01 + 10)\ bar$$

$$\Delta P = 51{,}85\ bar \quad (4.10)$$

Por otra parte, debemos tener en cuenta la presión que deberá tener el aceite para poder realizar el perforado. Así, tomando la fuerza de avance en el momento del perforado (ver Ecuación (C.25)) y el área del émbolo, podemos definir por la Ecuación (4.11) la presión mínima que debe tener el aceite que ingresa al cilindro.

$$P_{cilindro} = \frac{F_{perforado}}{A_{embolo}} = \frac{33414{,}9\ N}{0{,}015\ m^2} = 2216000\ Pa = 22{,}16\ bar \quad (4.11)$$

Así, la presión mínima que deberá tener la bomba viene dado por la Ecuación (4.12).

$$P_{min} = \Delta P + P_{cilindro} = 74{,}00\ bar \quad (4.12)$$

Con esto, definimos que la bomba deberá entregar un caudal un poco mayor a 3,75 m3/h a una presión de por lo menos 74 bar. Así, seleccionamos la bomba de engranajes Hynesur BG20STOAT80EExDOV [22], la cual entrega un caudal de **64,7 L/min** y tiene una presión de trabajo máxima de **220 bar.**

# Capítulo 5: Procedimiento operativo

En este capítulo se describirá el procedimiento operativo para realizar una intervención a un gasoducto, utilizando nuestro equipo.

## Preparación

### En el taller

Previamente a la salida a campo, habrá que realizar un mantenimiento integral de la máquina. Se deberá que lubricar la caja de transmisión (sinfín – corona) y verificar concentricidad del eje con respecto a la carcasa.

Se deberá colocar sobre el final de la máquina una capa de grasa, una junta y otra capa de grasa, para poder después unir el carretel sobre la máquina mediante bulones; utilizando un torquímetro o llave dinamométrica. De esta forma, se puede asegurar que todos los bulones se ajustan con el mismo torque, y así el carretel se mantiene concéntrico con respecto al eje de la máquina.

Una vez instalado el carretel, se deberá preparar la máquina para poder comenzar a realizar el perforado en campo. Para ello, se deberá realizar:

1) Unión de la broca de corte al portaherramientas mediante tornillos, utilizando un torquímetro (ver Figura 5-1)
2) Unión de la mecha guía a la broca de corte, mediante sistema de unión con pinza ER (ver Figura 5-2)
3) Unión del portaherramientas al eje de la máquina, mediante un sistema de encastre con resortes y trabas. (ver Figura 5-3)

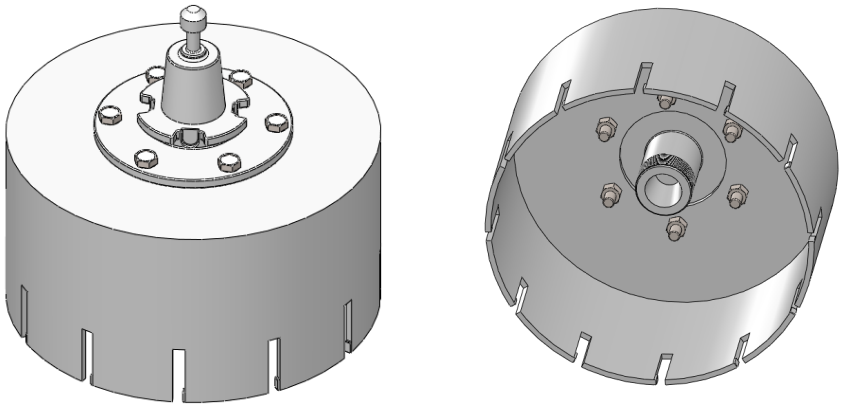


**Figura 5-1:** Sistema de unión entre la copa de perforación y el portaherramienta

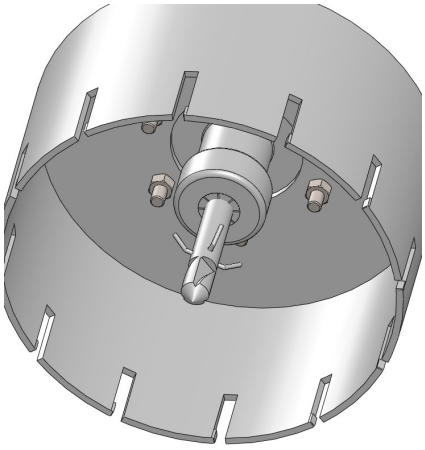


**Figura 5-2:** Sistema de unión con pinza ER entre la mecha guía y la copa de perforación

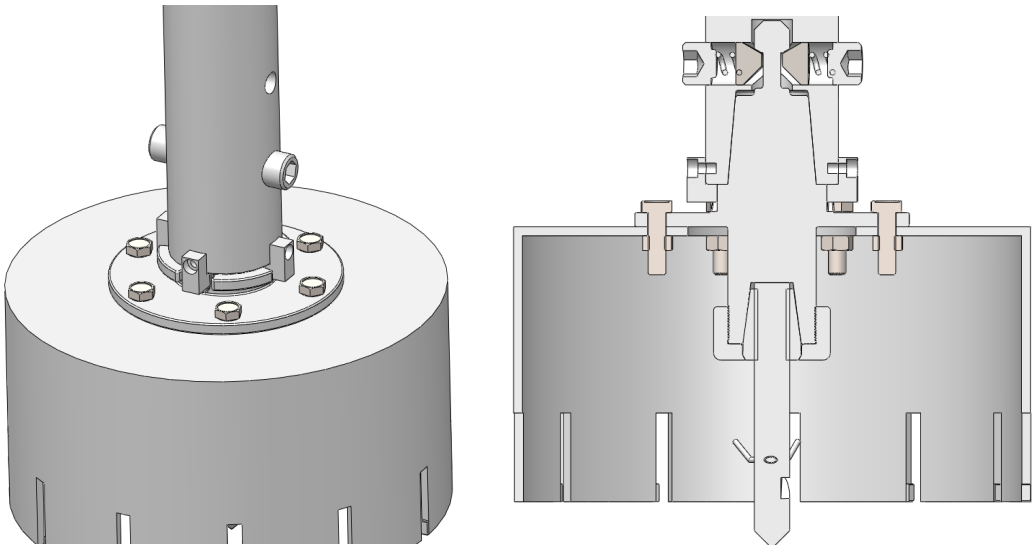


**Figura 5-3:** Sistema de unión entre el portaherramientas y el eje de la máquina

Una vez finalizado este montaje, se deberá medir y registrar la distancia entre la broca de corte y la parte inferior del carretel (ver cota C en la Figura 5-4). Se deberá hacer lo mismo para la válvula sándwich (ver cota A en la Figura 5-4), el carretel adaptador (cuando se requiera) y la altura de la brida de la montadura (ver cota B en la Figura 5-4). Con estos datos podremos calcular la distancia que se debe descender para realizar las operaciones.

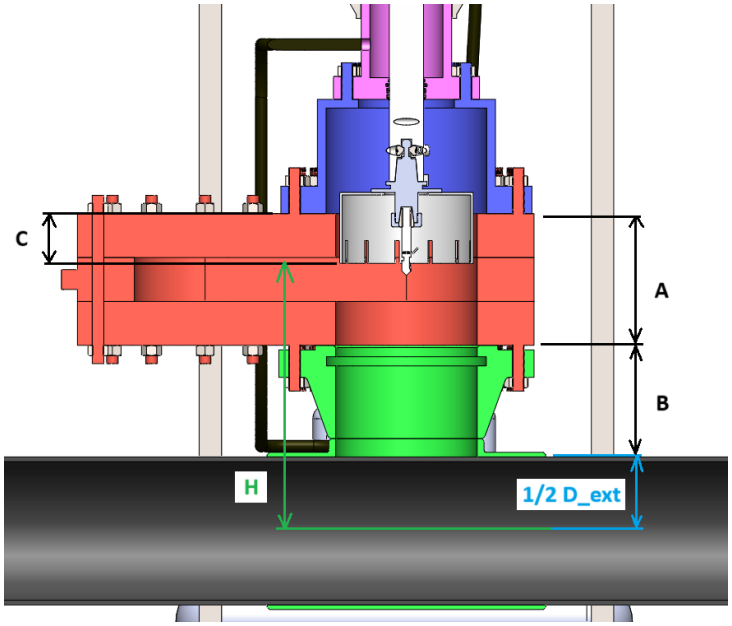



**Figura 5-4:** Medidas a obtener para el perforado

La altura $H_{perf}$ que deberá descender el eje para el perforado, para el caso en que no se requiera un carretel adaptador, está dada por la Ecuación (5.1) (ver Figura 5-4).

$$H_{perf} = A + B + \frac{1}{2} D_{ext} - C \quad (5.1)$$

En el caso que se precise un carretel adaptador, medir su altura (sea M la altura del mismo) y la distancia $H_{perf}$ que deberá descender el eje viene dada por la Ecuación (5.2).

$$H_{perf} = A + B + \frac{1}{2} D_{ext} - C + M \quad (5.2)$$

En cuanto al obturado, colocar sobre las copas de obturación una goma para sellar nueva. Se deberán realizar las mediciones de las cotas D y B (ver Figura 5-5) para calcular la altura que deberá descender el eje de la máquina. La cota E ilustrada en la Figura 5-5 es igual al diámetro interior del caño.

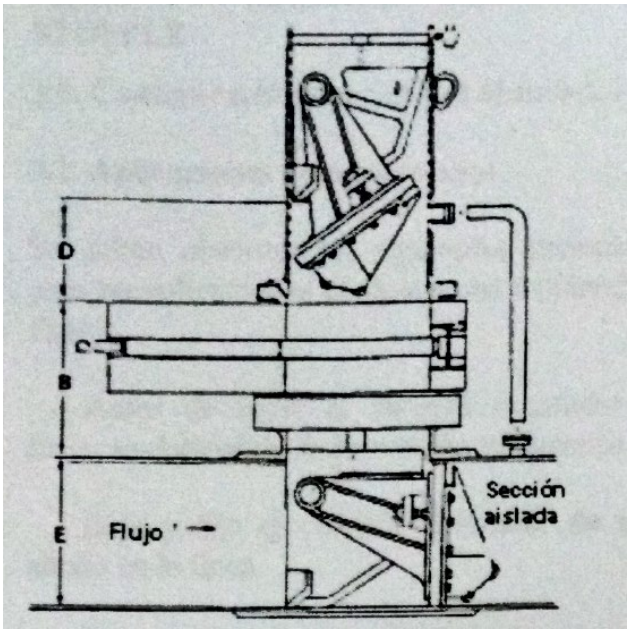



**Figura 5-5:** Medidas a obtener para el obturado

La altura $H_{obt}$ que deberá descender el eje para el perforado, para el caso en que no se requiera un carretel adaptador, está dada por la Ecuación (5.3) (ver Figura 5-4).

$$H_{obt} = D + B + E \quad (5.3)$$

En el caso que se precise un carretel adaptador, medir su altura (sea M la altura del mismo) y la distancia $H_{obt}$ que deberá descender el eje viene dada por la Ecuación (5.4).

$$H_{obt} = D + B + E + M \quad (5.4)$$

Debemos realizar también las mediciones correspondientes al sellado de la perforación previamente a salir a campo. Se recomienda montar el tapón con su porta tapón al eje de la máquina en el taller y realizar las mediciones para optimizar los tiempos en campo. Se deberá obtener la cota G (ver Figura 5-6) y se utilizará también la cota A, representada en la Figura 5-4 (o la cota H de la Figura 5-6). También se deberán obtener las medidas J y K representadas en la Figura 5-7.

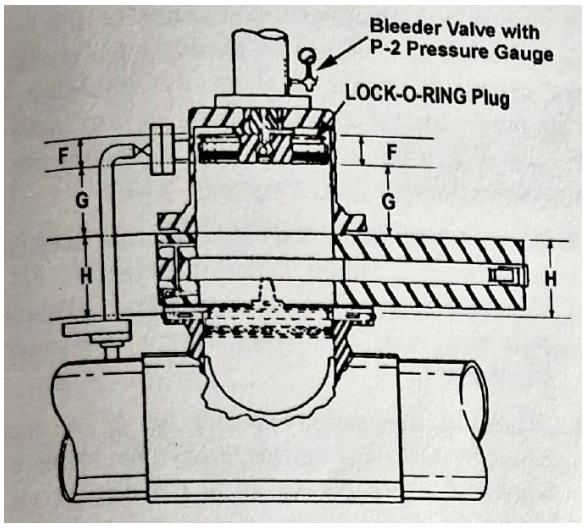



**Figura 5-6:** Distancia entre la cara inferior del tapón hasta la brida del portaherramientas (cota G)

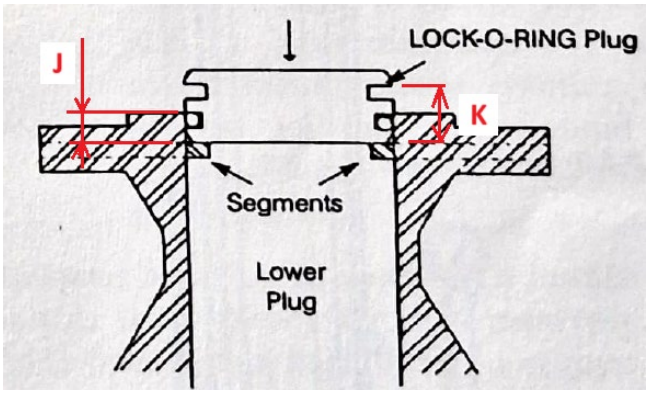



**Figura 5-7:** Medidas del tapón y de su asiento

En cuanto a la unidad de potencia, verificar que tenga combustible suficiente para poder operar la bomba. Revisar sus niveles de aceite y estado de las mangueras.

Una vez finalizado el mantenimiento general, se deberá cargar todos los elementos necesarios en la hidrogrúa, utilizando el mismo brazo del móvil o con autoelevadores o puente grúa. En el camión, se deberá encontrar:

1) Máquina con carretel, broca y mecha guía instaladas. La máquina deberá tener previamente soldada la plataforma de soporte (x2)
2) Unidad de potencia
3) Mangueras
4) Estructuras de anclaje (8 caños cuadrados de 2,3 metros de altura con soportes en la base)
5) Válvula sándwich y montadura correspondiente al diámetro a trabajar (x2)
6) Carretel adaptador (en el caso de que sea necesario, es decir, cuando se opere en cañerías de 10”, 6” o 3”) (x2)
7) 2 cabezales de obturación, correspondiente al diámetro a trabajar
8) 2 tapones selladores, correspondiente al diámetro a trabajar
9) Varilla de medición
10) Bulonería y torquímetros
11) Escalera

## En campo

Se deberá comenzar realizando un pozo que permita trabajar sobre el área. Para ello, se deberán tener en cuenta que se realizarán 10 perforaciones en total, 5 a cada lado del tramo a intervenir: 1 perforación donde utilizaremos nuestro equipo, 1 para realizar venteos, 1 para realizar un bypass y 2 para colocar vejigas de seguridad. Se representa un esquema de la disposición de las perforaciones en la Figura 5-8. Por norma, las perforaciones deben estar como mínimo a dos metros de distancia entre sí.

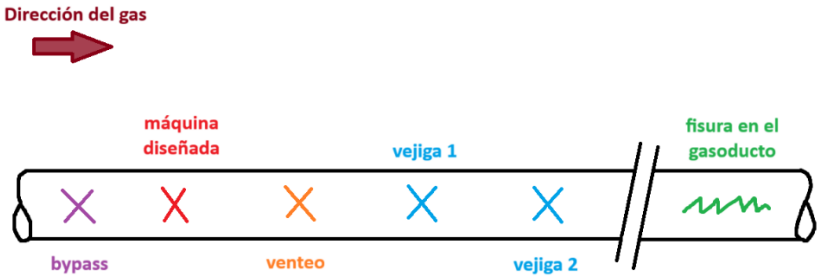



**Figura 5-8:** Disposición de las perforaciones a realizar a uno de los lados del tramo de gasoducto a intervenir. El lado opuesto es idéntico.

Lo primero que se realiza es el montaje de la montadura sobre el caño, la cual es un elemento comercial. La misma está dividida en 2 partes, una superior con la brida y otra inferior. Se coloca la parte superior sobre el gasoducto, con ayuda de una hidrogrúa, y se sueldan algunos puntos para dejarla estable. Se controla que la brida quede lo más horizontal posible con ayuda de un nivel, y cuando se logra esto se procede a soldar la montadura completa, con su parte inferior.

En segunda instancia, se coloca sobre cada lugar a perforar una montadura y una válvula sándwich de porte pequeño (en comparación a las que vamos a utilizar con nuestra máquina para un determinado diámetro). La primera perforación que se debe realizar es la del venteo, ya que con ella podremos realizar las pruebas neumáticas correspondientes antes de realizar el perforado de mayor magnitud. Cabe aclarar que los perforados para venteos, vejigas y bypass se ejecutan con máquinas de menor porte y este procedimiento escapa el alcance de este proyecto.

Una vez realizada la perforación para el venteo y con su respectiva válvula sándwich cerrada, se procede a instalar el carretel adaptador sobre la montadura, en caso de que se necesite (por ejemplo, en intervenciones de gasoductos de 10, 6 o 3 pulgadas). Si estamos en intervenciones de 12, 8 o 4 pulgadas este último paso se omite y se procede a instalar la válvula sándwich sobre la montadura. Recordemos que antes de montar un elemento metálico sobre otro, se coloca una capa de grasa, una junta y luego otra capa de grasa. Con esto nos aseguramos de que la unión sea hermética.

Una vez colocada toda la bulonería correspondiente y habiendo verificado la horizontalidad de las bridas de cada elemento, se procede a montar la máquina diseñada

en este proyecto sobre la válvula (colocando nuevamente 2 capas de grasa y una junta). La máquina vendrá desde el taller en una hidrogrúa con el carretel y la mecha de corte ya instalada, con el fin de no desperdiciar tiempo en campo. Recordemos que la instalación de todos los componentes mencionados se realiza con una hidrogrúa y por ende son trabajos de izaje, por lo cual habrá una persona designada para el manejo de la hidrogrúa y otra persona que vaya guiando a la que tiene el control de las palancas.

Una vez colocada la máquina, se ajusta la bulonería entre el carretel y la válvula sándwich. Luego de verificar horizontalidad, se ajustan los 4 soportes de la plataforma de acuerdo con la distancia que se encuentre la cañería. Esto compensará el peso de la máquina sobre el gasoducto y también los posibles momentos flectores que se generen por desalineaciones de montaje y/o de la propia máquina.

Una vez instalada y asegurada la máquina sobre la válvula sándwich, se procede a realizar una prueba neumática a esta válvula. Se conecta una manguera a la válvula colocada en la perforación destinada al venteo de la válvula sándwich. Se abre la válvula del venteo, manteniendo la válvula principal cerrada, y se somete a ésta a la presión de trabajo. Se deberá rociar a la válvula con agua jabonosa, de manera tal de poder detectar con facilidad si existiesen fugas en ella. Si no se detectan burbujas durante esta prueba, se procede a realizar el perforado.

## Perforado

Como primer paso para este procedimiento, se deberá colocar en la parte superior de la máquina la varilla de medición. Teniendo en cuenta la distancia entre la broca y la brida del carretel, y la altura de la válvula sándwich, del carretel adaptador (cuando se requiera) y de la brida de la montadura; la broca deberá disminuir esa distancia más el radio del gasoducto. Esta distancia de descenso se deberá calcular y registrarla en la varilla de medición colocando un collarín en la medida deseada. Esta distancia viene dada por la Ecuación (5.1), o por la Ecuación (5.2) en el caso de que se requiera un carretel adaptador.

Se conectarán las mangueras de la unidad de potencia al distribuidor principal. Configurar la válvula reguladora de presión (ver componente 14 en la Figura 3-1) para que su grado de apertura sea del 5%. Verificar que la válvula de cierre (ver componente 11 en la Figura

3-1) se encuentre completamente abierto. Configurar la válvula divisora de caudal de prioridad variable (ver componente 9 en la Figura 3-1) de manera tal que al motor hidráulico le llegue un caudal de 3,75 $m^3/h$. Con la bomba que hemos seleccionado [22] cuyo caudal es de 3,89 $m^3/h$, se deberá dejar pasar un 96% del caudal de la bomba al motor, y el resto se enviará a la máquina para dar el avance.

Una vez realizado esto, se abre la plaqueta de la válvula sándwich. Luego se activa y se mantiene retenida la palanca de la válvula distribuidora principal, de manera tal de producir simultáneamente el avance y el giro de la broca de corte.

Una persona deberá ser la encargada de monitorear el avance de la máquina a través de la varilla de medición previamente instalada. Cuando el collarín se encuentre a 2” de distancia de la parte superior de la máquina, se deberá volver a la posición central del distribuidor, anulando el avance y el giro de la broca. A partir de este momento, se accionará de forma intermitente el distribuidor principal para terminar el perforado a la distancia requerida. De esta forma, se da un control más fino sobre el final de la carrera para evitar errores en la perforación.

Una vez que el collarín hace contacto con la parte superior de la máquina, el perforado del caño ha finalizado. Se procede ahora a cerrar la válvula de cierre (ver componente 11 en la Figura 3-1) y se acciona la palanca del distribuidor principal para producir el ascenso (sin giro) de la broca. Una vez que llega al fin de carrera, se cierra la válvula sándwich y se quita la bulonería que une al carretel de esta válvula y se retira la máquina utilizando la hidrogrúa.

La estructura de transporte deberá estar en el piso, y se apoyará la máquina sobre ella. Se retirará el bocado de caño producto de la perforación (sostenido por la mecha guía) y se quita el conjunto de corte completo (portaherramientas, broca y mecha guía).

Se ha descripto la operación completa para un solo lado del tramo a intervenir, pero se replica exactamente lo mismo del otro lado.

## Obturación

Una vez removido el cabezal utilizado para perforar, se deberá montar sobre el eje de la máquina la copa de obturación, con su correspondiente goma para sellar colocada previamente. Para ello, se deberá colocar un pasador entre éste y el eje de la máquina.

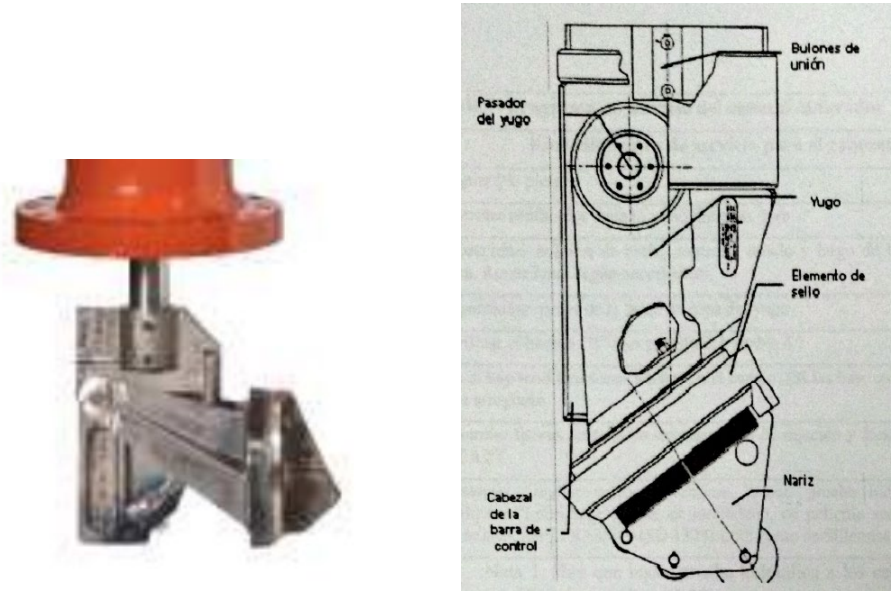



**Figura 5-9:** Cabezal obturador colocado sobre el eje de la máquina.

De modo de asegurarnos que el pasador no se mueva, éste será de forma en “L” y tendrá una punta roscada. Una vez colocado el pasador, se colocará una tuerca sobre el extremo roscado para fijarlo a la estructura.



**Figura 5-10:** Croquis del pasador

Una vez montada nuevamente sobre la montadura la máquina con la copa de obturación colocada, se conectarán las mangueras de la unidad de potencia al distribuidor principal. Configurar la válvula reguladora de presión (ver componente 14 en la Figura 3-1) para

que su grado de apertura sea del 100% para realizar esta operación se realice a una mayor velocidad, en comparación con el perforado. Verificar que la válvula de cierre (ver componente 11 en la Figura 3-1) se encuentre completamente cerrada, ya que para realizar el obturado, se deberá realizar un movimiento únicamente lineal, por lo que se deberá bloquear el giro del motor hidráulico. Configurar la válvula divisora de caudal de prioridad variable (ver componente 9 en la Figura 3-1) de manera tal que todo el caudal de la bomba se envíe a la máquina para dar el avance. Esto contribuye también a aumentar la velocidad de la operación.

Una vez realizado esto, se abre la plaqueta de la válvula sándwich. Luego se activa y se mantiene retenida la palanca de la válvula distribuidora principal, de manera tal de producir el avance de la copa de obturación.

Una persona deberá ser la encargada de monitorear el avance de la máquina a través de la varilla de medición previamente instalada. La distancia que debe descender el eje viene dada por la Ecuación (5.3), o por la Ecuación (5.4) en el caso de que se requiera un carretel adaptador. Cuando el collarín se encuentre a 2” de distancia de la parte superior de la máquina, se deberá volver a la posición central del distribuidor, anulando el avance de la copa de obturación.

A partir de este momento, configurar la válvula reguladora de presión (ver componente 14 en la Figura 3-1) para que su grado de apertura sea del 5% nuevamente. Luego, se accionará de forma intermitente el distribuidor principal para colocar la copa de obturación en la posición requerida. De esta forma, se da un control más fino sobre el final de la carrera para evitar errores en la obturación.

Una vez que el collarín hace contacto con la parte superior de la máquina, el obturado del caño ha finalizado. Se debe repetir el proceso del otro lado del tramo a intervenir utilizando la segunda máquina.

Cuando se hayan obturado ambos lados, se procede a ventear el gas que quedó atrapado en este tramo de cañería. Una vez finalizado esto, nos encontramos en condiciones aptas para realizar la intervención al gasoducto que se requiera.

Finalizada la intervención del gasoducto, configurar la válvula reguladora de presión (ver componente 14 en la Figura 3-1) para que su grado de apertura sea del 100% para

realizar esta operación se realice a una mayor velocidad. Una vez hecho esto, se acciona la palanca del distribuidor principal para producir el ascenso (sin giro) de la copa de obturación. En el momento que llega al fin de carrera, se cierra la válvula sándwich y se quita la bulonería que une al carretel de esta válvula y se retira la máquina utilizando la hidrogrúa, dejándola sobre su estructura de transporte. Se removerá el pasador y la copa de obturación. Lo mismo se deberá realizar con la segunda máquina.

## Sellado

Esta es la última etapa de nuestra operación. El tapón sellador irá unido mediante tornillos a un porta tapón (ver Figura 5-11), y éste irá encastrado en el eje de la máquina con un mecanismo similar al portaherramientas de la broca de perforación (ver sistema de encastre en la Figura 5-3).

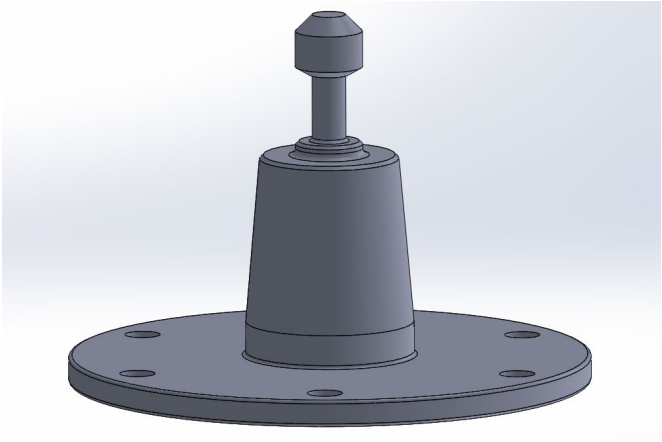


**Figura 5-11:** Porta tapón, el cual se encastra al eje de la máquina y sostiene al tapón sellador

Una vez colocado el tapón en el eje de la máquina, se procede a izar la máquina y colocarla nuevamente sobre la montadura. Nuevamente se describirá el proceso para un lado del tramo a intervenir, y se deberá replicar el procedimiento para el otro lado.

Cuando ya se encuentre la máquina colocada y asegurada sobre la montadura, se conectarán las mangueras de la unidad de potencia al distribuidor principal. En este momento, la válvula reguladora de presión (ver componente 14 en la Figura 3-1) tiene un grado de apertura sea del 100% debido a la última operación realizada. La válvula de cierre (ver componente 11 en la Figura 3-1) continúa estando completamente cerrada y

deberá mantenerse así, ya que, para realizar el sellado, se deberá realizar un movimiento únicamente lineal, por lo que se deberá bloquear el giro del motor hidráulico.

La montadura tendrá dos tornillos que, al girarlos (ver Figura 5-12), se extenderán 2 segmentos internos que servirán para asegurar la correcta colocación del tapón (ver Figura 5-7). Antes de comenzar el descenso del tapón, se deberán extender estos segmentos.



**Figura 5-12:** Giro de los tornillos de la montadura para poder extender sus segmentos internos

Una vez realizado esto, se abre la plaqueta de la válvula sándwich. Luego se activa y se mantiene retenida la palanca de la válvula distribuidora principal, de manera tal de producir el avance del tapón.

Una persona deberá ser la encargada de monitorear el avance de la máquina a través de la varilla de medición previamente instalada. En primera instancia, la cara inferior deberá hacer tope con la parte superior de los segmentos extendidos (ver Figura 5-7). Esta distancia está dada por la Ecuación (5.5) (ver Figuras 5.6 y 5.7).

$$H_{sellado} = G + H + J \quad (5.5)$$

En el caso que se precise un carretel adaptador, medir su altura (sea M la altura del mismo) y la distancia $H_{sellado}$ que deberá descender el eje viene dada por la Ecuación (5.6).

$$H_{obt} = G + H + J + M \quad (5.6)$$

Cuando el collarín se encuentre a 2” de distancia de la parte superior de la máquina, se deberá volver a la posición central del distribuidor, anulando el avance del tapón sellador.

A partir de este momento, configurar la válvula reguladora de presión (ver componente 14 en la Figura 3-1) para que su grado de apertura sea del 5% nuevamente. Luego, se accionará de forma intermitente el distribuidor principal para colocar el tapón en la posición requerida. De esta forma, se da un control más fino sobre el final de la carrera para evitar errores en el sellado.

Una vez que el collarín hace contacto con la parte superior de la máquina, la cara inferior del tapón debería estar en contacto con la parte superior de los segmentos. En este momento se deberá intentar retraer los segmentos, y si estos se logran mover con facilidad es porque no han llegado a entrar en contacto estas caras. Bajar progresivamente el tapón hasta que se presenten dificultades en retraer los segmentos. No forzar los tornillos.

Una vez verificado el contacto entre las caras, debemos descender el tapón a su posición final. En este momento el collarín deberá colocarse a una distancia K (ver Figura 5-7) de la parte superior de la máquina. Accionar apenas el distribuidor principal de la máquina para levantar un poco el tapón y retraer completamente los segmentos. Luego descender lentamente el tapón hasta que el collarín haga contacto con la máquina.

Cuando se haya llegado a esta posición, se deberá intentar extender los segmentos. Si esto se puede hacer sin inconvenientes, el tapón habrá quedado en la posición correcta (ver Figura 5-13).

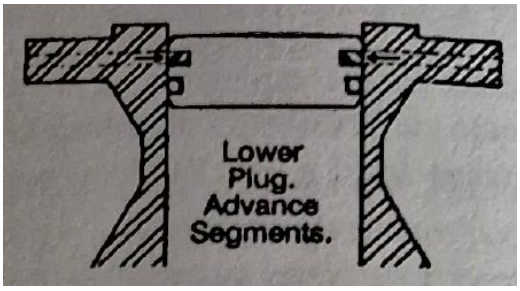



**Figura 5-13:** Posición final del tapón sellador

Habiendo asegurado el tapón dentro de la montadura con los segmentos, comenzará el retroceso del eje de la máquina, accionando el distribuidor principal. El eje podrá

desvincularse del porta tapón debido al diseño del encastre (ver Figura 5-3): el eje comenzará a subir, y debido a la forma en cuña que tienen las trabas, estas comenzarán a retroceder, comprimiendo el resorte del sistema de encastre. De esta forma, el eje comenzará a ascender, quedando el tapón en la montadura con su porta tapón puesto.

En este momento, se cierra la válvula sándwich, se quita la bulonería que une al carretel de esta válvula y se retira la máquina utilizando la hidrogrúa, dejándola sobre su estructura de transporte. Se deberá repetir este procedimiento del otro lado, tal como se realizó para las operaciones anteriores

Una vez colocados ambos tapones, se finaliza el proceso de sellado de las perforaciones hechas al gasoducto. Se proceden a retirar las válvulas sándwich colocadas, con la ayuda de la hidrogrúa. A partir de este momento, se retirarán los porta tapones de los tapones, quitando los tornillos colocados anteriormente. Luego, se colocarán bridas ciegas sobre la brida de la montadura para proteger los tapones (ver Figura 5-14). Una vez hecho esto, el procedimiento de intervención al gasoducto ha finalizado.

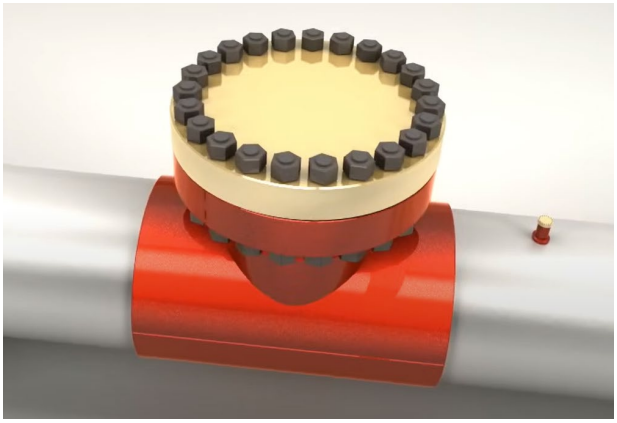


**Figura 5-14:** Brida ciega colocada sobre la montadura para proteger el tapón sellador

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

En este trabajo se logró mejorar una máquina que se utiliza hoy en día para la intervención de gasoductos. Nos centramos en los aspectos desfavorables que presentaba el diseño actual y logramos brindar una solución que se adapta mejor a la aplicación en cuestiones operativas.

El diseño realizado cumplió la mayoría de los objetivos y propósitos planteados. En especial, logramos aumentar la maniobrabilidad de la máquina, lo cual representaba el punto de más falencia en el diseño anterior: **la altura disminuyó un 26%**, siendo anteriormente de 2,25 metros y ahora de 1,66 metros. También **el peso total disminuyó un 47%**, siendo anteriormente de 493 kg (considerando la estructura de la máquina y la unidad de potencia encima de ella) y ahora de 262 kg.

Otro objetivo muy importante era lograr realizar las tres operaciones de intervención con un único dispositivo. Con el diseño anterior, se precisaban en total 3 máquinas (1 para perforar y sellar de cada lado, y dos para obturar simultáneamente), y con el diseño actual únicamente se necesitan únicamente 2, con las cuales se realizan las operaciones a cada lado del tramo a intervenir en simultáneo. Esto también logra **reducir los tiempos operativos en gran medida** (otro gran objetivo planteado para el diseño), no solo por realizar las 2 perforaciones y sellados en simultáneo, sino que también por la posibilidad de evitar caminos de restricción del aceite hidráulico en el retroceso de los accesorios. Además, hemos diseñado **sistemas de cambio de cabezales rápidos y precisos**, lo que contribuye aún más a reducir los tiempos de operación.

Por otra parte, **logramos aumentar la flexibilidad en cuanto a su capacidad de adaptarse a diferentes diámetros de cañerías**. Con esto, reducimos la cantidad total de accesorios necesarios, disminuyendo así los costos tanto de adquisición de estos elementos como sus costos de mantenimiento.

Existen 2 propósitos que hemos planteado al inicio de este proyecto, pero no logramos cumplirlos para este diseño. El primero residía en incluir sensores de temperatura e indicadores de metano sobre la máquina, con el fin de detectar posibles fugas y

situaciones que sean favorables para la ignición del gas natural. A lo largo del desarrollo del trabajo, se lograron consolidar los conocimientos operativos con mucha mayor profundidad y consideramos que éste punto no es de vital importancia (aunque sin duda contribuiría a aumentar la seguridad de la operativa), ya que existen otros métodos mucho más sencillos para detectar fugas en los equipos, como por ejemplo el método de agua jabonosa.

El segundo propósito que no se logró cumplir es la implementación de un cabezal obturador expandible, de manera tal de utilizar los mismos accesorios y cabezales de perforado, obturado y sellado para todos los diámetros. Hemos decidido que cada diámetro deberá tener el cabezal de obturación que le corresponda (y por ende de perforado y sellado), ya que en la obturación el elemento que bloquea completamente el paso del gas es una goma. Este material al estirarse podía perder resistencia y así, disminuir su efectividad a la hora de evitar el paso del gas; por lo que decidimos trabajar la flexibilidad en diámetros desde otra perspectiva y logramos igualmente por este camino disminuir la cantidad de accesorios.

En resumen, hemos logrado desarrollar un diseño que supera al anterior en gran medida, conservando sus puntos favorables y eliminando y cambiando sus aspectos negativos. Este trabajo, más allá de los aspectos técnicos, nos ayudó a consolidar muchos aspectos académicos abordados a lo largo de toda nuestra carrera universitaria. Consideramos que su realización nos aportó mucho a nosotros como profesionales, y nos sirvió como un gran aprendizaje para poder desarrollar trabajos en nuestra vida profesional a por venir. Además, trabajamos sobre un tipo de operatoria que nunca hemos visto a lo largo de nuestra formación, por lo cual este trabajo ha sido particularmente desafiante para nosotros.

# Recomendaciones

Si bien el diseño de esta máquina se abordó de forma tal de que su uso sea completamente seguro, consideramos que se pueden seguir analizando diferentes aspectos para mejorar su seguridad. Por ejemplo, se pueden incluir sensores de gas metano que ayuden a detectar la presencia de gas natural en la zona donde se encuentran trabajando los operadores, o barreras de última protección ante la ocurrencia de una ignición.

# Bibliografía

[1] T.D. WILLIAMSON. (marzo de 2021). Máquina perforadora Tapping Machine 760. Obtenido de: https://www.tdwilliamson.com/solutions/intervention-and-isolation/tapping-machines/760-tapping-machine

[2] T.D. WILLIAMSON. (noviembre de 2023). Máquina obturadora y selladora STOPPLE Plugging Machine. Obtenido de: https://www.tdwilliamson.com/sites/default/files/2024-09/1030.001.06%20Stopple%20Plugging%20Machine_Aug2024.pdf

[3] T.D. WILLIAMSON. (julio de 2024). Especificaciones técnicas de la máquina perforadora Tapping Machine 760. Obtenido de: https://www.tdwilliamson.com/sites/default/files/2024-07/1000.006.13%20760C%20Tapping%20Machine_July2024.pdf

[4] T.D. WILLIAMSON. (julio de 2024). Especificaciones técnicas de la máquina obturadora y selladora STOPPLE Plugging Machine. Obtenido de: https://www.tdwilliamson.com/sites/default/files/2024-09/1030.001.06%20Stopple%20Plugging%20Machine_Aug2024.pdf

[5] Coronel Alexia. (diciembre 2024 – marzo 2025). Relevamiento en campo tanto en Litoral Gas como en obras cercanas.

[6] Expertos de la OIT y la OMS. (febrero de 2000). Información físicoquímica del metano. Obtenido de: https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0291&p_version=2

[7] Sandvick. Fórmulas y definiciones de taladrado. Obtenido de: https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/drilling-formulas-definitions

[8] Wikipedia. Tornillo Sinfín – Corona. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo_sin_fin

[9] Metalmecánica Fácil. Fórmulas Tornillo Sinfín – Corona. Obtenido de: https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-tornillo-sin-fin-y-su-rueda/

[10] VERION. Ficha técnica del motor hidráulico marca VERION modelo BB2. Obtenido de: https://www.verion.com.ar/wp-content/uploads/2022/03/VERION_I111-112_motores_de_rueda_a_pistones_radiales_Tipo_CAMES_Fijo_y_dos_velocidades.pdf

[11] Aceromafe. Propiedades físicas del acero SAE 4140. Obtenido de: https://www.aceromafe.com/acero-4140-caracteristicas/

[12] Diseño de Elementos de Maquinas 4ta Edición – Robert L. Mott. (2006). Páginas 189 y 894.

[13] T.D. WILLIAMSON. Válvula Sándwich. Obtenido de: https://www.tdwilliamson.com/solutions/intervention-and-isolation/valves-and-fittings/sandwich-valve

[14] T.D. WILLIAMSON. Montadura RBST LOCK-O-RING Fittings. Obtenido de: https://www.tdwilliamson.com/solutions/intervention-and-isolation/valves-and-fittings/reduced-branch-stopple-fitting

[15] REXROTH. Válvula distribuidora REXROTH 4WMM10E55/F/M-. Obtenido de: 31 - Distribuidor principal Rexroth.pdf

[16] WEBTEC. Divisores de caudal prioritario variable. Obtenido de: 32 - Válvula prioritaria WEBTEC VFD120-BU-SPA-3376.pdf

[17] REXROTH. Válvula Reguladora de Caudal. Obtenido de: 30 - Válvula Reguladora de Caudal Rexroth.pdf

[18] TMM. Válvula Esférica. Obtenido de: 33 - Válvula Esfera i500.pdf

[19] REXROTH. Válvula Limitadora de Presión. Obtenido de: 34 - Válvula Limitadora de Presión.pdf

[20] DICA. Mangueras Hidráulicas. Obtenido de: 29 - Mangueras DICA.pdf

[21] LIQUIMOLY. Aceite Hidráulico. Obtenido de: 28 - Aceite LiquiMoly.pdf

[22] HYNESUR. Bombas de Engranajes. Obtenido de: 27 - Bombas Hynesur.pdf

[23] DISUMTEC. Válvula Antirretorno Hidráulica. Obtenido de: https://www.disumtec.com/es/valvulas-en-linea/49250005-25009-valvula-antirretorno-hidraulica.html#/2885-rosca-3_4

[24] Yunus A. Çengel, John M. Cimbala. (2006). Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones – 1era Edición. Capítulo 8: Flujo en Tuberías

# Anexo A: Tablas para la memoria de cálculo

**Standard Cutters & Pilot Drills** perforado

| Nominal Tap Size | | Actual Tap Size | | Cutters | | | Pilot Drills | | | Spare U-Rods |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inches | mm | Inches | mm | Wt./Lbs. | Wt./Kg. | Part Number | Wt./Lbs. | Wt./Kg. | Part Number | Part Number |
| 3 | 80 | 2-7/16 | 61.9 | 1 | 0.5 | 05-0001-0001 | 1/2 | 0.2 | 05-0293-0001 | 00-1424-0012 |
| 4 | 100 | 3-7/16 | 87.3 | 2 | 0.9 | 05-0328-0004 | 1/2 | 0.2 | 05-0293-0008 | 00-1424-0012 |
| 6 | 150 | 5-15/32 | 138.9 | 5-3/4 | 3 | 05-0328-0006 | 2 | 0.9 | 05-0293-0002 | 00-1424-0003 |
| 8 | 200 | 7-5/16 | 185.8 | 14-1/2 | 7 | 05-0328-0008 | 2 | 0.9 | 05-0293-0003 | 00-1424-0003 |
| 10 | 250 | 9-1/2 | 241.3 | 22-1/2 | 10 | 05-0328-0010 | 2 | 0.9 | 05-0293-0004 | 00-1424-0003 |
| 12 | 300 | 11-1/2 | 292.1 | 36 | 16 | 05-0389-0012 | 2-1/2 | 1.0 | 05-0293-0005 | 00-1424-0008 |
| 14* | 350 | 12-3/4 | 323.9 | 42 | 19 | 05-0389-0014 | 5-1/2 | 2.5 | 05-0293-0006 | 00-1424-0008 |
| 16* | 400 | 14-11/16 | 373.1 | 61 | 28 | 05-0389-0016 | 6 | 2.7 | 05-0293-0007 | 00-1424-0008 |

**Tabla A-1:** Diámetro exterior de la mecha de corte comercial para la perforadora [3]

**Operating Specifications**

| | |
|---|---|
| Boring Bar Travel | 66" (1,676 mm) |
| Tank Taps | 3" to 14" (80-350 mm) |
| Pipe Taps | 3" to 16" (80-400 mm) |
| LOCK-O-RING® and LOCK-O-RING® Plus Completion Plugs | 4" to 16" (100-400 mm) |
| Max. Operating Pressure | 1,480 psi (102 bar) at 100°F (38°C) |
| Max. Operating Temperature | 700°F (371°C) at 700 psi (48 bar)* |
| Power | Hydraulic or Air Motor |
| Feed Rate | .003" (.076 mm) per revolution |
| Lower-In Crank | 4-1/2 turns per inch (5.6 mm per turn) |
| Length without measuring rod | 88-1/2" (2,248 mm) |
| Length with measuring rod | 158-1/2" (4,026 mm) |
| Meets NACE specification | MR0175 |

* For intermittent service only. Maximum continuous rating is 350°F (177°C) at 1,025 psi (70 bar).

**Tabla A-2:** Avance por revolución de la perforadora, recomendada por el fabricante [3]

| ISO P<br>Núm. MC | N.º CMC | Material | Fuerza de corte específica $k_{c1}$ 1.0 N/mm$^2$ | Fuerza de corte específica $k_{c1}$ .0394 lbs/pulg.$^2$ | Dureza Brinell<br>HB | mc |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Acero sin alear | | | | |
| P1.1.Z.AN | 01.1 | C = 0,1-0,25% | 1500 | 216.500 | 125 | 0.25 |
| P1.2.Z.AN | 01.2 | C= 0,25-0,55% | 1600 | 233.000 | 150 | 0.25 |
| P1.3.Z.AN | 01.3 | C = 0,55-0,80% | 1700 | 247.000 | 170 | 0.25 |
| P1.3.Z.AN | 01.4 | Acero con alto contenido en carbono, recocido | 1800 | 260.500 | 210 | 0.25 |
| P1.3.Z.HT | 01.5 | Endurecido y templado | 2000 | 291.500 | 300 | 0.25 |
| | | Baja aleación<br>(elementos de aleación ≤5 %) | | | | |
| P2.1.Z.AN | 02.1 | No templado | 1700 | 246.500 | 175 | 0.25 |
| P2.5.Z.HT | 02.2 | Endurecido y templado | 1900 | 278.500 | 300 | 0.25 |

**Tabla A-3:** Fuerza de corte específica para un acero de baja aleación no templado [7]

| ACERO | | | |
|---|---|---|---|
| ASTM A53 SCH 40 | | | |
| Ø ext [pul | Ø ext [mm] | espesor [mm | Ø int [mm] |
| - | - | - | - |
| 1 1/4 | 42,2 | 3,56 | 35,08 |
| 1 1/2 | 48,3 | 3,68 | 40,94 |
| 2 | 60,3 | 3,91 | 52,48 |
| 3 | 88,9 | 5,49 | 77,92 |
| 4 | 114,3 | 6,02 | 102,26 |
| 6 | 168,3 | 7,11 | 154,08 |
| 8 | 219,1 | 8,18 | 202,74 |
| 10 | 273 | 9,27 | 254,46 |
| 12 | 323,8 | 10,31 | 303,18 |

**Tabla A-4:** Dimensiones de las cañerías de acero utilizadas en Litoral Gas

# Anexo B: Catálogos

| Motor standard y dos velocidades a máx. desplazamiento | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Modelo | Desplazamiento cm3/r | Torque Nm a 300 bar | RPM r/min | Potencia kW |
| BB2 | 125 | 555 | 500 | 15 |
| | 160 | 720 | 390 | |
| | 200 | 900 | 310 | |
| BB3 | 250 | 1120 | 400 | 25 |
| | 315 | 1415 | 320 | |
| | 400 | 1790 | 250 | |
| BB4 | 500 | 2245 | 300 | 35 |
| | 630 | 2825 | 240 | |
| | 800 | 3590 | 185 | |
| BB5 | 1000 | 4490 | 200 | 50 |
| | 1250 | 5610 | 160 | |
| | 1600 | 7180 | 125 | |
| BB6 | 2000 | 9000 | 175 | 90 |
| | 2500 | 11220 | 140 | |
| | 3150 | 14140 | 110 | |
| BB7 | 4000 | 17960 | 125 | 130 |
| | 5000 | 22450 | 100 | |
| | 6300 | 28280 | 80 | |

**Tabla B-1:** Ficha técnica para el motor hidráulico VERION BB2 [10].

Class 600*

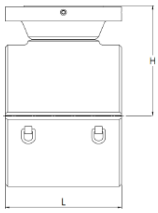
| Size | | Approx. Weight | | W-Width | | L-Open | | L-Closed | | H-Face to Face | | F-Overall | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inches | mm | Lb. | Kg. | Inches | mm | Inches | mm | Inches | mm | Inches | mm | Inches | mm | Part Number |
| 4 | 100 | 177 | 80 | 10.75 | 273 | 21.38 | 543 | 21.38 | 543 | 5.00 | 127 | 10.75 | 273 | 09-0096-0000 |
| 6 | 150 | 450 | 204 | 14.00 | 356 | 26.14 | 664 | 26.14 | 664 | 6.50 | 165 | 13.50 | 343 | 09-0061-0000 |
| 8 | 200 | 630 | 286 | 16.50 | 419 | 34.62 | 880 | 34.62 | 880 | 9.19 | 234 | 17.25 | 438 | 09-0702-0000 |
| 10 | 250 | 1400 | 635 | 20.00 | 508 | 39.88 | 1013 | 39.88 | 1013 | 10.44 | 266 | 19.25 | 489 | 09-0703-0000 |
| 12 | 300 | 1900 | 862 | 22.00 | 559 | 44.00 | 1118 | 44.00 | 1118 | 11.31 | 288 | 20.50 | 521 | 09-0704-0000 |
| 16 | 400 | 3500 | 1588 | 27.00 | 686 | 49.88 | 1267 | 49.88 | 1267 | 13.06 | 332 | 23.40 | 595 | 09-0706-0000 |
| 18 | 450 | 4100 | 1860 | 29.25 | 743 | 54.13 | 1375 | 54.13 | 1375 | 13.88 | 353 | 25.00 | 635 | 09-0707-0000 |
| 20 | 500 | 5090 | 2309 | 32.00 | 813 | 58.88 | 1496 | 58.88 | 1496 | 14.94 | 379 | 26.50 | 673 | 09-0708-0000 |
| 22 | 550 | 6250 | 2835 | 34.25 | 870 | 63.75 | 1620 | 63.75 | 1620 | 16.09 | 409 | 28.00 | 712 | 09-0709-0000 |
| 24 | 600 | 8300 | 3765 | 37.00 | 940 | 107.13 | 2721 | 82.00 | 2082 | 17.38 | 442 | 30.50 | 775 | 09-0710-0000 |
| 26 | 650 | 8500 | 3856 | 40.00 | 1016 | 105.00 | 2667 | 78.25 | 1988 | 16.25 | 413 | 30.00 | 762 | 09-0858-0000 |
| 30 | 750 | 14000 | 6351 | 44.50 | 1131 | 128.50 | 3264 | 97.38 | 3264 | 20.94 | 532 | 36.00 | 915 | 09-0713-0000 |
| 36 | 900 | 20000 | 9072 | 51.75 | 1315 | 147.75 | 3753 | 110.62 | 3753 | 24.44 | 621 | 41.00 | 1042 | 09-0716-0000 |

*Covers bolt pattern only. See Maximum Operating Pressures Chart. Class 600 Sizes 8-36inch are compatible with NACE MRO 1-75 applications.

**Tabla B-2:** Catálogo de las válvulas sándwich TDW [13]

Dimensions and Part Numbers

## Reduced Branch Split Tees



1100.010 - pg.2

### 0.72 Reducing Branch Split Tees with LOCK-O-RING® Flanges

**ASME CLASS 600**

| Size | Weight | | Dimension L | | Dimension H | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inches | lbs | Kgs | in. | mm | in. | mm | 0.5 | 0.6 | 0.72 | Part Number |
| 6x4 | 75 | 34 | 11 | 273.05 | 8 | 203 | 1320 | 1480 | 1480 | 06-8812-0604-17[1] |
| 8x6 | 110 | 50 | 14 | 356 | 10 | 254 | 1035 | 1240 | 1480 | 06-8812-0806-17[1] |
| 10x6 | 140 | 64 | 14 | 356 | 11 | 279 | 1105 | 1325 | 1480 | 06-8812-1006-17[1] |
| 10x8 | 210 | 95 | 17 | 419 | 12 | 305 | 1100 | 1320 | 1480 | 06-8812-1008-17[1] |
| 16x8 | 270 | 122 | 15 | 378 | 15 | 381 | 1090 | 1310 | 1480 | 06-8812-1608-17[1] |
| 16x12 | 490 | 222 | 24 | 610 | 16 | 406 | 1095 | 1270 | 1480 | 06-8812-1612-17[1] |
| 20x12 | 565 | 256 | 24 | 610 | 18 | 457 | 1060 | 1270 | 1480 | 06-8812-2012-17[1] |
| 24x12 | 790 | 358 | 21 | 543 | 20 | 508 | 1115 | 1335 | 1480 | 06-8812-2412-17[1] |
| 24x16 | 1200 | 544 | 30 | 762 | 21 | 533 | 1235 | 1480 | 1480 | 06-8812-2416-17[1] |
| 24x20 | 1545 | 701 | 36 | 914 | 23 | 584 | 1150 | 1380 | 1480 | 06-8812-2420-17[1] |
| 30x24 | 2400 | 1089 | 43 | 1092 | 27 | 681 | 1010 | 1215 | 1480 | 12372232[2] |

**Tabla B-3:** Catálogo de las montaduras TDW [14]

**DIMENSIONI E PESI** - EXTERNAL DIMENSIONS AND WEIGHTS

| Grandezza Size | Cilindrata cm³/giro Displacement (in³/rev) | Pressione max di esercizio Max working pressure | | | Dimensioni Dimensions | | Massa kg Mass (lbs) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1 Bar (psi) | P2 Bar (psi) | P3 Bar (psi) | A mm (in) | B mm (in) | |
| BG20-04 | 4.2 (0.27) | 250 (3625) | 270 (3916) | 290 (4206) | 43.9 (1.73) | 92.6 (3.65) | 2.16 (4.76) |
| BG20-06 | 6.2 (0.38) | 250 (3625) | 270 (3916) | 290 (4206) | 45.5 (1.79) | 95.9 (3.78) | 2.25 (4.96) |
| BG20-08 | 8.3 (0.51) | 250 (3625) | 270 (3916) | 290 (4206) | 47.3 (1.86) | 99.4 (9.91) | 2.27 (5.00) |
| BG20-11 | 11.1 (0.68) | 250 (3625) | 270 (3916) | 290 (4206) | 49.6 (1.95) | 104.1 (4.10) | 2.46 (5.42) |
| BG20-14 | 14.2 (0.87) | 250 (3625) | 270 (3916) | 290 (4206) | 52.2 (2.06) | 109.2 (4.30) | 2.60 (5.73) |
| BG20-17 | 16.7 (1.02) | 230 (3336) | 240 (3481) | 250 (3625) | 54.3 (2.14) | 113.4 (4.47) | 2.72 (6.00) |
| BG20-20 | 19.6 (1.20) | 210 (3046) | 220 (3191) | 230 (3336) | 56.7 (2.32) | 118.2 (4.65) | 2.85 (6.28) |
| BG20-23 | 22.7 (1.39) | 190 (2756) | 200 (2901) | 210 (3046) | 59.3 (2.34) | 123.4 (4.86) | 2.99 (6.59) |
| BG20-26 | 26.1 (1.59) | 170 (2466) | 180 (2611) | 190 (2756) | 62.1 (2.45) | 129.0 (5.08) | 3.15 (6.94) |

**Tabla B-4:** Ficha técnica de la bomba seleccionada

# Anexo C: Memoria de cálculo

En este capítulo incluiremos todos los cálculos realizados para definir las medidas principales en nuestro diseño.

## Perforado

Debemos definir la potencia necesaria que se requerirá para realizar la operación de perforado. Para ello, consideramos el caso en el que la máquina esté más exigida, es decir, cuando estemos perforando un gasoducto de 12". Además, se definen los siguientes datos:

- Velocidad del husillo $n = 20\ rpm$
- Diámetro de la broca comercial (Tabla A-1) $D_c = 291{,}10\ mm$
- Avance por revolución recomendada por el fabricante (Tabla A-2) $f_n = 0{,}0762\ mm/rev$
- Fuerza de corte específica por área para un acero de baja aleación no templado (Tabla A-3) $k_{c1} = 1700\ N/mm^2$
- Factor de sensibilidad al avance (Tabla A-3) $mc = 0{,}25$
- Ángulo de ataque $\gamma_0 = 0°$
- Filos de la herramienta comercial [5] $z_{hta} = 12$
- Ángulo de los filos respecto a la vertical [5] $KAPR = 85°$

Con estos datos, podemos comenzar a realizar los cálculos necesarios para definir la potencia, el torque y la fuerza de avance que se requieren para realizar la perforación.

La potencia de perforado está definida por la Ecuación (C.1)

$$P_c = \frac{f_n \,.\, V_c \,.\, D_c \,.\, k_C}{240 \,.\, 10^3} \quad \text{(C.1)}$$

Donde $f_n$ y $D_c$ son datos; debemos calcular la velocidad de corte $V_c$ (ver Ecuación (C.2)) y la fuerza de corte específica $k_c$ (ver Ecuación (C.3)).

$$V_c = \frac{\pi \,.\, D_C \,.\, n}{1000} = \frac{\pi \,.\, 291{,}10\ mm \,.\, 20\ rpm}{1000\ \frac{mm}{m}} = 18{,}35\ \frac{m}{min} \quad \text{(C.2)}$$

$$k_c = k_{c1} \,.\left(f_z \,.\, sen(KAPR)\right)^{-m_c} \,.\, \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) =$$

$$1700\,\frac{N}{mm^2} \,.\left(0{,}0064\,\frac{mm}{rev} \,.\, sen(85°)\right)^{-m_c} \,.\, \left(1 - \frac{0°}{100}\right) = 6027{,}95\,\frac{N}{mm} \quad \text{(C.3)}$$

Donde $f_z$ es el avance por filo (ver Ecuación (C.4)).

$$f_z = \frac{f_n}{z_{hta}} = \frac{0{,}0762\ mm/rev}{12} = 0{,}0064\ mm/rev \quad \text{(C.4)}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la Ecuación (C.1) obtenemos que la potencia necesaria para la operación de perforado es

$$P_c = \frac{0{,}0762\,\frac{mm}{rev} \,.\, 18{,}35\frac{m}{min} \,.\, 291{,}10\ mm \,.\, 6027{,}95\frac{N}{mm}}{240 \,.\, 10^3} = 10{,}26\ kW \quad \text{(C.5)}$$

El torque que deberá ejercer la mecha de corte sobre el gasoducto está dado por la Ecuación (C.6).

$$M_c = \frac{P_c \,.\, 30 \,.\, 10^3}{\pi \,.\, n} = \frac{10{,}26\ kW \,.\, 30 \,.\, 10^3}{\pi \,.\, 20\ rpm} = 4898{,}89\ Nm \quad \text{(C.6)}$$

Y la fuerza de avance que deberá soportar la mecha de corte se expresa a través de la Ecuación (C.7).

$$F_f = 0{,}5 \,.\, k_c \,.\frac{D_c}{2} \,.f_n \,.\, sen(KAPR) =$$

$$0{,}5 \,.\, 6027{,}95\,\frac{N}{mm} \,.\, \frac{291{,}10\ mm}{2} \,.\, 0{,}0762\,\frac{mm}{rev} \,.\, sen(85°) = 33414{,}9\ N \quad \text{(C.7)}$$

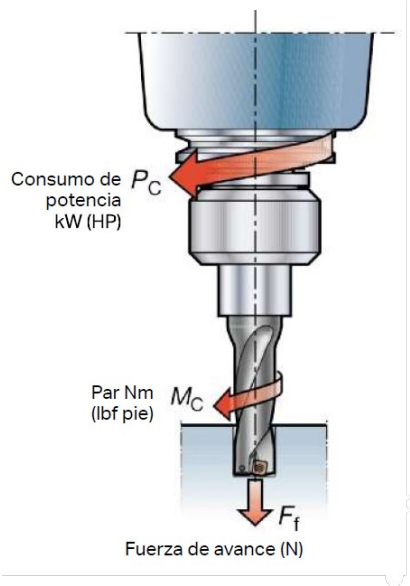



**Figura C-1:** Diagrama de la potencia, torque y fuerza necesaria que deberá realizar la mecha de corte durante la operación de perforado

Y el tiempo de mecanizado será (ver Ecuación (C.8))

$$T_c = \frac{l_m}{v_f} = \frac{\frac{1}{2} \cdot D_{ext-gasoducto}}{f_n \cdot n} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 323{,}8\ mm}{0{,}0762 \frac{mm}{rev} \cdot 20\ rpm} = 106{,}23\ min = 1{,}77\ h \quad \text{(C.8)}$$

Donde $v_f$ es la velocidad de penetración y $l_m$ es la longitud del mecanizado. Se considera que la mecha de corte desciende hasta la mitad del diámetro exterior del gasoducto (ver Tabla A-4).

## Tornillo sinfín – corona

La expresión por la que se rige el mecanismo de un tornillo sinfín y corona viene expresado por la Ecuación (C.9), donde $n_1$ es la velocidad angular del tornillo sinfín, $e_1$ es el número de entradas del tornillo, $n_2$ es la velocidad angular de la corona y $Z_2$ el número de dientes de la misma [8].

$$n_1 \cdot e_1 = n_2 \cdot Z \quad \text{(C.9)}$$

Sabemos que el husillo deberá girar a $n_2 = 20\ rpm$, y definimos que la hélice del tornillo será de una entrada, por lo que $e_1 = 1$. Para poder calcular el número de dientes, precisamos saber la velocidad de giro del sinfín $n_1$. Esta velocidad está dada por el motor hidráulico que elijamos. Recordando que la operación requiere, como mínimo, un motor que entregue una potencia $P_c = 10{,}26\ kW$, seleccionamos el motor de rueda a pistones radiales fijo modelo BB2 marca VERION (ver Tabla B-1), cuya potencia es $P_{motor} = 15\ kW$, girando a $n_1 = 500\ rpm$ y entregando un torque $M_{motor} = 555\ Nm$.

Así, trabajando sobre la Ecuación (C.9) se define la cantidad de dientes que tendrá la corona (ver Ecuación (C.10))

$$Z = \frac{n_1 \cdot e_1}{n_2} = \frac{500\ rpm \cdot 1}{20\ rpm} = 25 \quad \text{(C.10)}$$

La potencia que entrega el motor es mayor a la que necesitamos para perforar. Ahora debemos calcular que el torque que vamos a tener en el eje (en la perforadora) sea mayor al requerido para la perforación ($M_c = 4898{,}89\ Nm$ según la Ecuación (C.6)). El motor entrega un torque $M_{motor} = 555\ Nm$, pero al contar con un sistema de tornillo sinfín y corona, obtendremos a la salida (en el eje) un torque mayor y una velocidad menor. Teniendo en cuenta que la potencia se conserva, calculamos el torque en el eje (ver Ecuación (C.11)).

$$P_{motor} = P_{eje} \rightarrow M_{motor} \,.\, n_1 = M_{eje} \,.\, n_2 \rightarrow M_{eje} = \frac{M_{motor} \,.\, n_1}{n_2} = \frac{555\ Nm \,.\, 500\ rpm}{20\ rpm}$$

$$M_{eje} = 13875\ Nm > M_c = 4898{,}89\ Nm \text{ (C.11)}$$

Efectivamente, por la Ecuación (C.11), se verifica que el torque obtenido en el eje es suficiente para realizar la operación.

A continuación, calcularemos los parámetros constructivos del tornillo sinfín. Definimos un módulo $m = 7$, y recordemos que el sinfín tendrá una entrada y la corona tendrá $Z = 25$ dientes. En primera instancia, calculamos el paso (ver Ecuación (C.12)), la altura del diente (ver Ecuación (C.13)), y los diámetros primitivo (ver Ecuación (C.14)), el exterior (ver Ecuación (C.15)) y el interior (ver Ecuación (C.16)) [9].

$$P_{sinfin} = \pi \,.\, m = \pi \,.\, 7 = 21{,}991\ mm \text{ (C.12)}$$

$$h = 2{,}167 \,.\, m = 15{,}169\ mm \text{ (C.13)}$$

$$D_p = 12 \,.\, m = 84\ mm \text{ (C.14)}$$

$$D_e = D_p + 2 \,.\, m = 98\ mm \text{ (C.15)}$$

$$D = D_e - 2 \,.\, h = 67{,}662\ mm \text{ (C.16)}$$

Luego, calculamos el ángulo del filete (ver Ecuación (C.17)), su espesor (ver Ecuación (C.18)) y su altura (ver Ecuación (C.19)). Definimos que el ángulo de inclinación de los dientes es $\beta = 20°$.

$$\alpha = \operatorname{atan}\left(\frac{m \,.e_1}{D_p}\right) * \frac{180}{\pi} = 4{,}764° \text{ (C.17)}$$

$$e = \frac{P_{sinfin}}{2} = 10{,}996\ mm \text{ (C.18)}$$

$$L = m = 7\ mm \text{ (C.19)}$$

Y terminamos calculando la longitud de la parte roscada (ver Ecuación (C.20)), los extremos sin rosca (ver Ecuación (C.21)), la longitud total del sinfín (ver Ecuación (C.22)), el radio de la cabeza (ver Ecuación (C.23)).

$$L_R = P \cdot \left(4{,}5 + \frac{Z}{50}\right) = 109{,}956\ mm \text{ (C.20)}$$

$$F = P = 21{,}991\ mm \text{ (C.21)}$$

$$L_{sinfin} = L_R + 2\,F = 153{,}938\ mm \text{ (C.22)}$$

$$r = 0{,}05\,P = 1{,}100\ mm \text{ (C.23)}$$

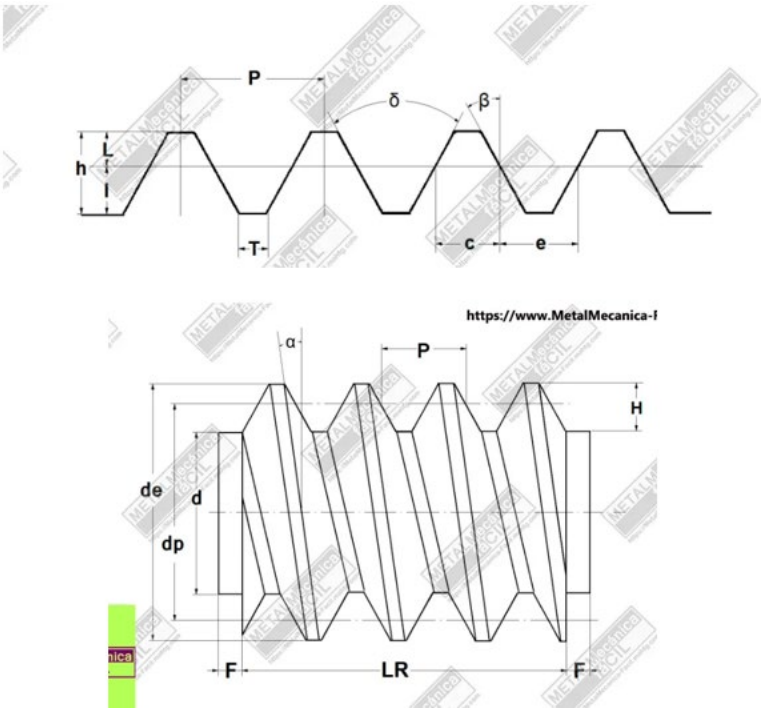



**Figura C-2:** Parámetros constructivos del tornillo sinfín

Con estos datos, ya podemos diseñar el tornillo sinfín. A continuación, pasaremos a calcular los parámetros constructivos para la corona:

- Diámetro primitivo (ver Ecuación (C.24))
- Diámetro exterior (ver Ecuación (C.25))
- Paso (ver Ecuación (C.26))
- Altura del diente (ver Ecuación (C.27))
- Diámetro mayor y sobre aristas (ver Ecuación (C.28))
- Ancho de la rueda (ver Ecuación (C.29))
- Concavidad periférica (ver Ecuación (C.30))
- Radio de la cabeza (ver Ecuación (C.31))

- Distancia entre centros (ver Ecuación (C.32))
- Radio exterior (ver Ecuación (C.33))

$$D_P = m \,.\, Z = 175\ mm \quad \text{(C.24)}$$

$$D_E = D_P + 2\ m = 189\ mm \quad \text{(C.25)}$$

$$P = \pi \,.\, m = 21{,}991\ mm \quad \text{(C.26)}$$

$$H = 2{,}167\ m = 15{,}169\ mm \quad \text{(C.27)}$$

$$D_1 = D_E + 0{,}4755\ P = 199{,}501 \quad \text{(C.28)}$$

$$A = 6 + 2{,}38\ P = 58{,}339\ mm \quad \text{(C.29)}$$

$$R = 0{,}5\ d_p - m = 35{,}000\ mm \quad \text{(C.30)}$$

$$r_{corona} = 0{,}25\ P = 5{,}498 \quad \text{(C.31)}$$

$$E = \frac{D_P + d_p}{2} = 129{,}500 \quad \text{(C.32)}$$

$$r_e = \frac{Z}{2} \,.\, m = 87{,}500\ mm \quad \text{(C.33)}$$

Con estos datos, se puede construir la corona que irá enchavetada al árbol de la perforadora.

## Árbol principal

Debemos dimensionar el árbol que sostendrá a la mecha de perforación. En primer lugar, vamos a calcular por estática el diámetro mínimo seleccionado en estado de carga nominal. Para ello, vamos a dibujar un croquis de la máquina, el cual se representa en la Figura C-3.

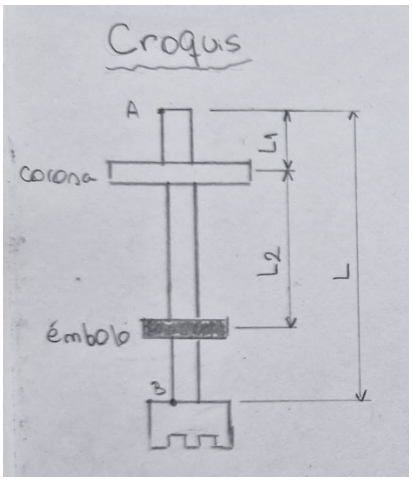



**Figura C-3:** Croquis del eje de la máquina perforadora

Con el croquis realizado, procedemos a realizar un diagrama de vínculos y esfuerzos externos (ver Figura C-4). La corona ejercerá un torque $T_c$ sobre el eje; la presión del aceite sobre el émbolo provocará una fuerza $F_{av}$ sobre el eje; y la operación de perforado provoca una fuerza de compresión $F_{corte}$ y un momento $T_{corte}$ sobre la mecha de corte, los cuales se transmiten al eje. Además, el émbolo actúa como un apoyo simple sobre el eje, ya que permite su movimiento axial, pero bloquea los desplazamientos radiales.

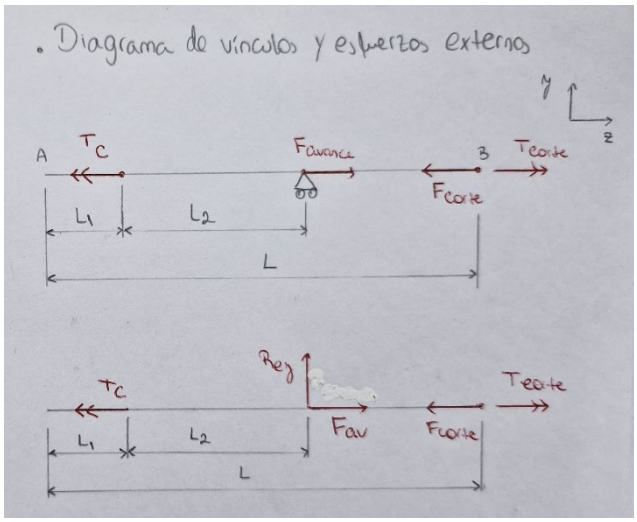



**Figura C-4:** Diagrama de vínculos y esfuerzos externos

Vale la pena resaltar que, para dimensionar el eje, analizaremos únicamente el proceso de perforado, que es el más crítico y demandante para el eje.

La fuerza $F_{corte}$ (ver Ecuación (C.7)) y los momentos $T_c$ (ver Ecuación (C.11)) y $T_{corte}$ (ver Ecuación (C.6)), son datos conocidos. La fuerza $F_{av}$ queda determinada a partir de la presión del aceite y el diámetro del émbolo. Así, solo resta obtener el valor de la reacción $R_{ey}$ (ver Ecuación (C.34)), planteando un equilibrio de fuerzas.

$$\sum F_y = R_{ey} = 0 \text{ (C.34)}$$

Ahora podemos avanzar en el análisis de esfuerzos internos por secciones. Comenzamos planteando el diagrama de esfuerzos internos en la Figura C-5.

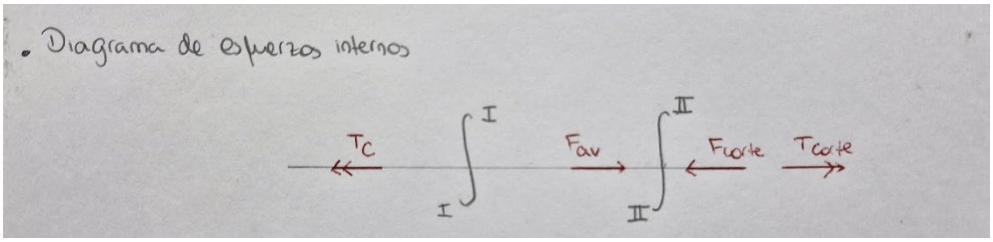



**Figura C-5:** Diagrama de esfuerzos internos

En la Figura C-6, representamos gráficamente los esfuerzos internos de la primera sección y los calculamos en las Ecuaciones (C.35), (C.36), (C.37) y (C.38).

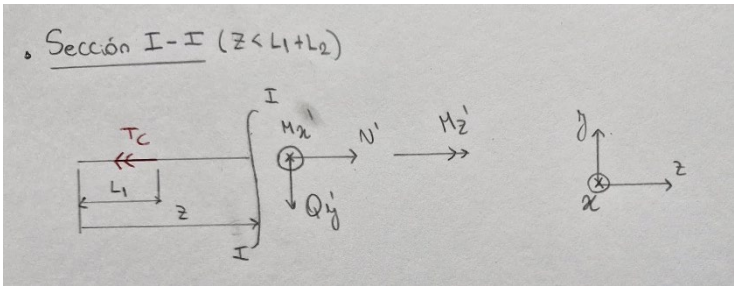



**Figura C-6:** Diagrama de esfuerzos internos de la sección I-I

$$\sum F_z = N' = 0 \text{ (C.35)}$$

$$\sum F_y = Q'_y = 0 \text{ (C.36)}$$

$$\sum M_x = M'_x = 0 \text{ (C.37)}$$

$$\sum M_z = M'_z - T_c = 0 \rightarrow M'_z = T_c \text{ (C.38)}$$

En la Figura C-7, representamos gráficamente los esfuerzos internos de la segunda sección y los calculamos en las Ecuaciones (C.39), (C.40), (C.41) y (C.42).

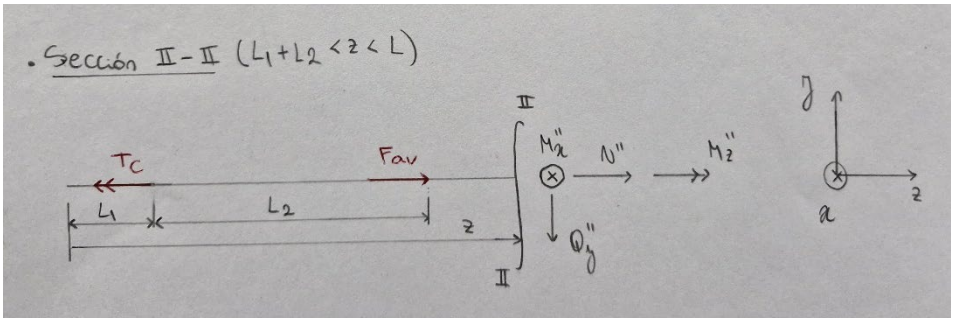



**Figura C-7:** Diagrama de esfuerzos internos de la sección II-II

$$\sum F_z = N'' + F_{av} = 0 \rightarrow N'' = -F_{av} \text{ (C.39)}$$

$$\sum F_y = Q_y'' = 0 \text{ (C.40)}$$

$$\sum M_x = M_x'' = 0 \text{ (C.41)}$$

$$\sum M_z = M_z'' - T_c = 0 \rightarrow M_z'' = T_c \text{ (C.42)}$$

De este análisis definimos que el momento flector máximo es $M = 0\ Nmm$ (ya que no tenemos fuerzas radiales actuando sobre el eje) y el momento torsor máximo se define a través de la Ecuación (C.43):

$$M_{motor}\ .\ n_1 = M_{eje}\ .\ n_2 \rightarrow M_{eje} = \frac{M_{motor}\ .\ n_1}{n_2} = \frac{555\ Nm\ .\ 500\ rpm}{20\ rpm} = 13875\ Nm \text{ (C.43)}$$

El material del árbol es 4140 OQT 1000 cuya tensión de fluencia es $\sigma_{fl} = 1050\ MPa$. Se trata de un acero de baja aleación, con gran resistencia al impacto, a la fatiga y a la abrasión [11]. Consideraremos un factor de seguridad $FOS = 2$, por lo que la tensión admisible será $S_y = \frac{\sigma_{fl}}{FOS} = 525\ MPa$. Además, la resistencia a la tracción de este material es $S_u = 1160\ MPa$. Estos datos los obtuvimos a partir de la Figura C-8.

**APÉNDICE 3 PROPIEDADES DE DISEÑO PARA LOS ACEROS AL CARBÓN Y ALEADOS**

| Designación del material (Número AISI) | Condición | Resistencia a la tensión (ksi) | Resistencia a la tensión (MPa) | Resistencia de fluencia (ksi) | Resistencia de fluencia (MPa) | Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas) | Dureza Brinell (HB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4140 | Recocido | 95 | 655 | 60 | 414 | 26 | 197 |
| 4140 | OQT 1300 | 117 | 807 | 100 | 690 | 23 | 235 |
| 4140 | OQT 1000 | 168 | 1160 | 152 | 1050 | 17 | 341 |
| 4140 | OQT 700 | 231 | 1590 | 212 | 1460 | 13 | 461 |
| 4140 | OQT 400 | 290 | 2000 | 251 | 1730 | 11 | 578 |

**Figura C-8:** Resistencia a la tensión y resistencia de fluencia para el acero SAE 4140 OQT 1000 [12]

Así, el diámetro mínimo dimensionado por estático viene dado por la Ecuación (C.44) [12].

$$D_{min-Est} = \left(\frac{32}{S_y \,.\, \pi}\sqrt{M^2 + 0{,}75\,T^2}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{32}{525\,MPa\,.\,\pi}\sqrt{0^2 + 0{,}75\,\left(13875\,Nm\,.\frac{1000\,mm}{1\,m}\right)^2}\right)^{\frac{1}{3}} = 61.55\,mm \quad \text{(C.44)}$$

Seleccionaremos un valor para el mismo que sea coincidente con el múltiplo de cinco milímetros mayor más cercano: $D'_{min-Est} = 65\,mm$.

A continuación, determinaremos el diámetro mínimo por fatiga siguiendo la Ecuación (C.45) [12].

$$D = \left[\frac{32\,N}{\pi}\sqrt{\left(\frac{K_t\,.M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2}\right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{(C.45)}$$

Donde $K_t$ es el factor de concentración de tensiones, $M$ el momento flector máximo de la sección, $T$ el momento torsor máximo de la sección, $N$ el factor de diseño y $S'_n$ la resistencia a la fatiga modificada. Tomaremos $N = 2$, ya que hay incertidumbre en los datos (por ejemplo, el acero de los gasoductos que se utiliza no es siempre el mismo y esto puede influir en los parámetros del perforado). Además, $K_t = 2$ ya que tendremos un chavetero de perfil y diversas variaciones de sección en el eje.

La resistencia a la fatiga modificada $S'_n$ se expresa según la Ecuación (C.46)

$$S'_n = S_n \,.\, C_R \,.\, C_S \quad \text{(C.46)}$$

Donde $S_n$ es la resistencia a la fatiga, $C_R$ es el factor de confiabilidad y $C_s$ es el factor de tamaño. Para obtener el valor $S_n$, haremos uso del diagrama representado en la Figura C-9. Dibujamos sobre el diagrama una línea azul, sabiendo que $S_u = 1160\ MPa = 168\ ksi$. Siendo que estamos trabajando con un acero estirado en frío, marcamos la intersección con la primera línea y trazamos la línea roja horizontal. De esto, obtenemos que la resistencia a la fatiga es $S_n = 400\ MPa$.

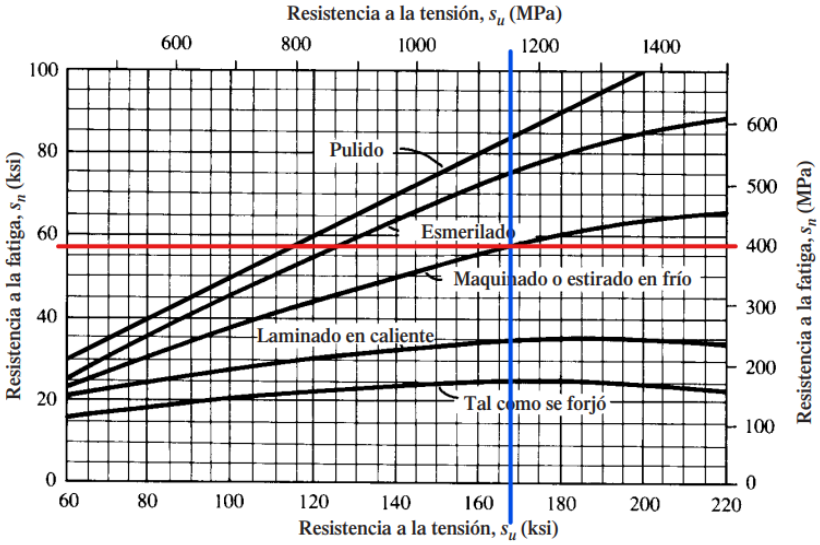



**Figura C-9:** Resistencia a la fatiga $S_n$ en función de la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie [12]

Obtendremos el valor del factor de confiabilidad $C_R$ a partir de la Figura C-10. Elegimos realizar el diseño del eje para una confiabilidad de 0,99 (debido al alto riesgo de la operación, recordemos que son procesos muy delicados al operar con un gas explosivo a 60 bar), por lo que nos corresponde un valor $C_R = 0{,}81$.

| Confiabilidad deseada | $C_R$ |
|---|---|
| 0.50 | 1.0 |
| 0.90 | 0.90 |
| 0.99 | 0.81 |
| 0.999 | 0.75 |

**Figura C-10:** Factores de confiabilidad aproximados $C_R$ [12]

El valor del factor de tamaño $C_s$ se obtiene a través de la Figura C-11. Como se puede observar, la fórmula utilizada depende del diámetro del eje. La metodología para determinar el diámetro mínimo por fatiga [12], establece que se deben realizar varias iteraciones con el diámetro hasta que el valor de $C_s$ se estabilice. Así, comenzaremos nuestra primera iteración con $D = D'_{min-Est} = 65\ mm$. De esta forma, obtenemos el primer valor de $C_s$ a través la Ecuación (C.47).

| Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional | |
|---|---|
| Rango de tamaño | Para $D$ en pulgadas |
| $D \leq 0.30$ | $C_S = 1.0$ |
| $0.30 < D \leq 2.0$ | $C_S = (D/0.3)^{-0.11}$ |
| $2.0 < D < 10.0$ | $C_S = 0.859\text{-}0.02125D$ |
| **Unidades SI** | |
| Rango de tamaño | Para $D$ en mm |
| $D \leq 7.62$ | $C_S = 1.0$ |
| $7.62 < D \leq 50$ | $C_S = (D/7.62)^{-0.11}$ |
| $50 < D < 250$ | $C_S = 0.859\text{-}0.000837D$ |

**Figura C-11:** Factores de tamaño $C_s$ [12]

$$C_s = \left(\frac{D}{7{,}62}\right)^{-0.11} = \left(\frac{65\ mm}{7{,}62}\right)^{-0.11} = 0{,}7899 \text{ (C.47)}$$

Y el primer valor de la resistencia a la fatiga modificada se calcula reemplazando los valores en la Ecuación (C.48):

$$S'_n = 400\ MPa\ .\ 0{,}81\ .\ 0{,}7899 = 255{,}94\ MPa \text{ (C.48)}$$

Ya tenemos todos los valores para obtener un primer resultado para un diámetro mínimo por fatiga (ver Ecuación (C.49)). Se reemplazan los valores en la Ecuación (C.45).

$$D_{min-Fat} = \left[\frac{32\ N}{\pi}\sqrt{\left(\frac{K_t\ .M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2}\right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{32\ .\ 2}{\pi}\sqrt{\left(\frac{2\ .\ 0}{255{,}94\ MPa}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{13875\ Nm\ .\frac{1000\ mm}{1\ m}}{583{,}33\ MPa}\right)^2}\right]^{\frac{1}{3}} =$$

$$74{,}87\ mm \text{ (C.49)}$$

A partir de la Ecuación (C.49), seleccionamos el diámetro que deberá tener nuestro eje para soportar los esfuerzos de fatiga (ver Ecuación (C.50)).

$$D_{eje} = 80\ mm \text{ (C.50)}$$

# Simulaciones

## Cañería

Debemos conocer si la cañería podrá soportar los esfuerzos generados por la máquina. La misma tendrá un peso en dirección vertical, y también tendrá desalineaciones debido a errores de montaje y a errores propios del diseño. Estas desalineaciones provocarán un momento flector sobre el caño que debemos considerar.

Elegimos simular el caso en el que operemos con un caño de 3", ya que va a ser el caño menos resistente de todos y el que tendrá que soportar mayores esfuerzos. Recordemos que la máquina es la misma para todos los casos, por lo que el caso de 3" es el más crítico de todos, y si verificamos que puede resistir los esfuerzos, podemos definir que todos los otros resultados serán satisfactorios también (al estar expuestos a una menor solicitación mecánica).

Para determinar el peso de la máquina completa, buscamos el peso de cada componente (ver Figura C-12). La válvula sándwich y la montadura son elementos comerciales, por lo cual obtuvimos sus respectivos pesos por catálogos (ver Tabla B-2 y Tabla B-3). El peso de la máquina lo obtuvimos con la herramienta de propiedades físicas del software de modelado (los carreteles están hechos de acero SAE 1045 y la máquina de acero SAE 1010).

Para obtener el peso del aceite, buscamos su densidad en su ficha técnica (ver Tabla B-4) y calculamos el área y la carrera del pistón. Con esto, podemos obtener el peso del aceite en la Ecuación (C.51).

$$P_{aceite} = \rho_{aceite} \,.\, V_{aceite} = \rho_{aceite} \,.\, \left(A_{émbolo} - A_{vástago}\right) \,.\, H_{cilindro}$$

$$= \rho_{aceite} \,.\, \left(A_{émbolo} - A_{vástago}\right) \,.\, H_{cilindro} =$$

$$= 850 \frac{kg}{m^3} \left[\pi \,(0{,}155\ m)^2 - \pi \,(0{,}075\ m)^2\right] \ 0{,}735\ m$$

$$P_{aceite} = 36{,}1\ kg \quad \text{(C.51)}$$

| Medidas | Componentes | Peso [kg] |
|---|---|---|
| Todo | Máquina | 414 |
| Todo | Aceite | 36,1 |
| 3" | Montadura | 34 |
| 3" | Carretel adaptador | 17,5 |
| 4" | Válvula sándwich | 80 |
| 4" | Carretel | 44,5 |
| Peso total | | 626,1 |

**Figura C-12:** Pesos de los componentes utilizados para intervenir en una cañería de 3”

Con lo obtenido en la Figura C-12, podemos calcular el peso total en N que estará aplicado sobre la cañería en dirección vertical (ver Ecuación (C.52)).

$$P_{máquina} = 626{,}1\ kg\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2} = 6142\ N \quad \text{(C.52)}$$

Ahora debemos calcular el momento flector que generará la máquina sobre la cañería, suponemos un caso extremo de que la máquina se encuentre 5° desplazada de su eje vertical. Podemos observar un croquis de esta situación en la Figura C-13.

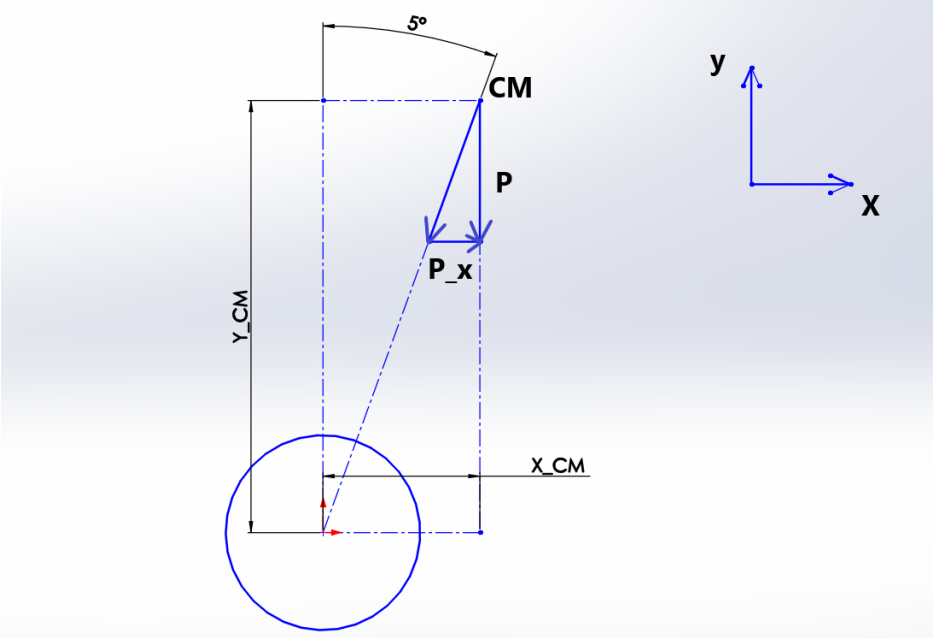



**Figura C-13:** Croquis del centro de masa de la máquina con respecto a la cañería, con una desviación de 5° respecto a la vertical

Analizando la Figura C-13, determinamos que el momento flector viene dado por la Ecuación (C.53):

$$T_{desal} = P_{máquina} \ . \ x_{CM} \text{ (C.53)}$$

Con la herramienta de propiedades físicas del software de modelado utilizado, podemos obtener que $y_{cm} = 1{,}65\ m$. A través del croquis presentado en la Figura C-14, podemos obtener las ecuaciones por trigonometría para calcular el momento flector generado por las desalineaciones de la máquina.

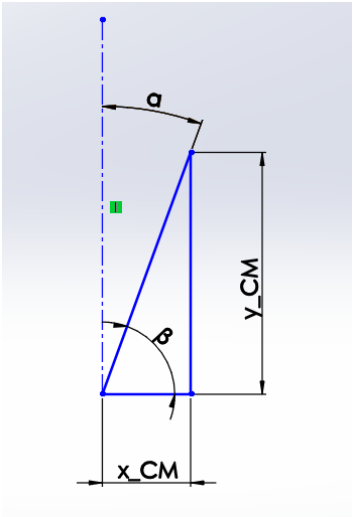



**Figura C-14:** Croquis para calcular el momento flector generado sobre la cañería. En este caso, $\alpha = 5°$

Podemos reescribir $y_{CM}$ como $x_{CM}$ según la Ecuación (C.54). Vemos que una desalineación de 5° implica un corrimiento axial de 14,4 cm, lo cual representa un valor extremo.

$$\tan(\beta) = \frac{y_{CM}}{x_{CM}} \rightarrow x_{CM} = \frac{y_{CM}}{\tan(90°-\alpha)} = \frac{1{,}65\ m}{\tan(90°-5°)} = 0{,}144\ m = 14{,}4\ cm \text{ (C.54)}$$

Reemplazando esto en la Ecuación (C.53), obtenemos el valor del momento flector por la Ecuación (C.55).

$$T_{desal} = P_{máquina} \ . \ \frac{y_{CM}}{\tan(90°-\alpha)} = 6142\ N \ . \ 0{,}144\ m = 887\ Nm \text{ (C.55)}$$

Ahora tenemos todos los valores necesarios para realizar la simulación. Vemos los valores de la fuerza y el momento flector en la Figura C-15 que hemos configurado para la simulación.

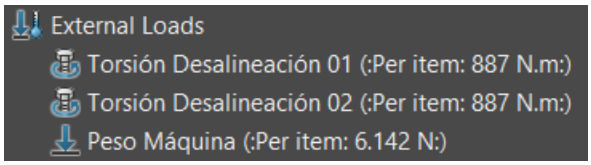



**Figura C-15:** Configuración de los esfuerzos a los que estará sometido la cañería de 3”

En la Figura C-16 podemos observar los resultados de la simulación. Se puede apreciar que el valor de tensión más alto que se obtiene es de 39,97 MPa, mientras que el límite elástico del material de la cañería es de 240 MPa; por lo que la cañería tiene una resistencia estructural adecuada para este caso. De todas formas, se ha decidido añadir una estructura soldada a la máquina que ayudará a compensar el peso de la máquina y sus posibles desalineaciones, haciendo que estos esfuerzos los absorba el piso en vez de la cañería. Como se puede observar en la Figura C-17, esta estructura con 4 pies (caños) regulables en su altura, ya que los pozos no son hechos siempre de la misma forma y por ende la distancia entre el caño y el fondo del pozo varían en cada caso. Además, debemos tener en cuenta que el piso del pozo tampoco es uniforme.

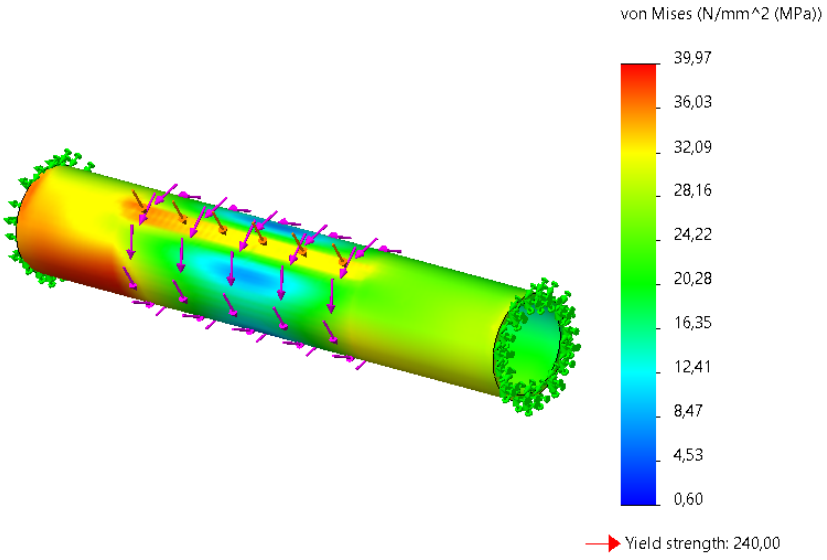



**Figura C-16:** Resultados de la simulación de la cañería

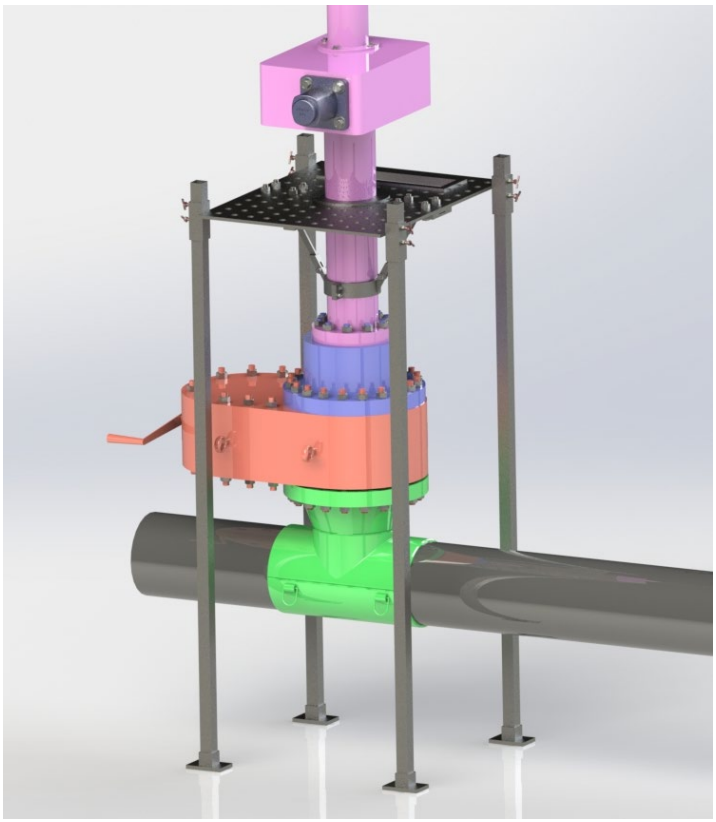


**Figura C-17:** Estructura compensadora del peso y desalineaciones de la máquina

## Árbol

Debemos verificar que el árbol de la máquina sea lo suficientemente resistente para soportar los esfuerzos a los que estará sometido. Estos son:

- La corona estará enchavetada al eje, provocando sobre él un torque. Ya conocemos su valor, a partir de la Ecuación (C.11)
- El árbol tendrá un émbolo que provocará su desplazamiento axial, conforme a la presión de aceite que genere la bomba; por lo que el émbolo generará una fuerza sobre el árbol
- La operación de perforado genera una fuerza de compresión y un torque sobre el extremo del eje (opuesto al de la corona). El valor de la fuerza la calculamos a través de la Ecuación (C.7) y el valor del torque se obtuvo por la Ecuación (C.6), y su valor se dividió entre los 4 puntos de anclaje del extremo del árbol (ver Figura C-18)

Únicamente resta obtener el valor de la fuerza que provocará la presión del aceite sobre el émbolo. Nos colocaremos en un caso extremo donde tomamos que la presión del aceite es la máxima de la bomba. Así, por la Tabla B-4, tomamos que la presión será $P_{aceite} = 220\ bar = 22000000\ N/m^2$, despreciando las pérdidas de carga involucradas por los elementos del circuito hidráulico y por metros de manguera. De esta forma, obtenemos el valor de la fuerza generada por la Ecuación (C.56).

$$P = \frac{F}{A_{émbolo}} \rightarrow F = P\ .\ A = 22000000 \frac{N}{m^2}\ .\ 0{,}015\ m^2 = 331752\ N \quad \text{(C.56)}$$

A partir de este momento ya nos encontramos en condiciones de realizar la simulación. En la Figura C-18 podemos ver un resumen de los esfuerzos que deberá soportar el árbol, y en la Figura C-19 se hallan los resultados de la simulación y la configuración de los esfuerzos. Podemos ver que el esfuerzo máximo generado será de 325 MPa y, siendo que el límite elástico del material con el que se fabricará el eje (acero SAE 4140 OQT 1000) es 1050 MPa, podemos concluir que el árbol podrá soportar los esfuerzos provocados de forma satisfactoria.

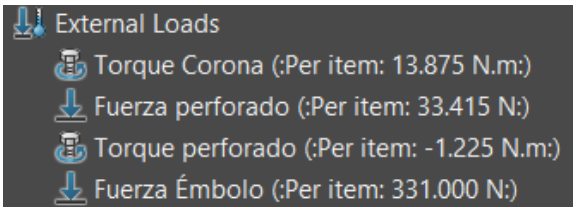



**Figura C-18:** Configuración de los esfuerzos a los que estará sometido el árbol principal de la máquina

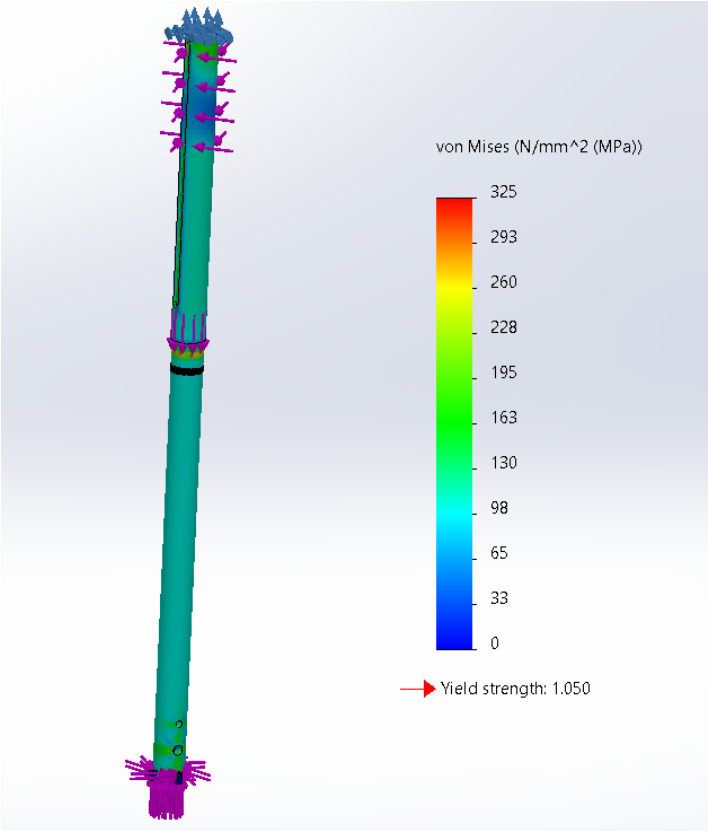



**Figura C-19:** Configuración de las fuerzas y torques actuantes y resultados de la simulación del árbol de la máquina

# Anexo D: Planos

| GENERAL | | |
|---|---|---|
| 1 | Máquina | STO-12-01 |
| 2 | Estructura | PZA-12-01-01 |
| 3 | Tornillo Sin Fin | PZA-12-01-02 |
| 4 | Corona | PZA-12-01-03 |
| 5 | Eje Principal | PZA-12-01-04 |
| 6 | Bronce de Contacto Corona | PZA-12-01-05 |
| 7 | Émbolo | PZA-12-01-06 |
| 8 | Plataforma Compensadora | PZA-12-01-07 |
| 9 | Tope Hidráulico 01 | PZA-12-01-08 |
| 10 | Tope Hidráulico 02 | PZA-12-01-09 |
| 11 | Estructura de Apoyo Máquina | PZA-12-01-10 |

| CONJUNTO 3" | | |
|---|---|---|
| 1 | Conjunto Completo 03" | CTO-03 |
| 2 | Carretel Adaptador 03"-04" | PZA-03-00-01 |
| 3 | Portaherramientas 03"-04" | PZA-03-00-03 |
| 4 | Carretel 03"-04" | PZA-04-00-02 |
| 5 | Porta Tapón 03"-04" | PZA-03-00-02 |

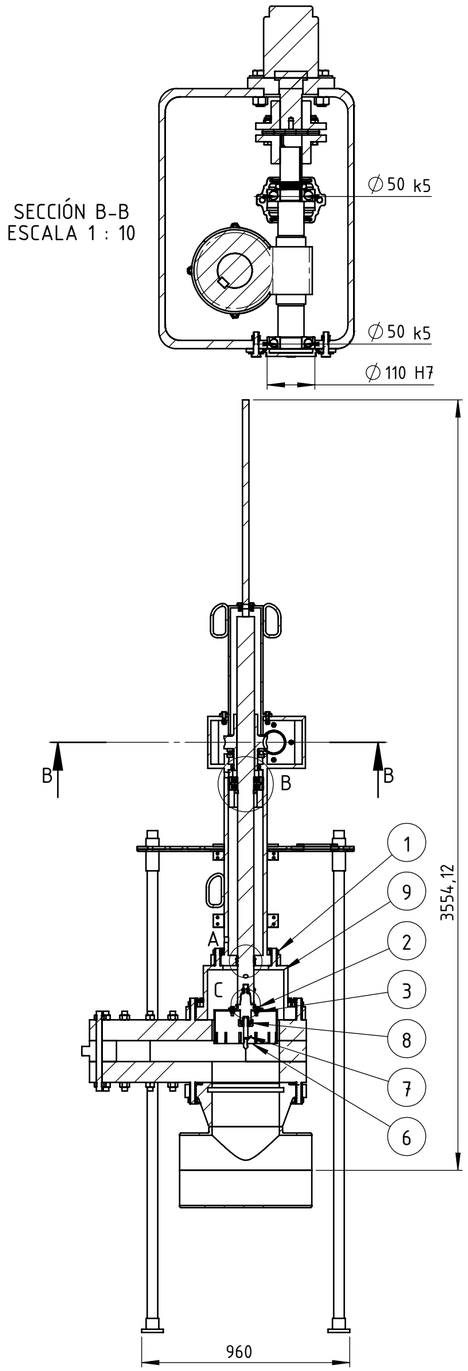
| CONJUNTO 4" | | |
|---|---|---|
| 1 | Portaherramientas 03"-04" | PZA-03-00-03 |
| 2 | Carretel 03"-04" | PZA-04-00-02 |
| 3 | Porta Tapón 03"-04" | PZA-03-00-02 |

| CONJUNTO 6" | | |
|---|---|---|
| 1 | Carretel Adaptador 06"-08" | PZA-06-00-01 |
| 2 | Portaherramientas 06"-08" | PZA-06-00-03 |
| 3 | Carretel 06"-08" | PZA-08-00-02 |
| 4 | Porta Tapón 06"-08" | PZA-06-00-02 |

| CONJUNTO 8" | | |
|---|---|---|
| 1 | Portaherramientas 06"-08" | PZA-06-00-03 |
| 2 | Carretel 06"-08" | PZA-08-00-02 |
| 3 | Porta Tapón 06"-08" | PZA-06-00-02 |

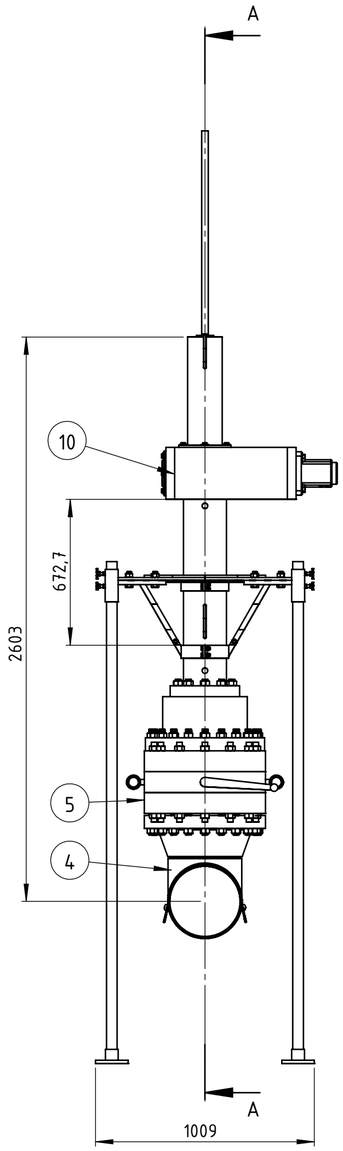
| CONJUNTO 10" | | |
|---|---|---|
| 1 | Carretel Adaptador 10"-12" | PZA-10-00-01 |
| 2 | Portaherramientas 10"-12" | PZA-10-00-03 |
| 3 | Carretel 10"-12" | PZA-12-00-02 |
| 4 | Porta Tapón 10"-12" | PZA-10-00-02 |

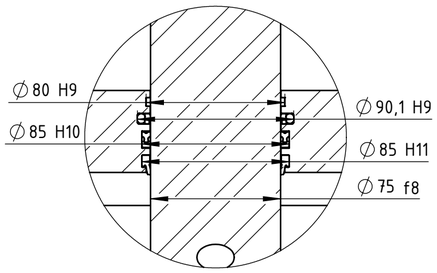
| CONJUNTO 12" | | |
|---|---|---|
| 1 | Conjunto Completo 12" | CTO-12 |
| 2 | Portaherramientas 10"-12" | PZA-10-00-03 |
| 3 | Carretel 10"-12" | PZA-12-00-02 |
| 4 | Porta Tapón 10"-12" | PZA-10-00-02 |



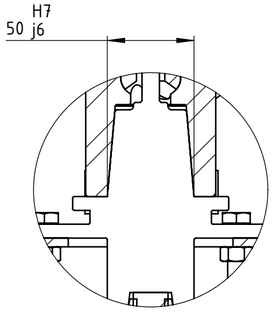

SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10

SECCIÓN A-A

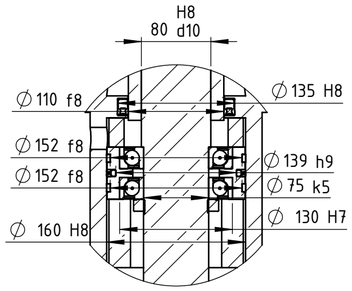


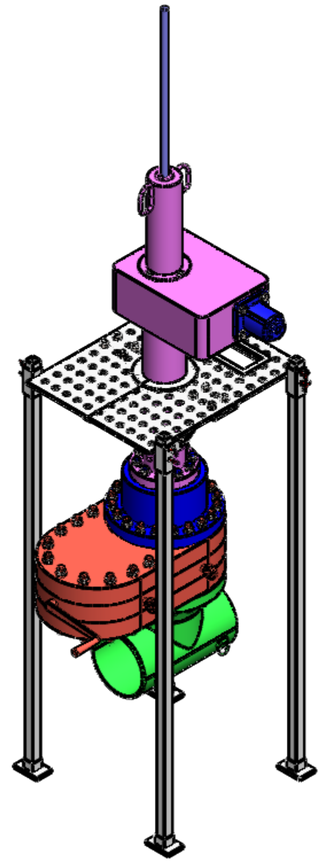

DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5




DETALLE C
ESCALA 1 : 2.5




DETALLE B
ESCALA 1 : 5



| N° | DESIGNACIÓN | OBSERVACIONES | MATERIAL | CANTIDAD |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 05 - Máquina | VER PLANO STO-12-01 | | 1 |
| 9 | 14 - Carretel 10''-12'' | VER PLANO PZA-12-00-02 | AISI 1045 | 1 |
| 8 | 12 - Portaherramientas 10''-12'' | VER PLANO PZA-10-00-03 | | 1 |
| 7 | 11 - Broca de Guía 10''-12'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 6 | 10 - Broca de Corte 12'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 5 | 03 - Válvula Sandwich 12'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 4 | 02 - Acople 12'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 3 | Tuerca Hexagonal M10 x 1.5 | ELEMENTO COMERCIAL | | 6 |
| 2 | Tornillo Hexagonal M10 x 1.5 x 35 | ELEMENTO COMERCIAL | | 6 |
| 1 | Tuerca Hexagonal 1" x 8 | ELEMENTO COMERCIAL | | 72 |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN

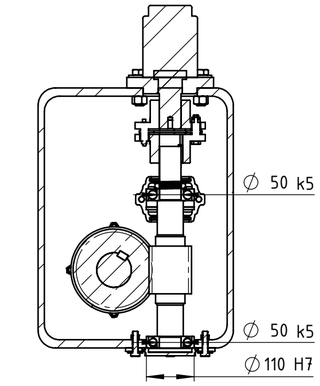
# CONJUNTO COMPLETO 12"

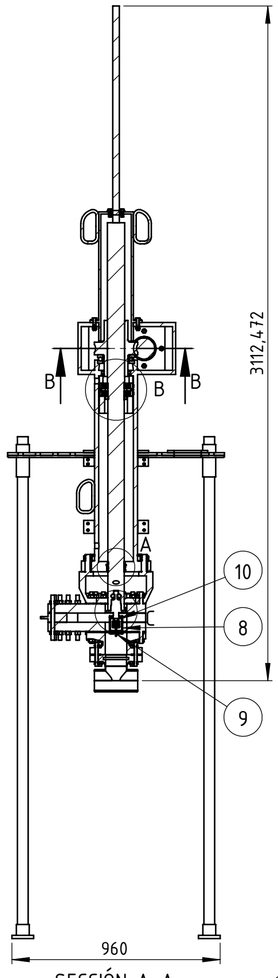
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 26/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL 1:20

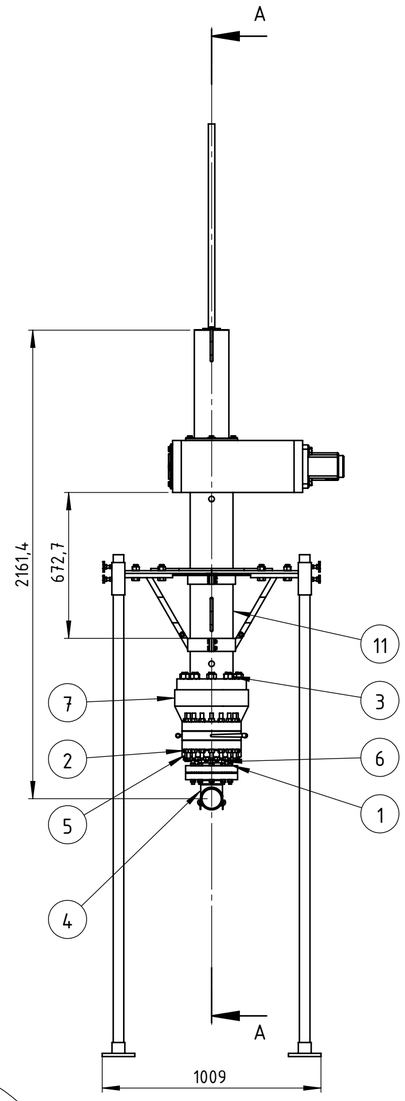
CTO-12

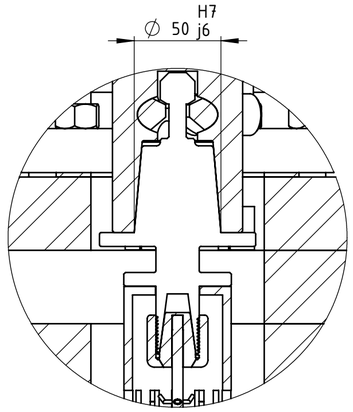
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10



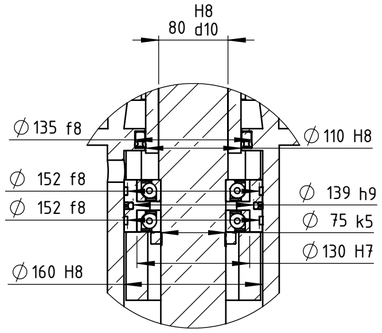




SECCIÓN A-A



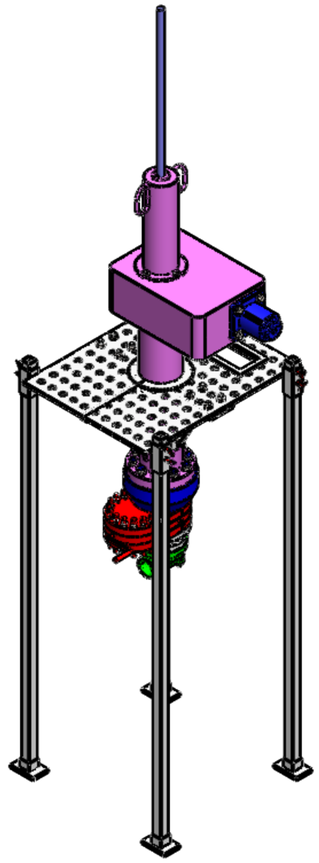

DETALLE C
ESCALA 1 : 2.5




DETALLE B
ESCALA 1 : 5




DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 11 | 05 - Máquina | VER PLANO STO-12-01 | | 1 |
| 10 | 12 - Portaherramientas 03''-04'' | VER PLANO PZA-03-00-03 | | 1 |
| 9 | 11 - Broca de Guía 03''-04'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 8 | 10 - Broca de Corte 03'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 7 | 14 - Carretel 03''-04'' | VER PLANO PZA-04-00-02 | AISI 1045 | 1 |
| 6 | 09 - Carretel Adaptador 03''-04'' | VER PLANO PZA-03-00-01 | AISI 1045 | 1 |
| 5 | 03 - Válvula Sandwich 04'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 4 | 02 - Acople 03'' | ELEMENTO COMERCIAL | | 1 |
| 3 | Tuerca Hexagonal 1" x 8 | ELEMENTO COMERCIAL | | 10 |
| 2 | Tuerca Hexagonal 5/8" x 11 | ELEMENTO COMERCIAL | | 52 |
| 1 | Tuerca Hexagonal 1/2" x 13 | ELEMENTO COMERCIAL | | 20 |
| N° | DESIGNACIÓN | OBSERVACIONES | MATERIAL | CANTIDAD |

# PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

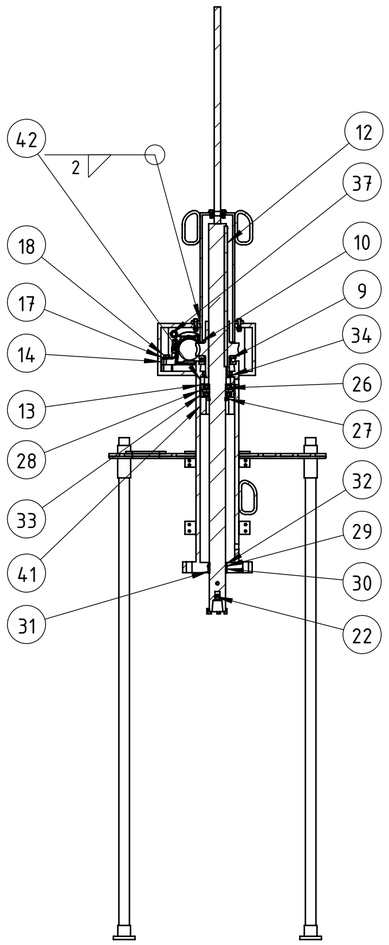
DENOMINACIÓN

## CONJUNTO COMPLETO 03"

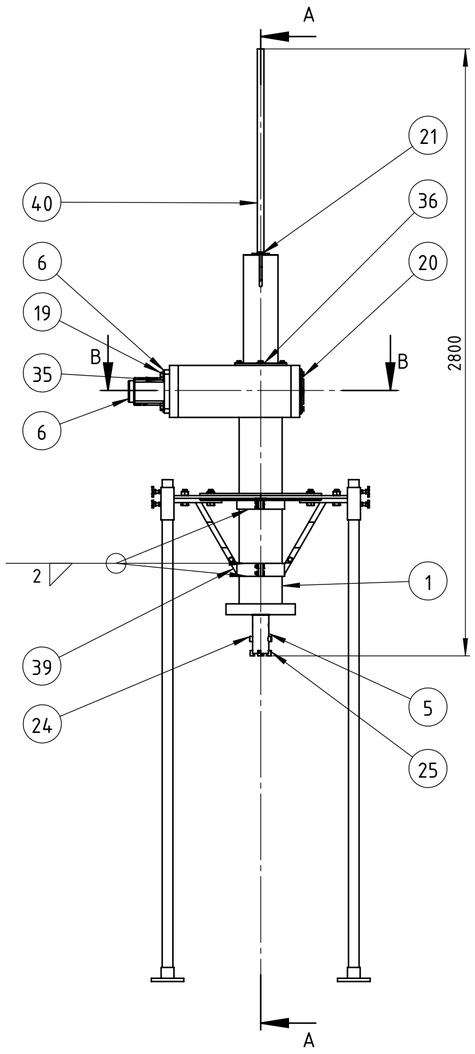
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 26/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

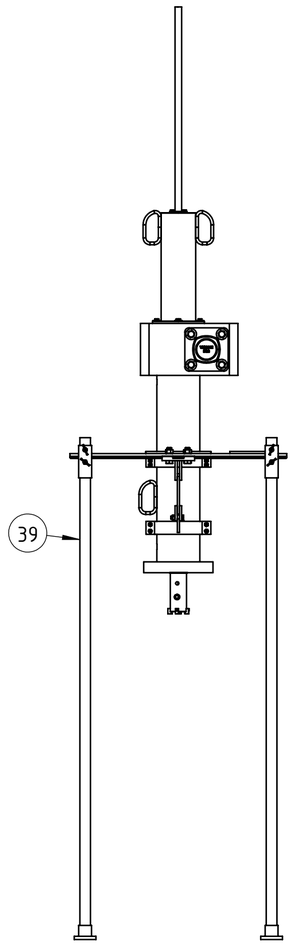
ESCALA GENERAL
1:20

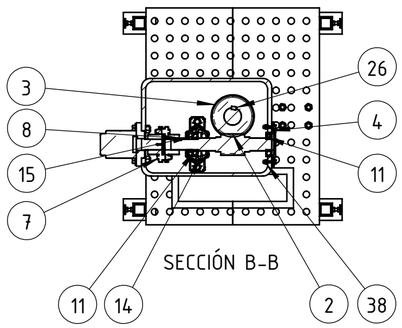
CTO-03



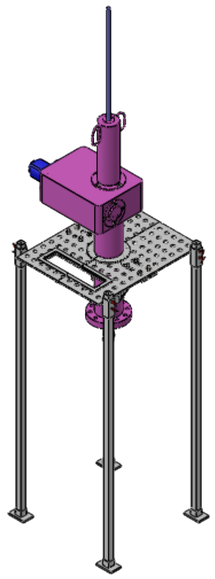

SECCIÓN A-A




SECCIÓN B-B



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 42 | 05.12.02 - Tope Hidráulico 02 | PZA 12-01-09 | AISI 431 | 1 |
| 41 | 05.12.01 - Tope Hidráulico 01 | PZA 12-01-08 | AISI 431 | 1 |
| 40 | 05.11 - Varilla de Medición | | COMERCIAL | 1 |
| 39 | 05.10 - Plataforma compensadora | PZA 12-01-07 | AISI 1010 | 1 |
| 38 | Tuerca Hexagonal M12 x 1.75 | | COMERCIAL | 8 |
| 37 | Tuerca Hexagonal M20 x 2.5 | | COMERCIAL | 4 |
| 36 | Arandela M12 | | COMERCIAL | 8 |
| 35 | Arandela M20 | | COMERCIAL | 4 |
| 34 | Sello PTB-110X135X19.8-J1S | | COMERCIAL | 1 |
| 33 | Sello WAT-152X160X9.2-E8D | | COMERCIAL | 2 |
| 32 | Sello WAT-75X80X5.1-E8D | | COMERCIAL | 1 |
| 31 | Sello DTW-75X85X7-J2G | | COMERCIAL | 1 |
| 30 | Sello DZ-75X85X9.9-E2F | | COMERCIAL | 1 |
| 29 | Sello S9B-75X90.1X6.3-AD1 | | COMERCIAL | 1 |
| 28 | Sello APR-160X139X8.1-AD1 | | COMERCIAL | 1 |
| 27 | SKF KMK15 | | COMERCIAL | 1 |
| 26 | SKF 7215 BECBM | | COMERCIAL | 2 |
| 25 | Tornillo Allen M6 x 1.0 x 6 | | COMERCIAL | 4 |
| 24 | 05.09 - Tornillo Hexagonal Cortado | | COMERCIAL | 2 |
| 23 | 05.08 - Resorte | | SAE 1070 | 2 |
| 22 | 05.07 - Retención Herramienta | | AISI 1010 | 2 |
| 21 | Tornillo Hexagonal M10 x 1.5 x 30 | | COMERCIAL | 2 |
| 20 | Tornillo Hexagonal M12 x 1.75 x 50 | | COMERCIAL | 8 |
| 19 | Tornillo Hexagonal M20 x 2.5 x 70 | | COMERCIAL | 4 |
| 18 | Tornillo Hexagonal M16 x 2.0 x 60 | | COMERCIAL | 2 |
| 17 | Arandela M16 | | COMERCIAL | 2 |
| 16 | SKF MB10 | | COMERCIAL | 1 |
| 15 | SKF KM10 | | COMERCIAL | 1 |
| 14 | Soporte SKF SNL 212 | | COMERCIAL | 1 |
| 13 | 05.06 - Émbolo | PZA 12-01-06 | Acero F-1140 | 1 |
| 12 | Chaveta Paralela DIN 6885 22x14x650 | | COMERCIAL | 1 |
| 11 | Rodamiento SKF 7310 BECBY | | COMERCIAL | 2 |
| 10 | 05.05 - Bronce de Contacto Corona | PZA 12-01-05 | Bronce C90500 | 1 |
| 9 | Rodamiento SKF 51224 | | COMERCIAL | 1 |
| 8 | Chaveta Paralela A14 x 9 x 40 DIN 6885 | | COMERCIAL | 1 |
| 7 | Acople Comintec GTR 5 | | COMERCIAL | 1 |
| 6 | Motor Verion BB2 | | COMERCIAL | 1 |
| 5 | 05.04 - Eje Principal | PZA 12-01-04 | SAE 4140 OQT 1000 | 1 |
| 4 | O-Ring Parker N°2-350 | | COMERCIAL | 1 |
| 3 | 05.03 - Corona | PZA 12-01-03 | Bronce C90700 | 1 |
| 2 | 05.02 - Tornillo Sin Fin | PZA 12-01-02 | SAE 4140 OQT 1000 | 1 |
| 1 | 05.01 - Estructura | PZA 12-01-01 | AISI 1010 | 1 |
| N° | DESIGNACIÓN | OBSERVACIONES | MATERIAL | CANTIDAD |

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

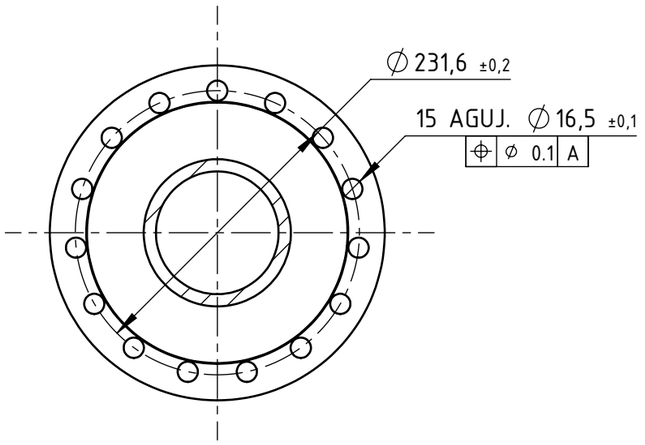
DENOMINACIÓN

# MÁQUINA

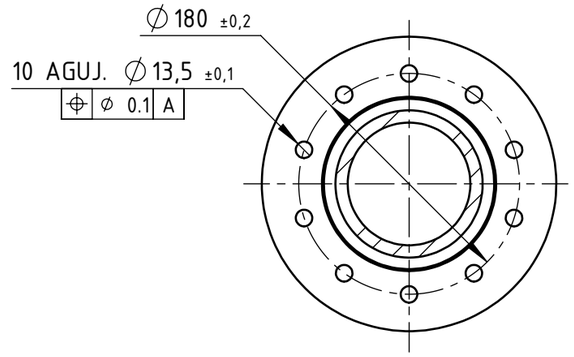
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 30/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL 1:20

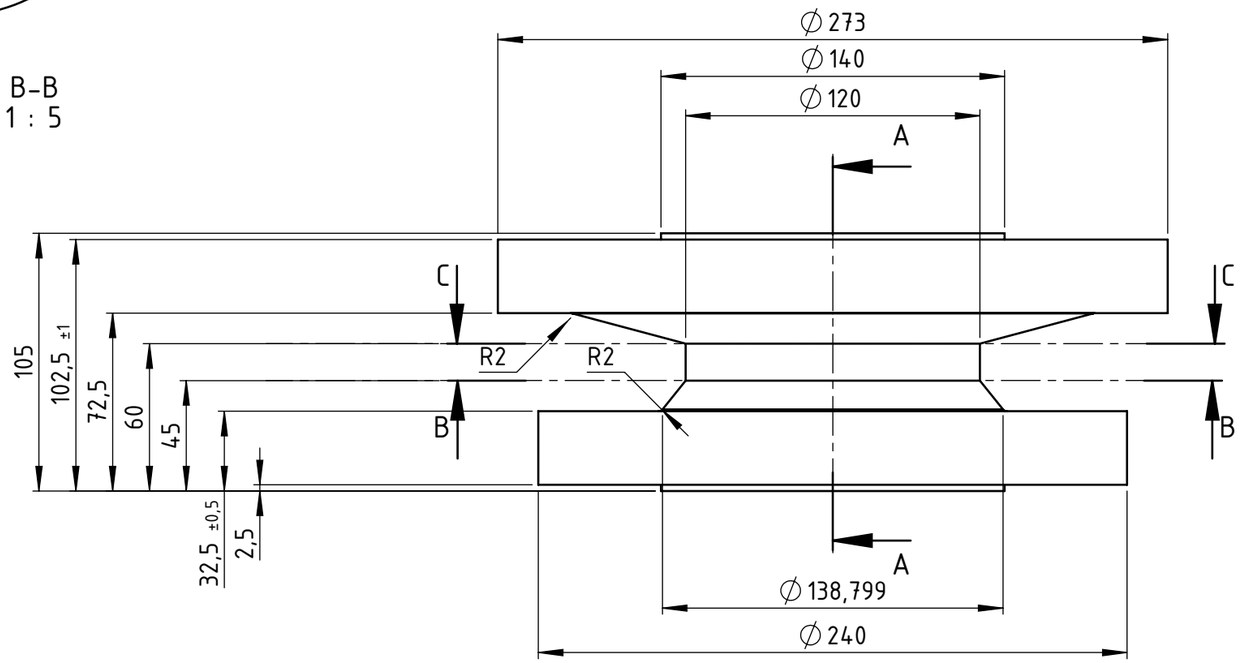
ST0-12-01

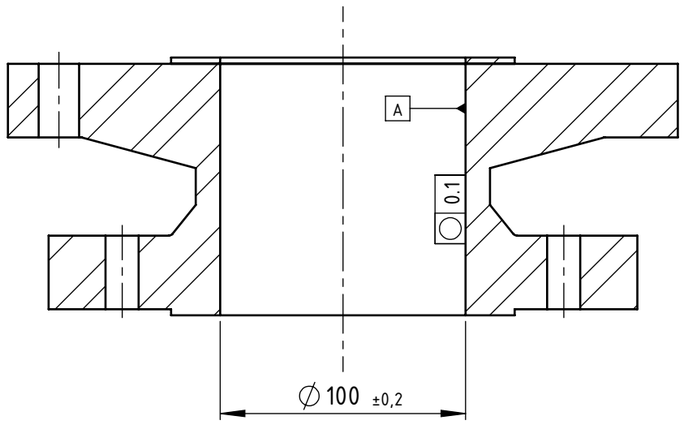



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5




SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5




SECCIÓN A-A
ESCALA 1:2.5

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CARRETEL ADAPTADOR 03"-04" | AISI 1045 | 1 | 22.73kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

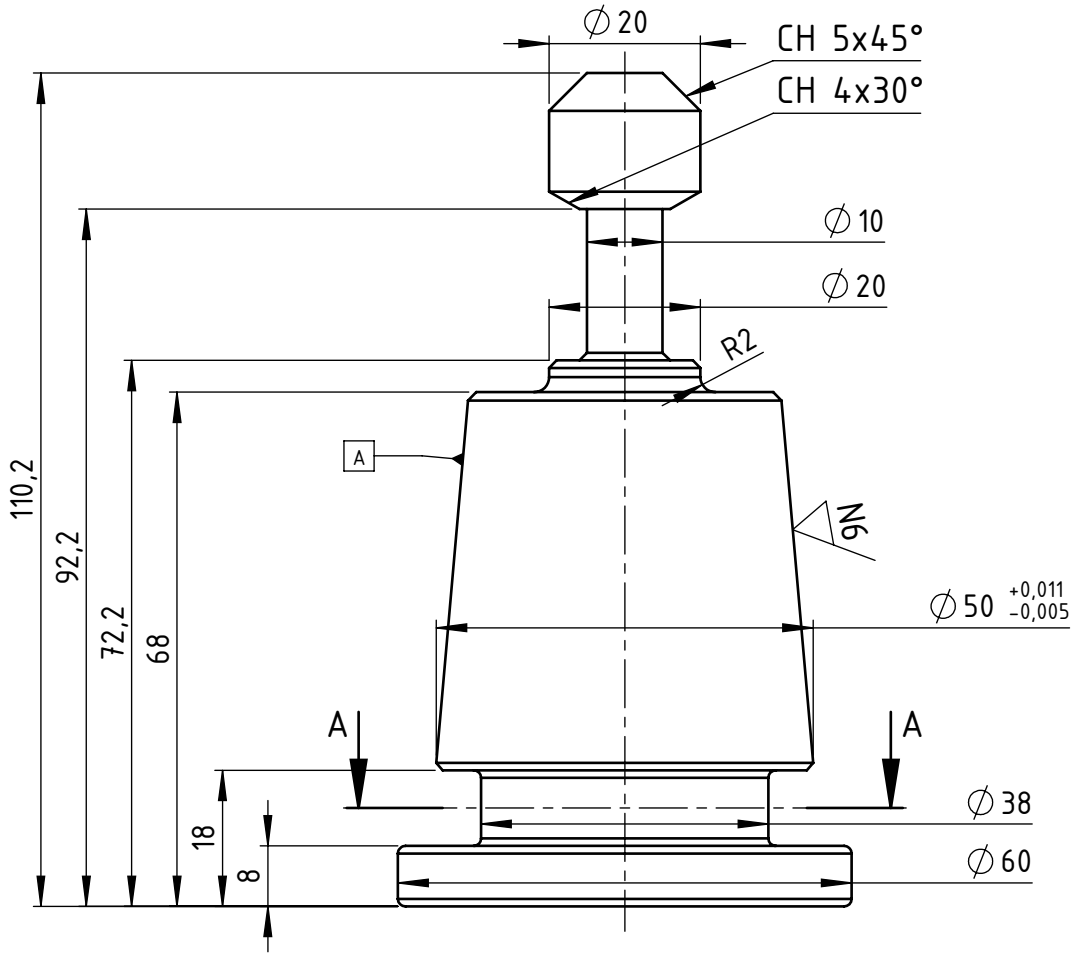
DENOMINACIÓN
CARRETEL ADAPTADOR
03"-04"

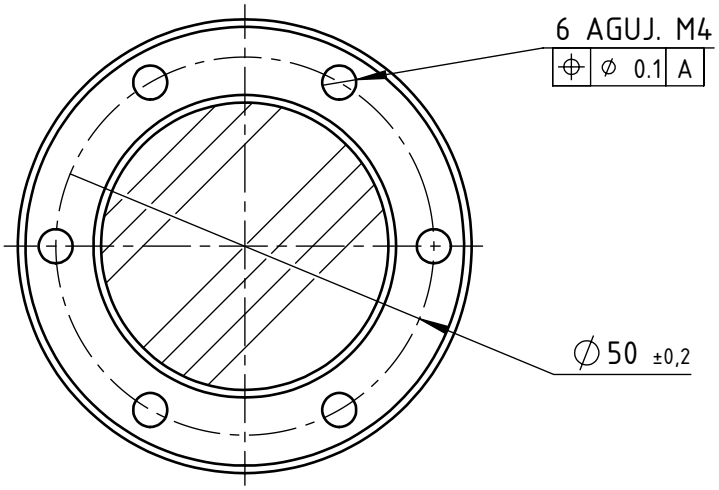
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 20/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL
1:2.5

PZA 03-00-01

[mm]




SECCIÓN A-A

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

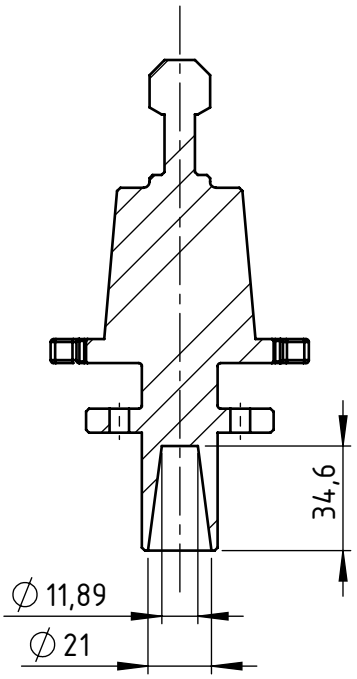
| 1 | PORTA TAPÓN 03"-04" | AISI 1010 | 1 | 1kg |
|---|---|---|---|---|
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

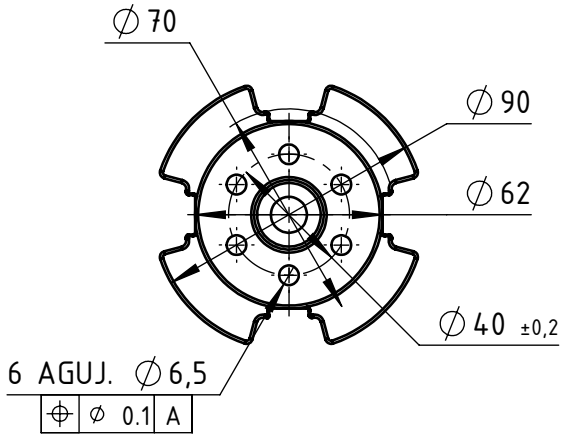
DENOMINACIÓN
PORTA TAPÓN 03"-04"

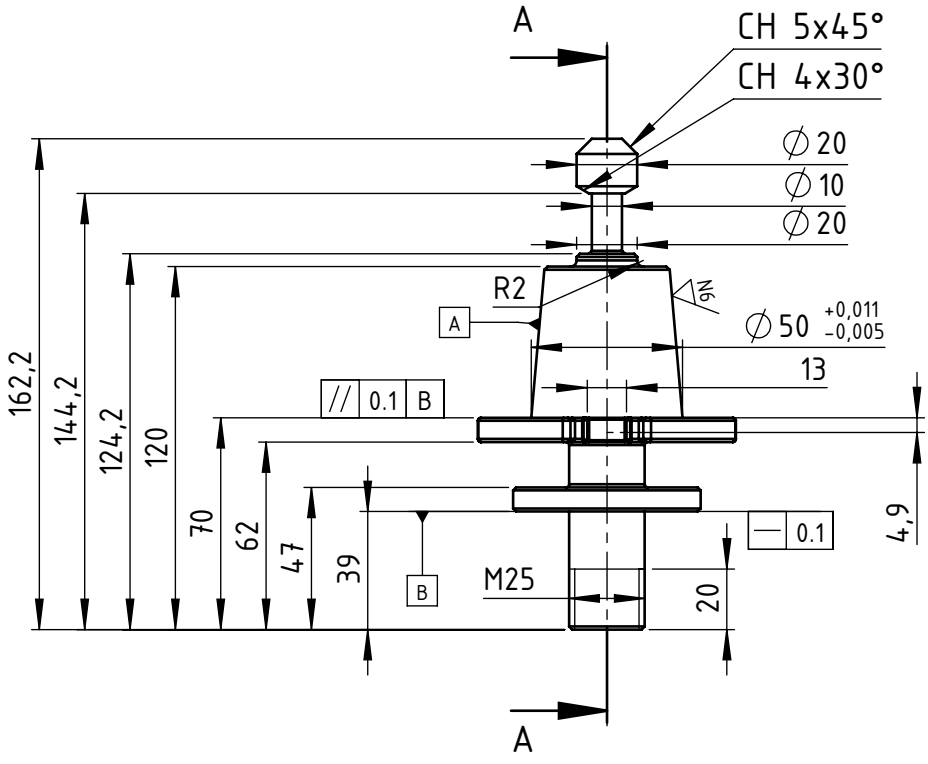
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL | | PZA 03-00-02 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 19/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:1 | | |
| APROBO | | | | | | |

[mm]




SECCIÓN A-A




CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PORTAHERRAMIENTAS 03"-04" | Steel SAE 4140 OQT 1000 | 1 | 1.4kg |

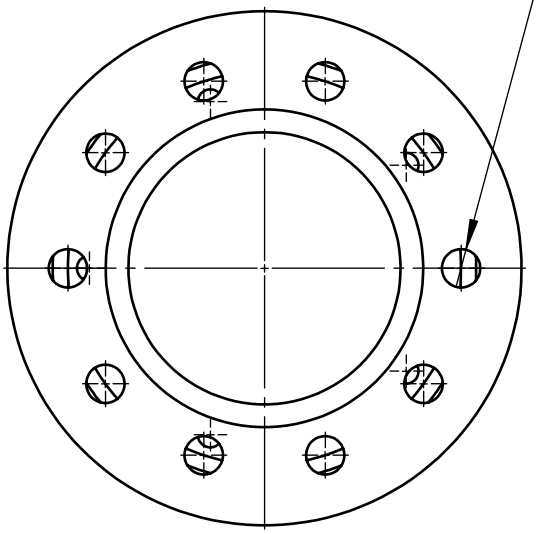
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

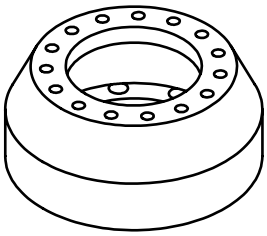
DENOMINACIÓN
PORTAHERRAMIENTAS 03"-04"

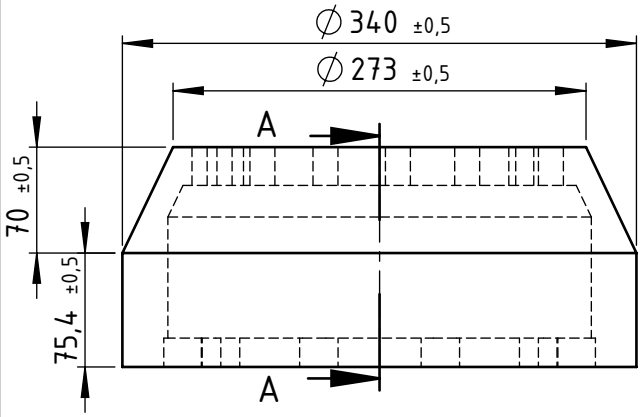
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL |
|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 19/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:2.5 |
| APROBO | | | | |

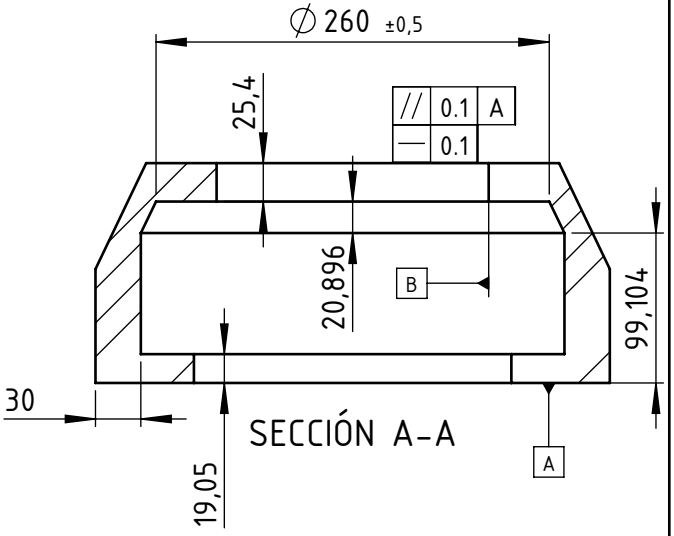
PZA 03-00-03

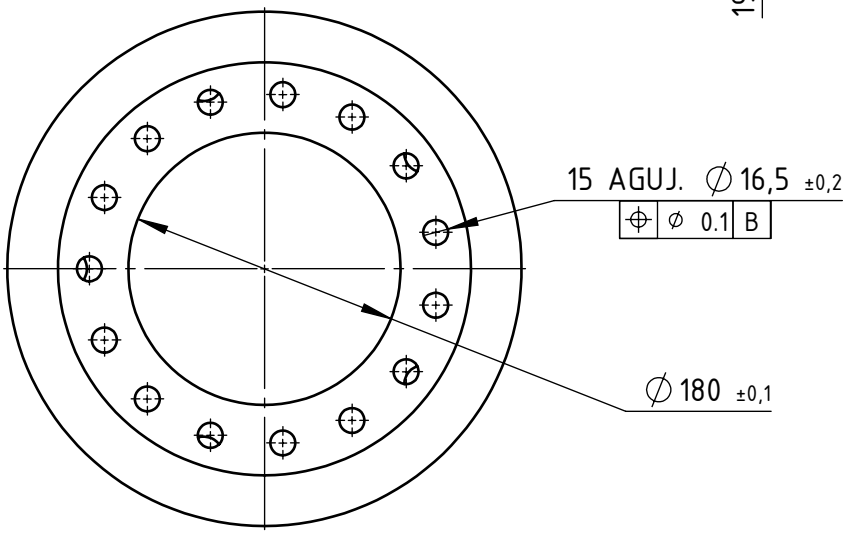
[mm]






N9

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

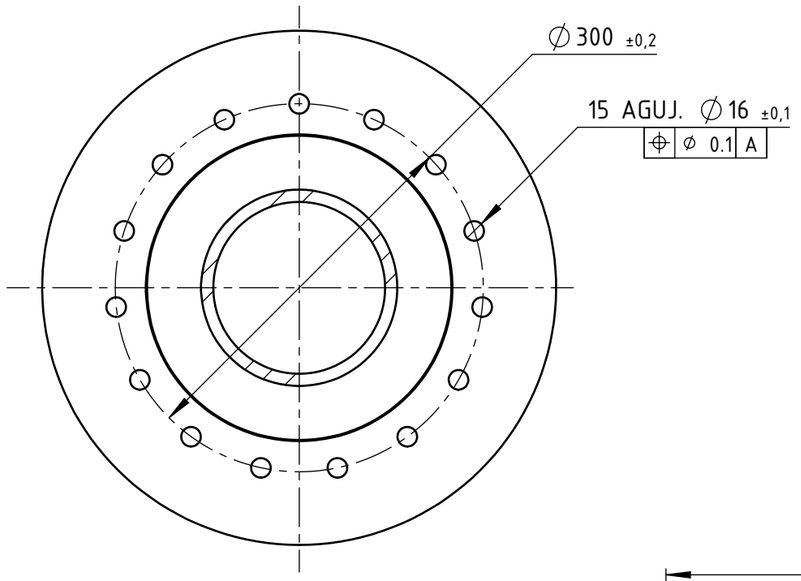
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CARRETEL 03"-04" | AISI 1045 | 1 | 35kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

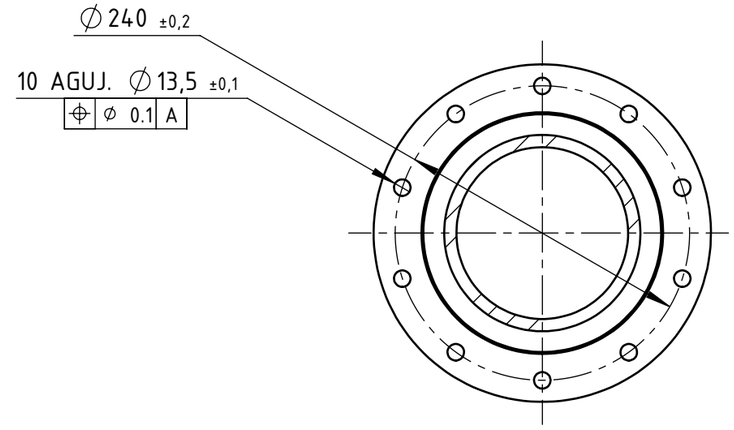
DENOMINACIÓN
# CARRETEL 03"-04"

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL |
|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 14/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:5 |
| APROBO | | | | |

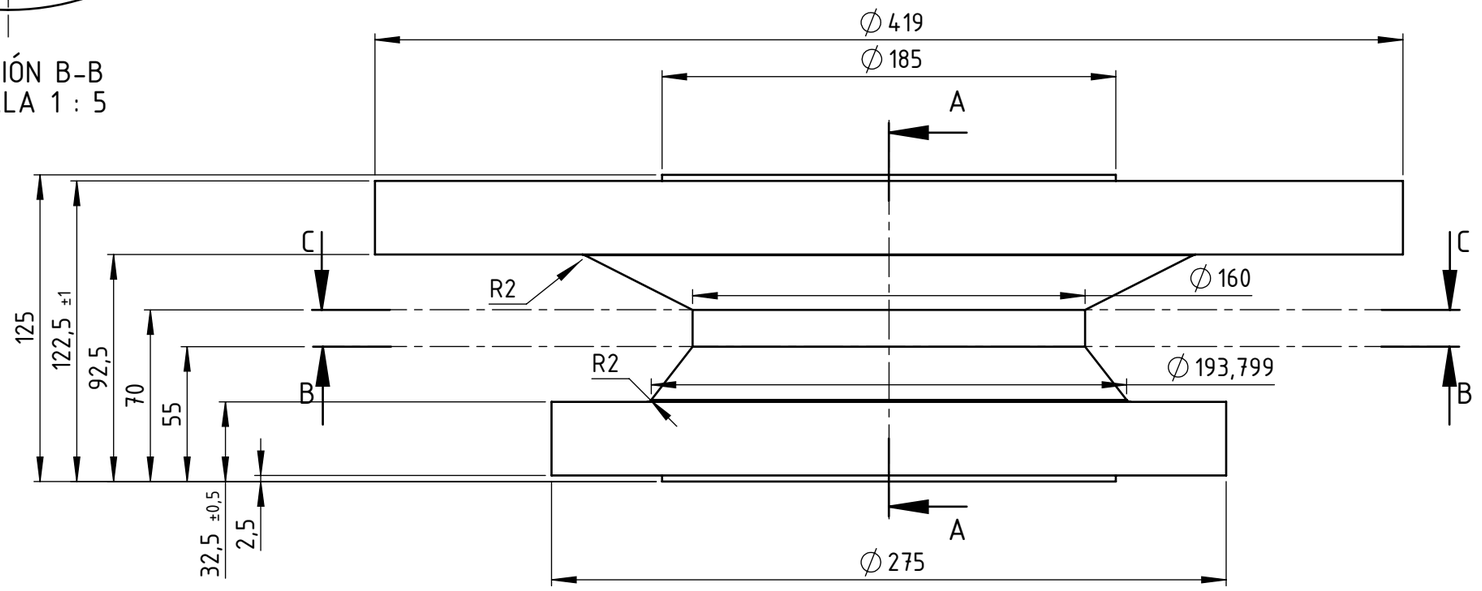
PZA 04-00-02

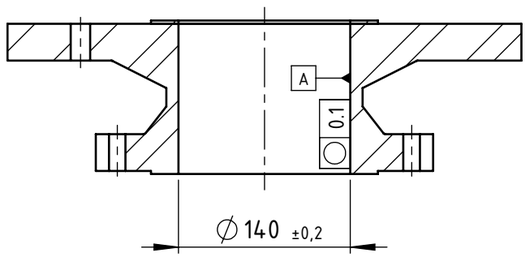



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5




SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5




SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CARRETEL ADAPTADOR 06"-08" | AISI 1045 | 1 | 44.85kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

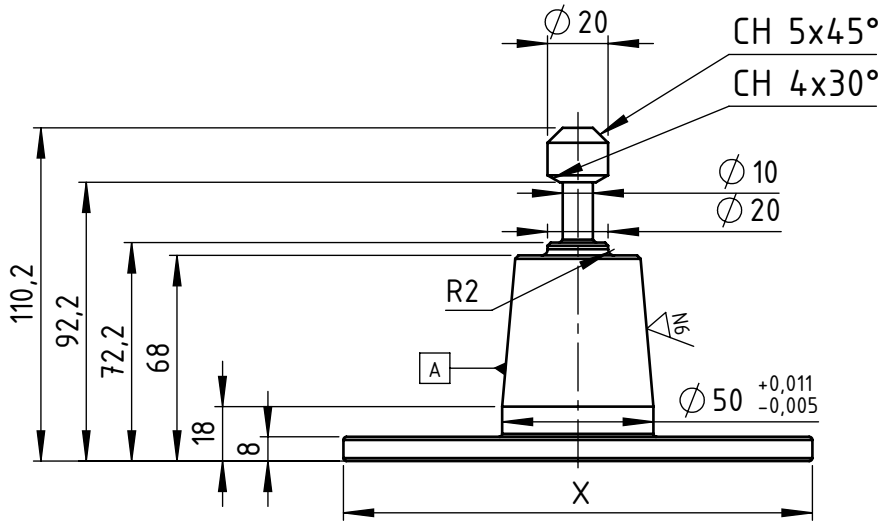
DENOMINACIÓN
CARRETEL ADAPTADOR 06"-08"

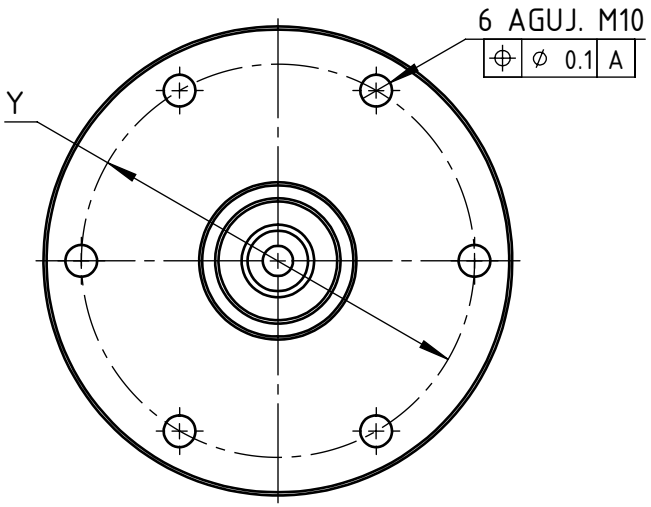
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 20/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL 1:2.5

PZA 06-00-01

[mm]




| | X | Y |
|---|---|---|
| 10"-12" - PZA10-00-02 | 155 | 130+-0.2 |
| 06"-08" - PZA06-00-02 | 130 | 100+-0.2 |

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 2 | PORTA TAPÓN 06"-08" | AISI 1010 | 1 | 1.7kg |
| 1 | PORTA TAPÓN 10"-12" | AISI 1010 | 1 | 2kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

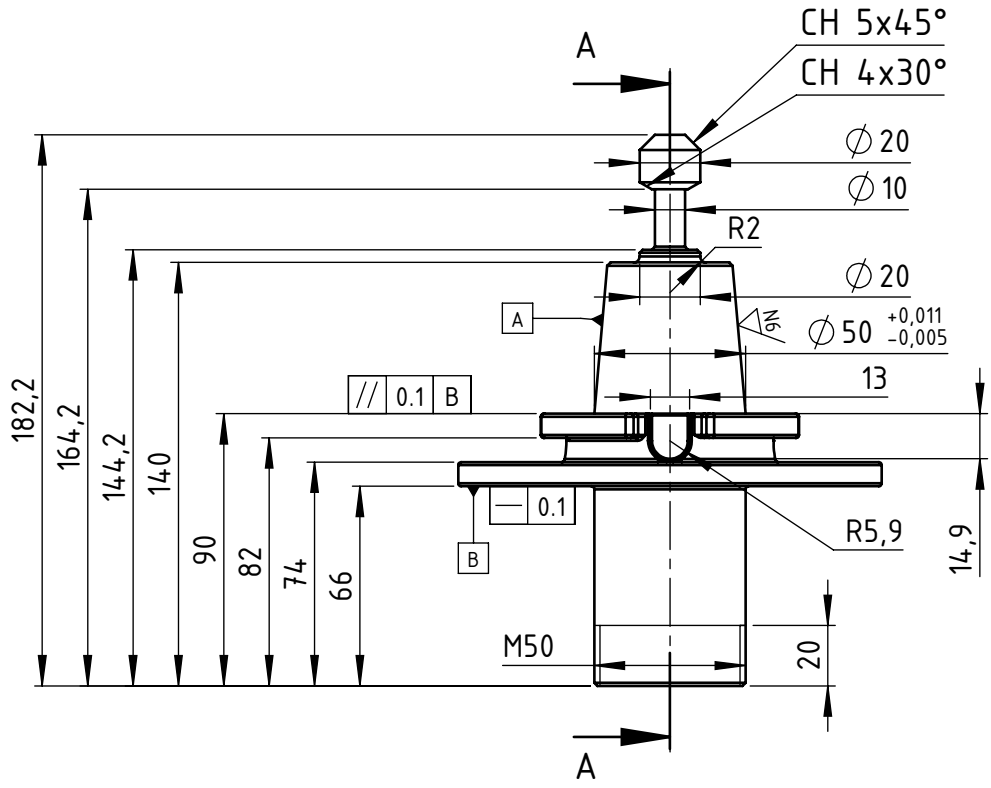
DENOMINACIÓN
PORTA TAPÓN 06"-08"
10"-12"

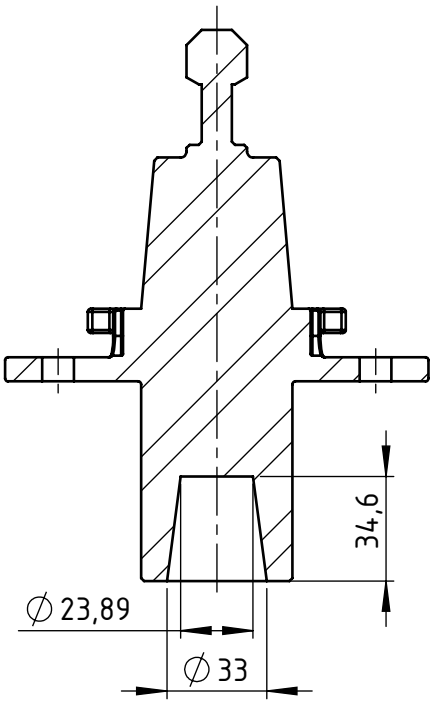
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 19/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia |
| APROBO | | | G-5662/6 - García Matías |

ESCALA GENERAL
1:2.5

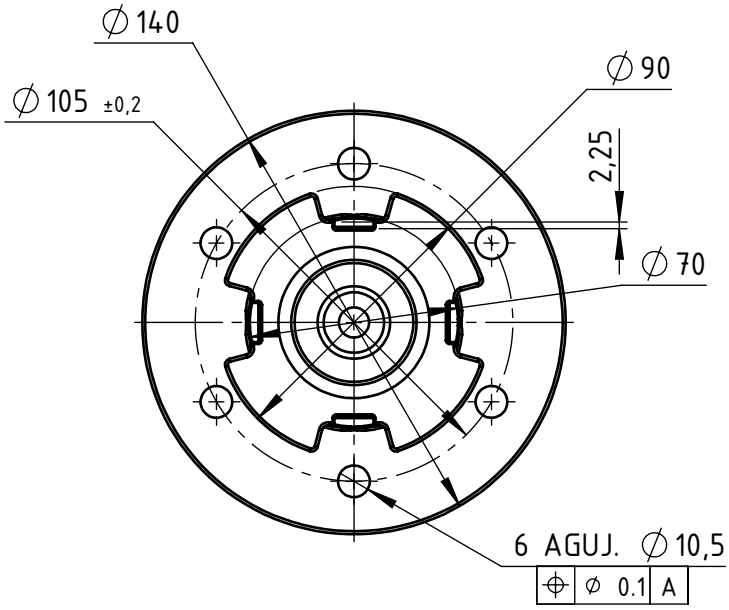
PZA 10-00-02
PZA 06-00-02

[mm]




SECCIÓN A-A




CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PORTAHERRAMIENTAS 06"-08" | Steel SAE 4140 OQT 1000 | 1 | 3.1kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

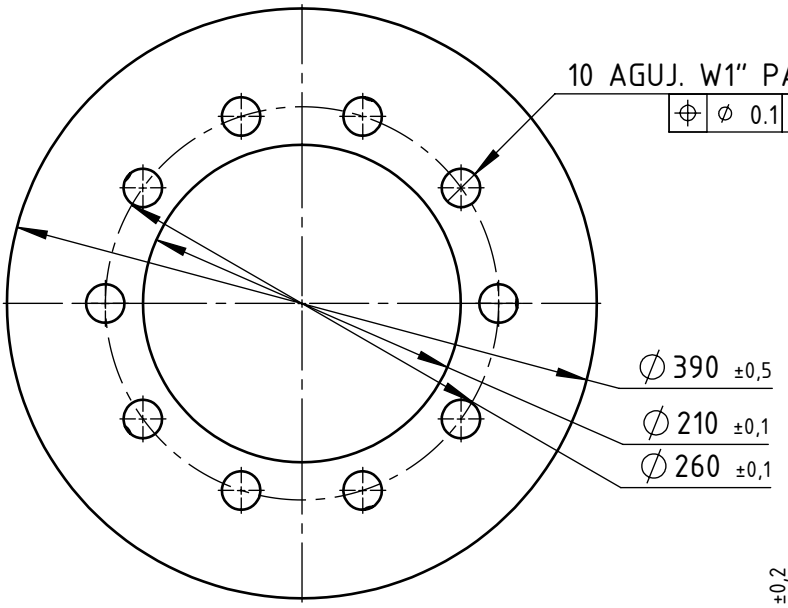
DENOMINACIÓN
PORTAHERRAMIENTAS 06"-08"

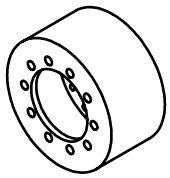
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 19/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

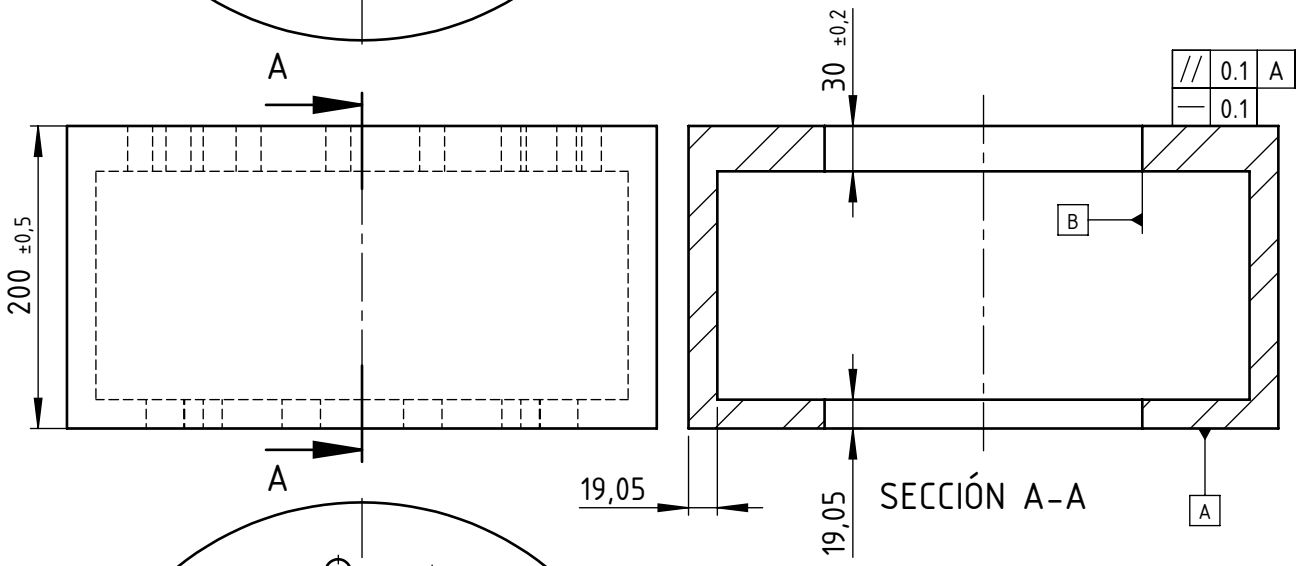
ESCALA GENERAL
1:2.5

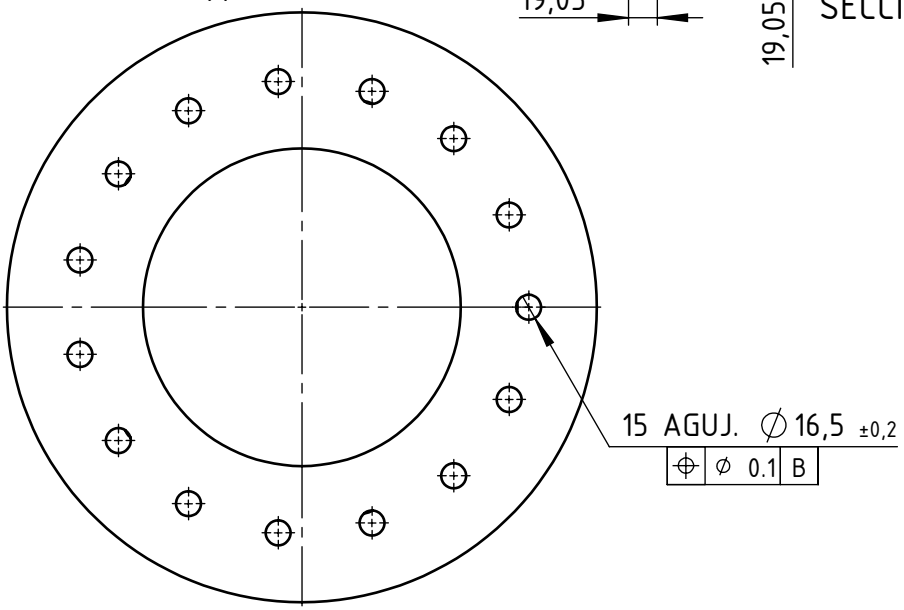
PZA 06-00-03

[mm]






N9

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

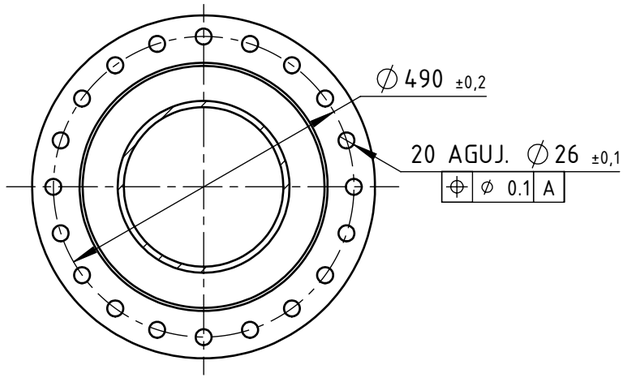
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CARRETEL 06"-08" | AISI 1045 | 1 | 58kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

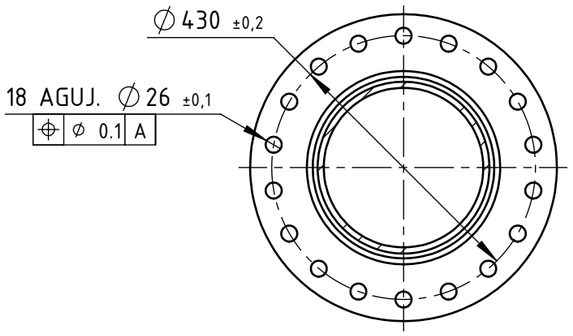
DENOMINACIÓN
# CARRETEL 06"-08"

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL |
|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 14/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:5 |
| APROBO | | | | |

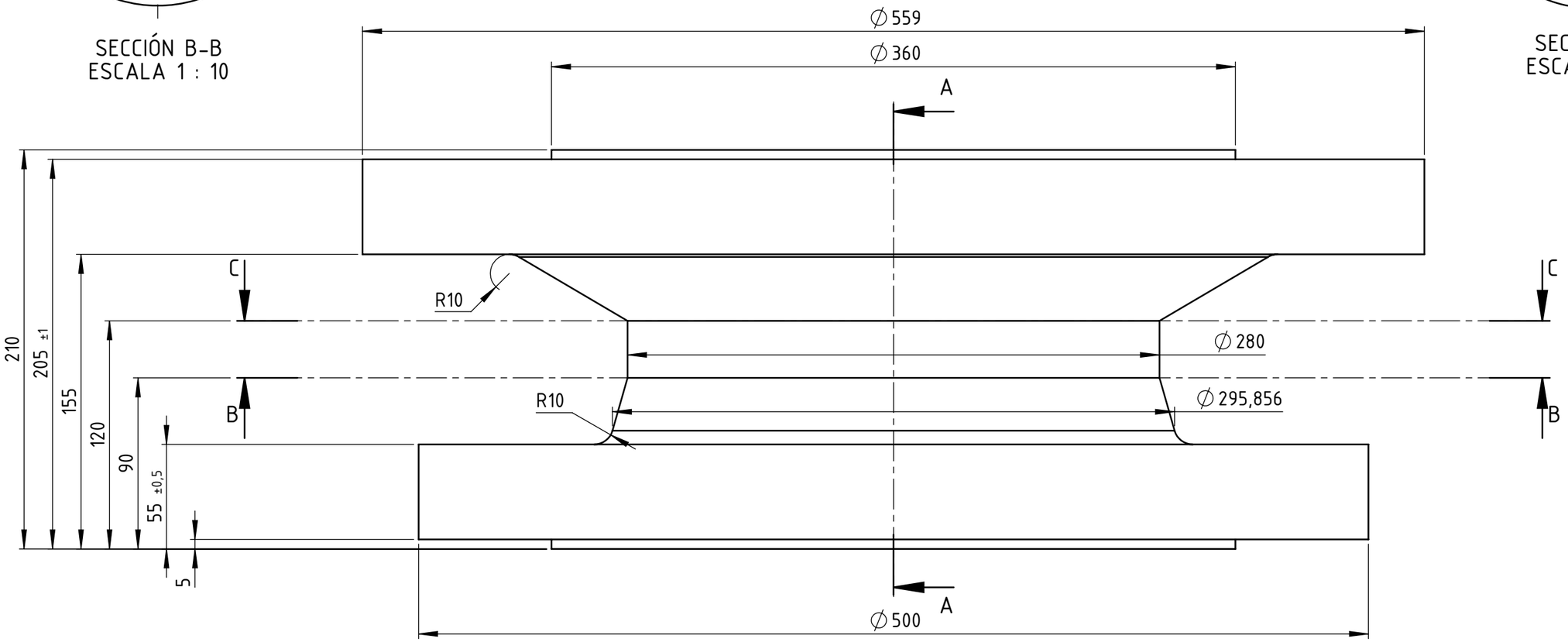
PZA 08-00-02

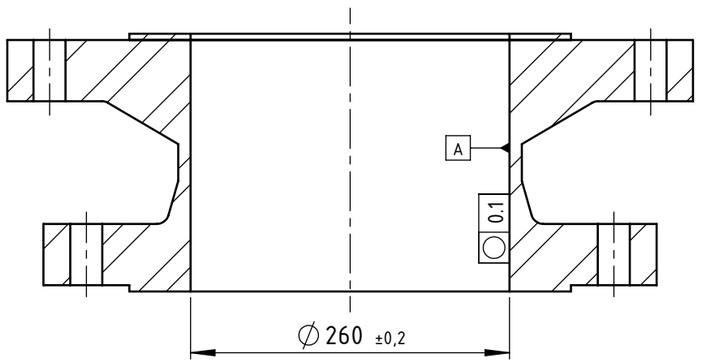



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10




SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 10




SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CARRETEL ADAPTADOR 10"-12" | AISI 1045 | 1 | 146.56kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

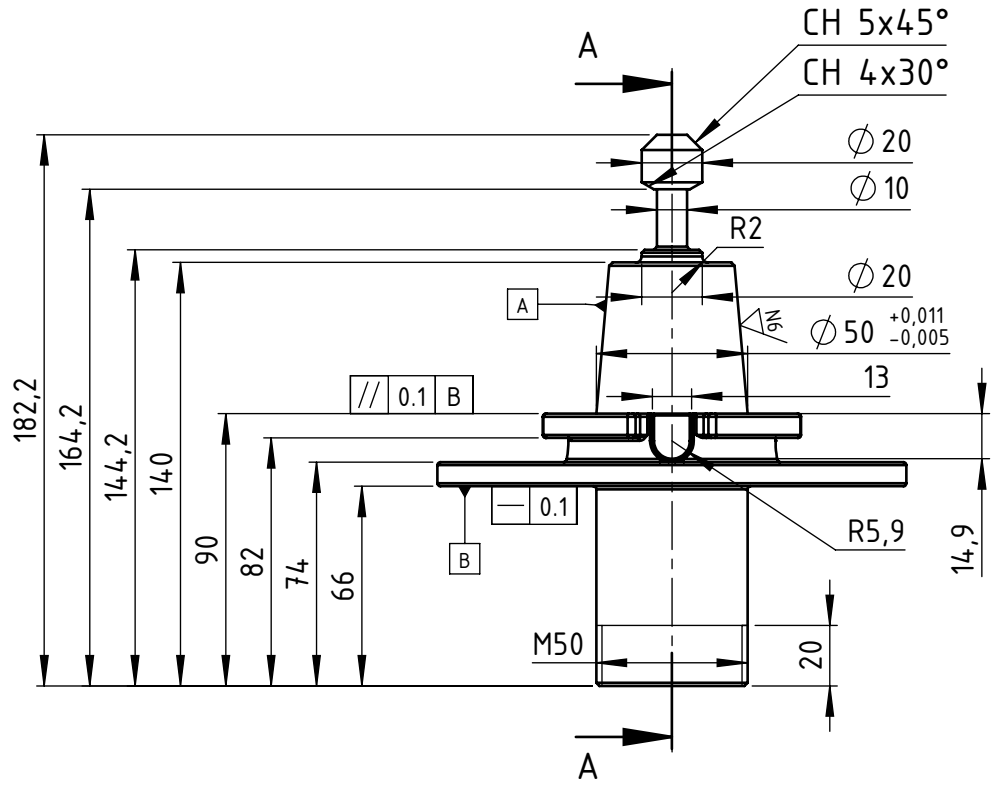
DENOMINACIÓN
CARRETEL ADAPTADOR
10"-12"

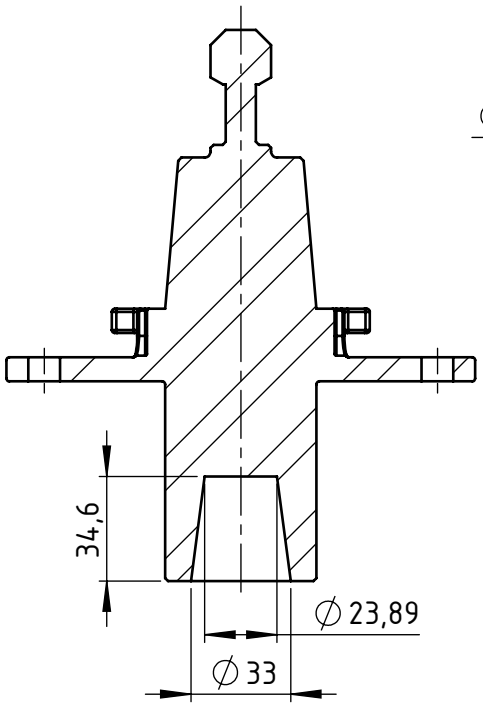
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 20/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL
1:2.5

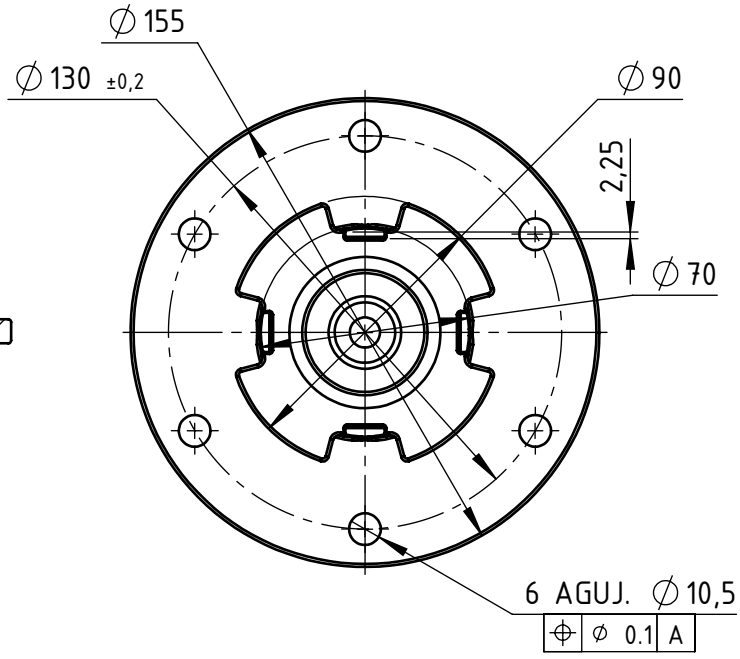
PZA 10-00-01

[mm]




SECCIÓN A-A




CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PORTAHERRAMIENTAS 10"-12" | Steel SAE 4140 OQT 1000 | 1 | 3.3kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

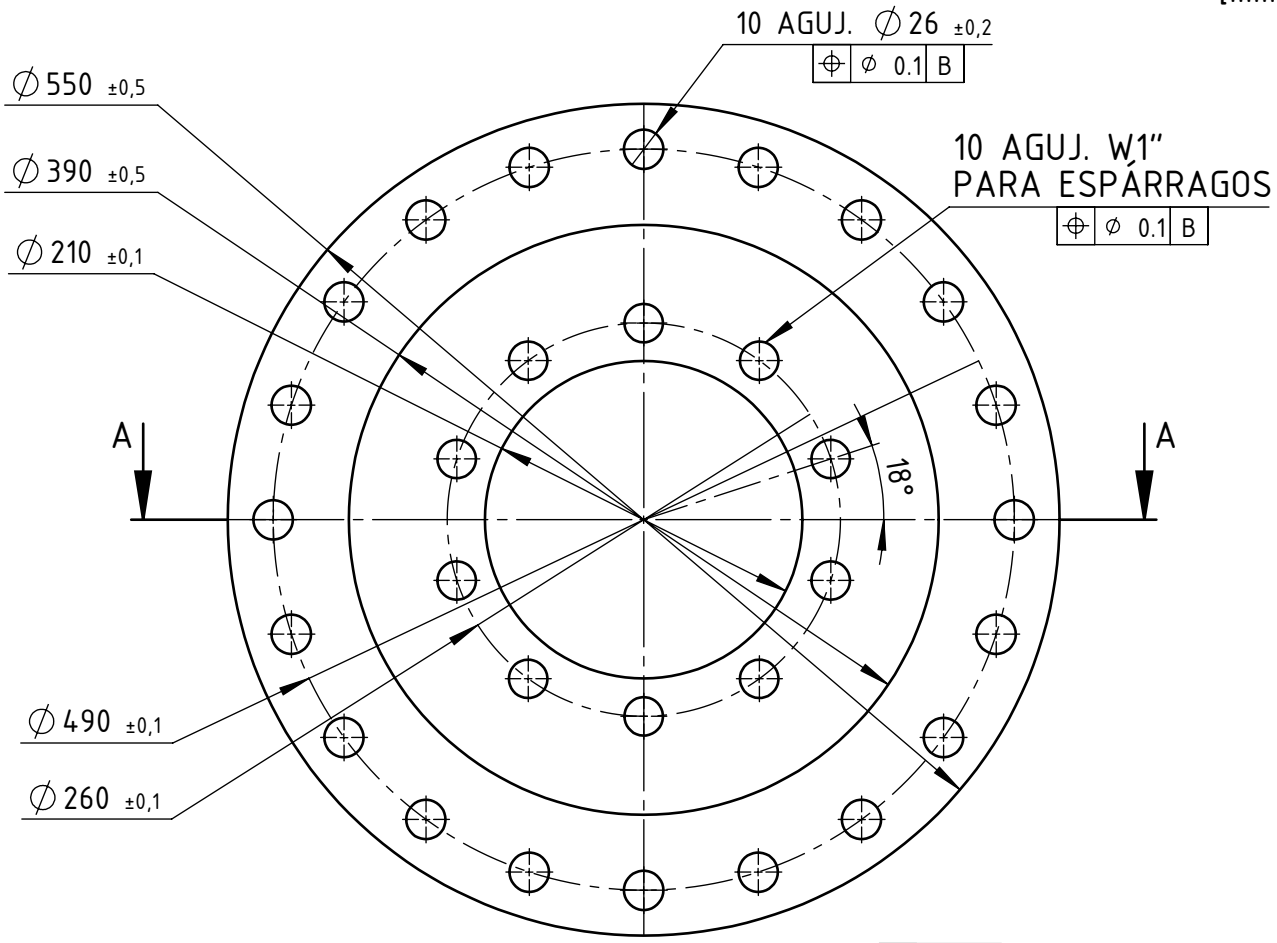
DENOMINACIÓN
PORTAHERRAMIENTAS 10"-12"

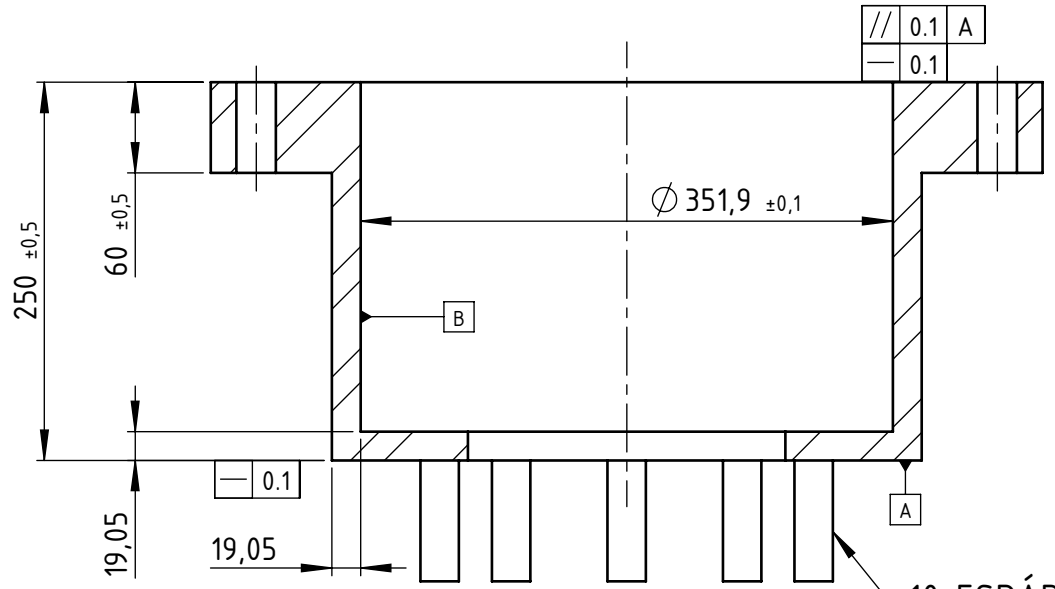
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 19/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL
1:2.5

PZA 10-00-03

[mm]




SECCIÓN A-A

N9

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

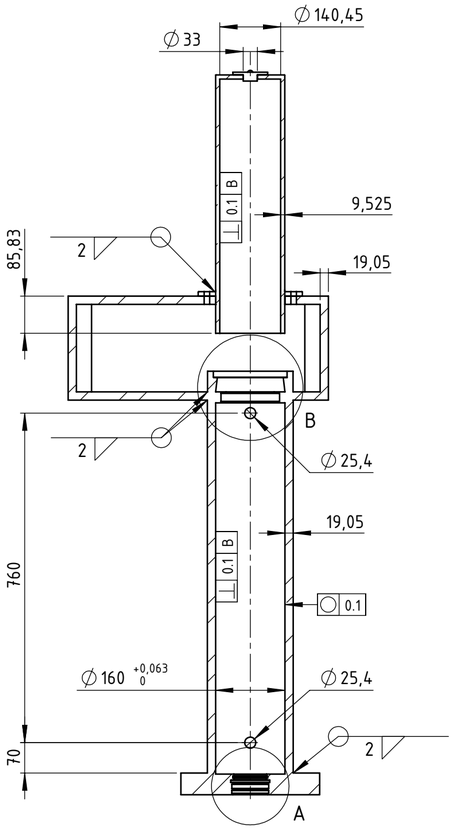
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CARRETEL 10"-12" | AISI 1045 | 1 | 109kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

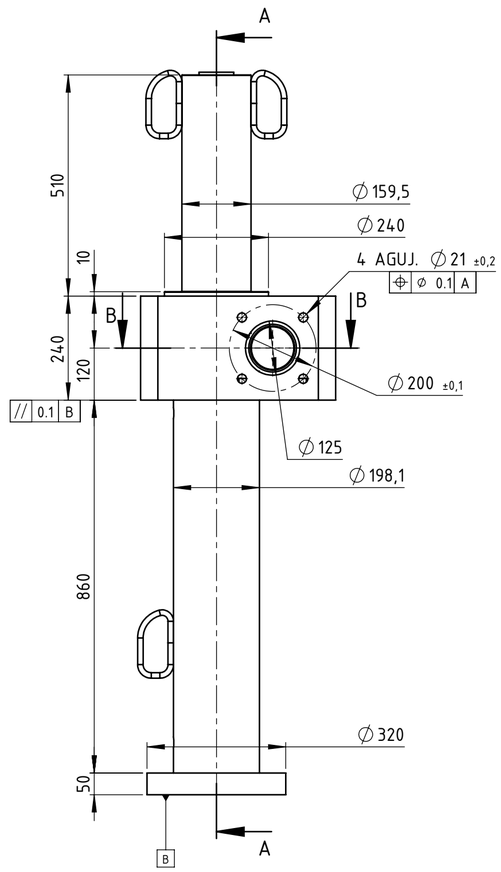
DENOMINACIÓN
# CARRETEL 10"-12"

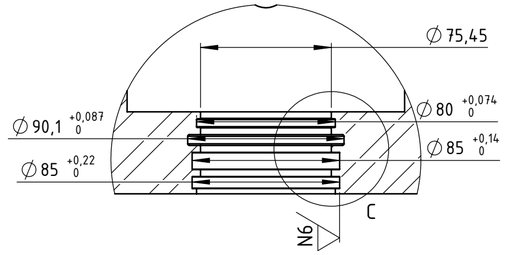
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL |
|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 14/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:5 |
| APROBO | | | | |

PZA 12-00-02

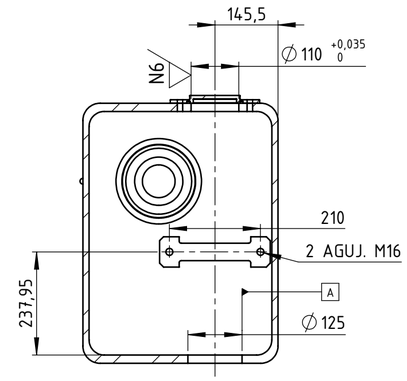



SECCIÓN A-A

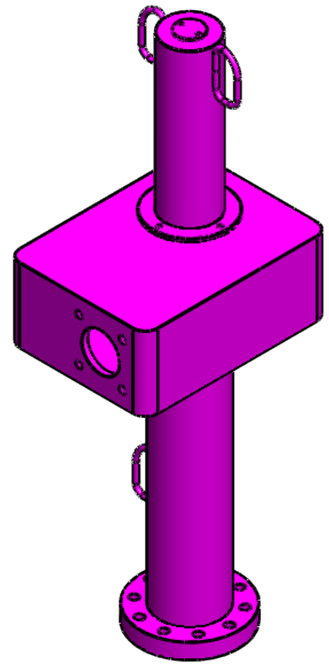


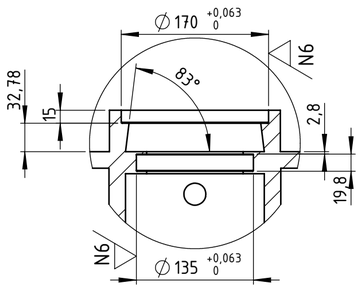




DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5

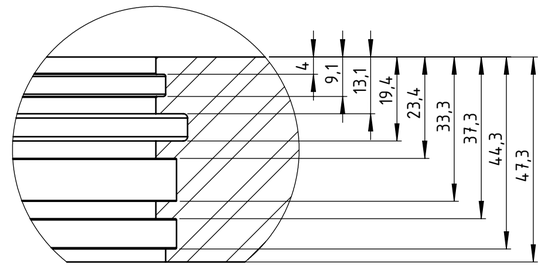



SECCIÓN B-B

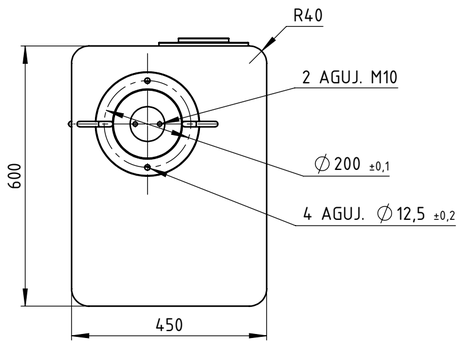





DETALLE B
ESCALA 1 : 5




DETALLE C
ESCALA 1 : 1




CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ESTRUCTURA | AISI 1010 | 1 | 262.91kg |

N9 ( N6 )

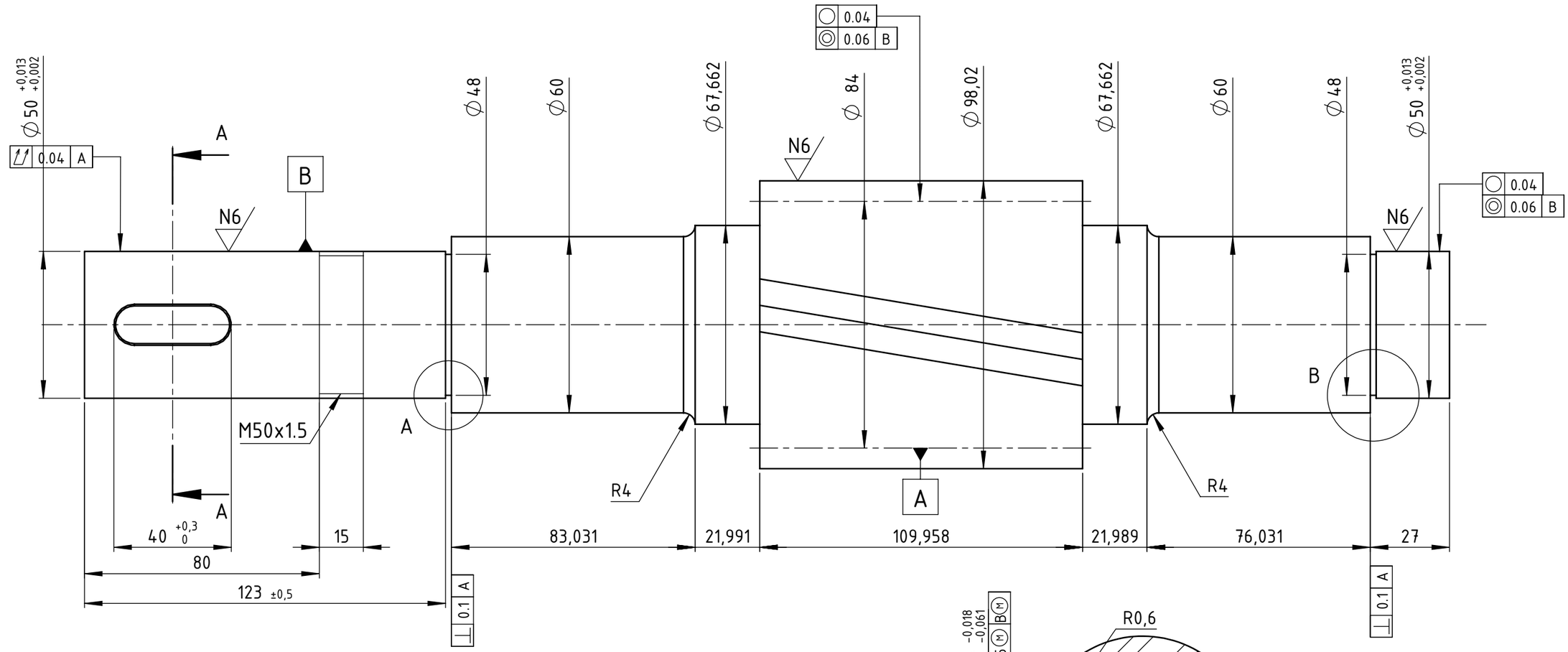
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

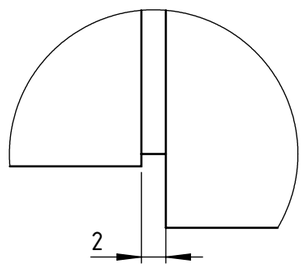
DENOMINACIÓN
ESTRUCTURA

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 30/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

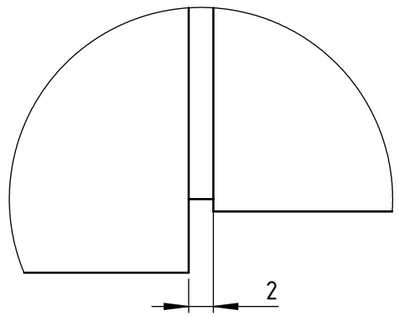
ESCALA GENERAL
1:10

PZA 12-01-01

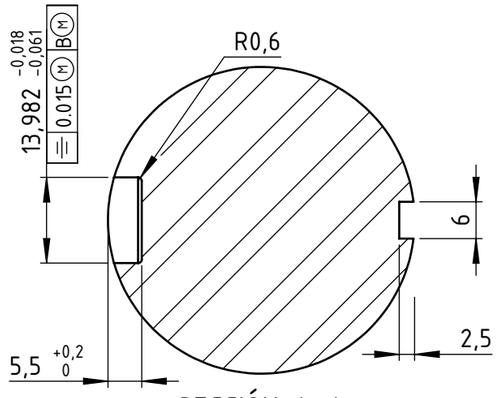



DETALLE A
ESCALA 2 : 1




DETALLE B
ESCALA 2 : 1




SECCIÓN A-A
SCALE 1 : 1

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

| DATOS | |
|---|---|
| MÓDULO NORMAL | 7 |
| N° DIENTES | 25 |
| ÁNG. HÉLICE | 20° |
| SENTIDO HÉLICE | DER. |

| 1 | TORNILLO SIN FIN | SAE 4140 OQT 1000 | 1 | 13.86kg |
|---|---|---|---|---|
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |

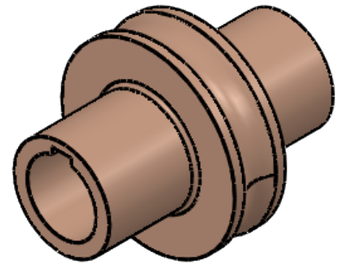
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

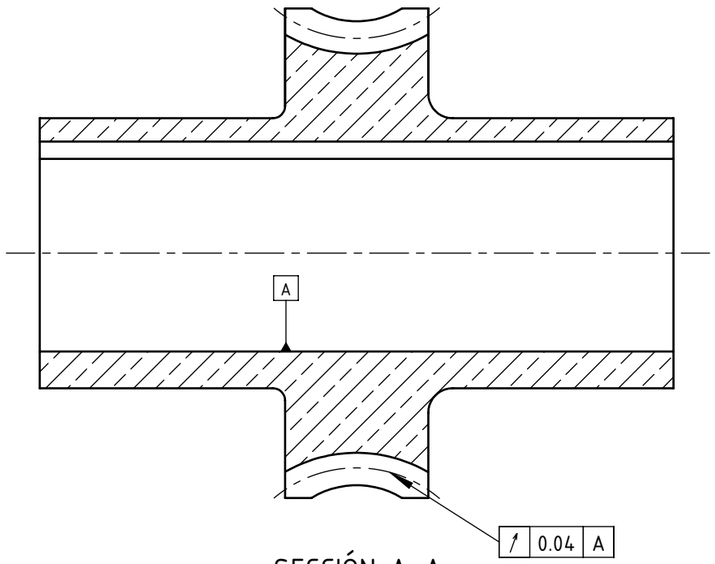
DENOMINACIÓN
TORNILLO SIN FIN

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 30/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

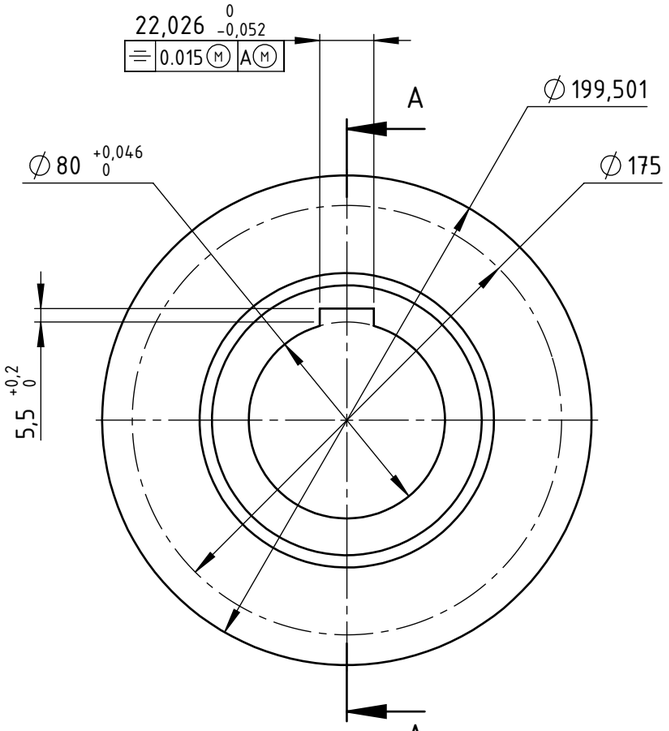
ESCALA GENERAL 1:1.5

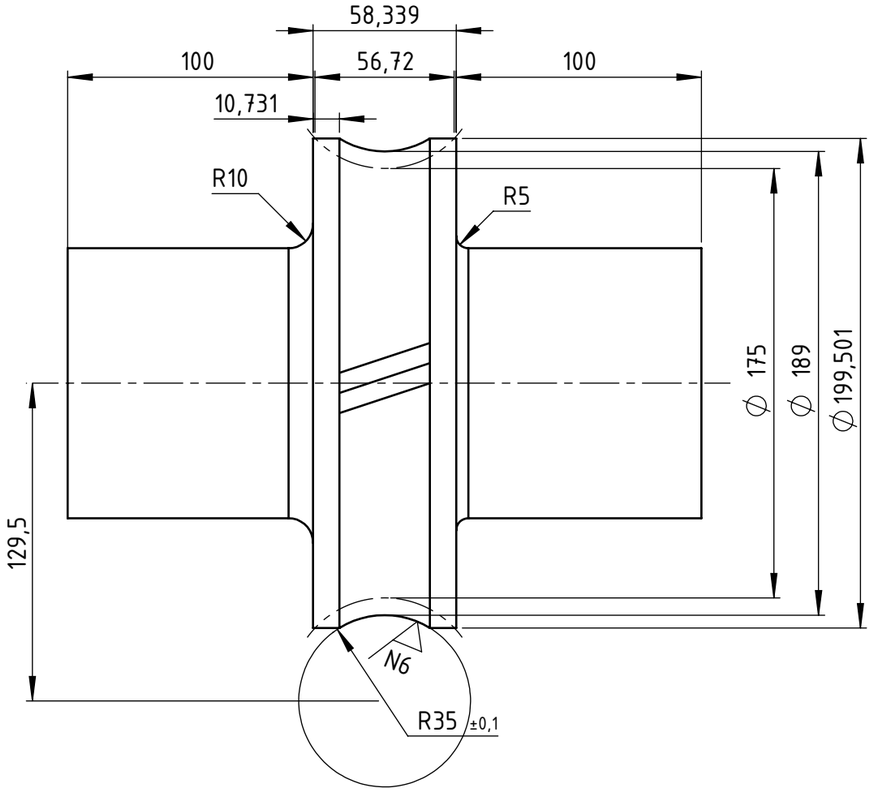
PZA 12-01-02






SECCIÓN A-A




| DATOS | |
|---|---|
| MÓDULO NORMAL | 7 |
| N° DIENTES | 25 |
| ÁNG. HÉLICE | 20° |
| SENTIDO HÉLICE | IZQ. |

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CORONA | Bronce C90700 | 1 | 20.35kg |

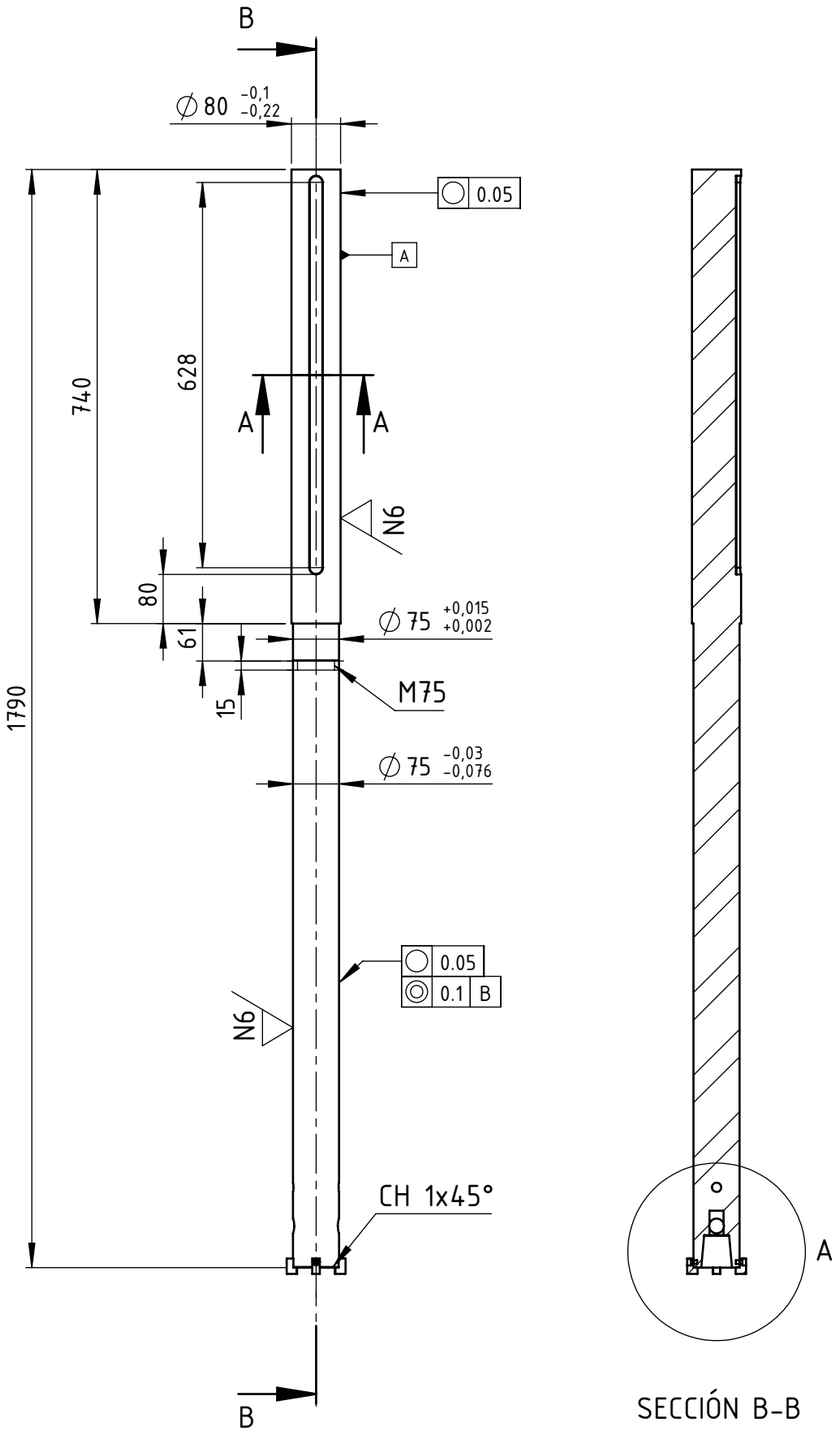
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN
CORONA

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 30/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL 1:2.5

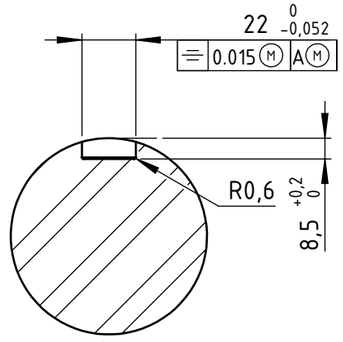
PZA 12-01-03



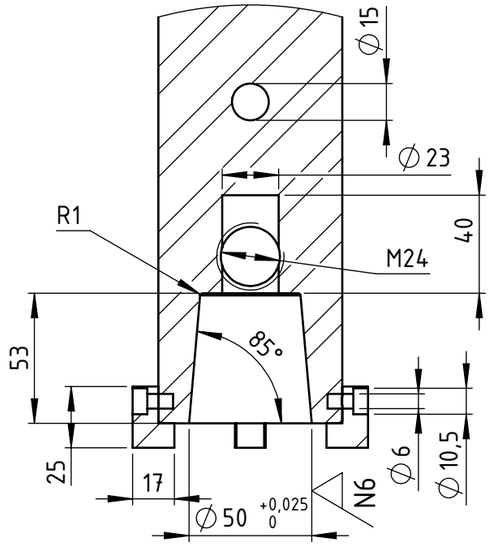




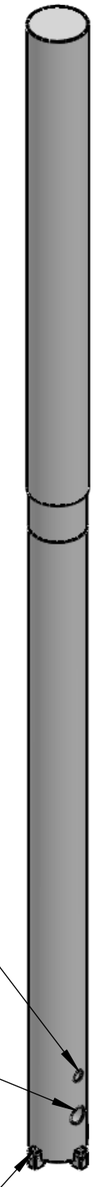
SECCIÓN B-B




SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5




DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5



AGUJERO PASADOR PARA PERNO PASANTE EN OBTURADO

AGUJERO ROSCADO PARA COLOCACIÓN DE TORNILLO Y RESORTE PARA TRABAR PORTAHERRAMIENTAS

4 TRABADORES PARA PORTAHERRAMIENTAS - TRANSMISORES DE TORQUE DE PERFORADO

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45° - R1
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 / ( N6 / )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | EJE PRINCIPAL | SAE 4140 OQT 1000 | 1 | 64.94kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

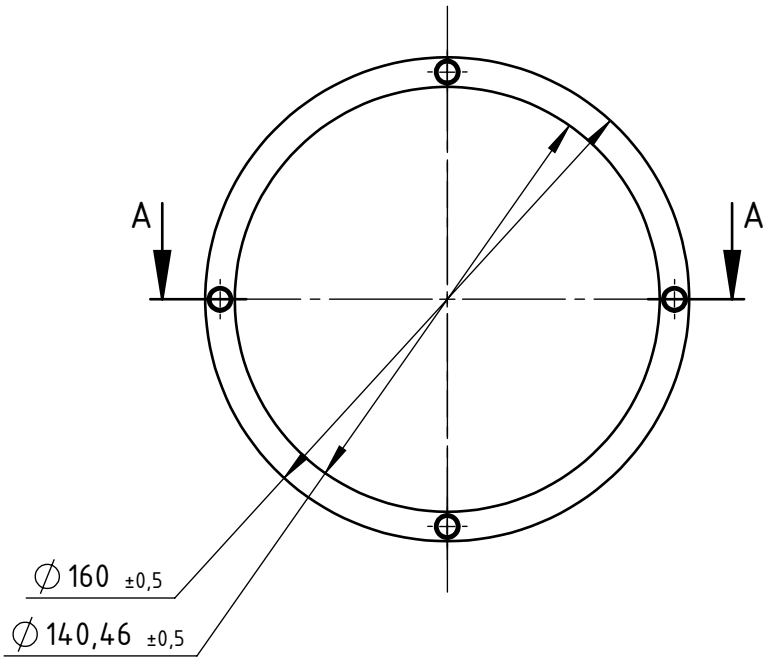
DENOMINACIÓN
EJE PRINCIPAL

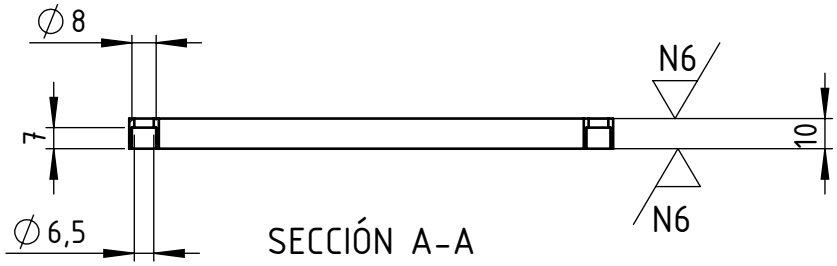
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 30/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL 1:10

PZA 12-01-04

[mm]




SECCIÓN A-A

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45°
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 ( N6 )

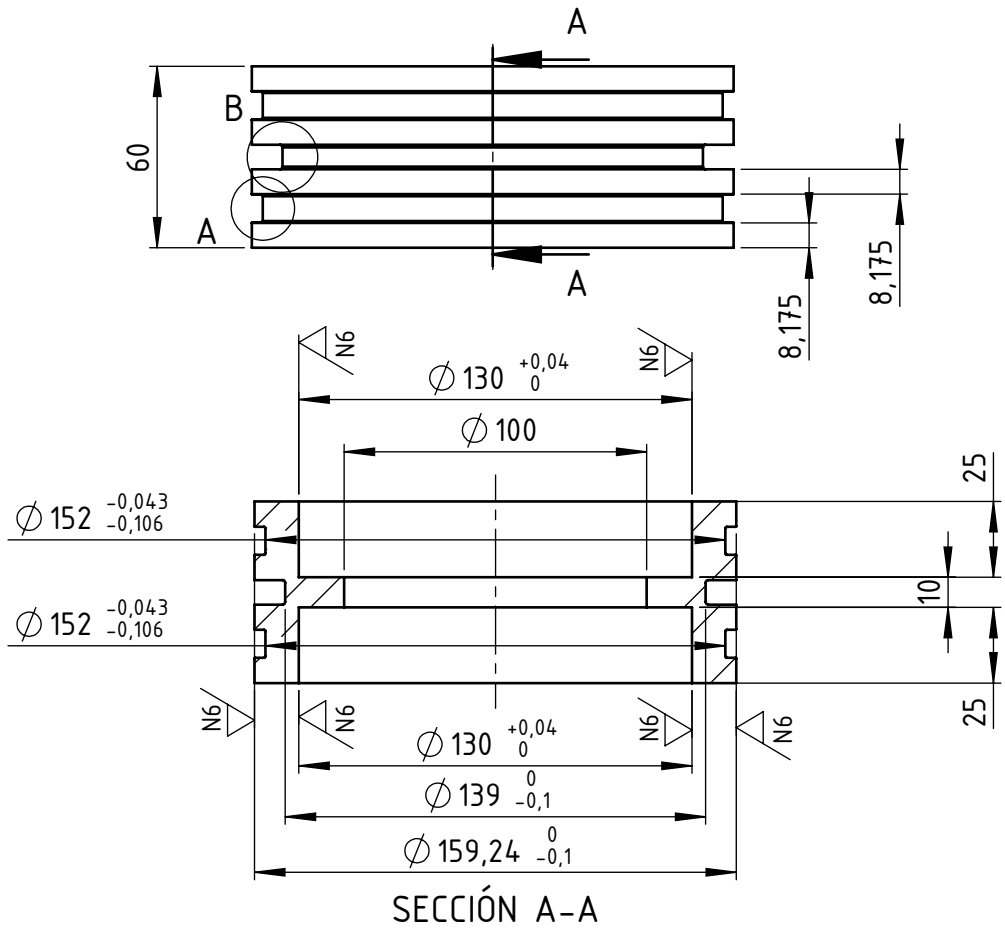
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | BRONCE CONTACTO CORONA | Bronce C90500 | 1 | 0.39kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

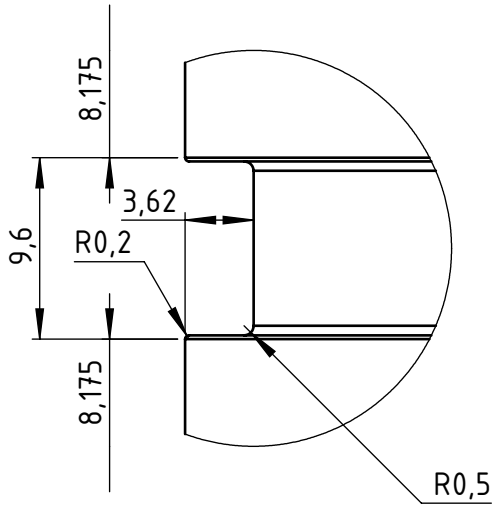
DENOMINACIÓN
BRONCE CONTACTO CORONA

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL | | PZA 12-01-05 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 25/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:2.5 | | |
| APROBO | | | | | | |

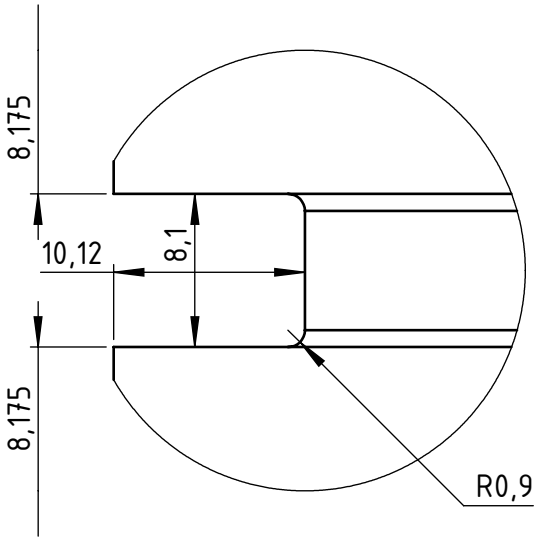
[mm]




SECCIÓN A-A




DETALLE A
ESCALA 2.5 : 1




DETALLE B
ESCALA 2.5 : 1

CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45°
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

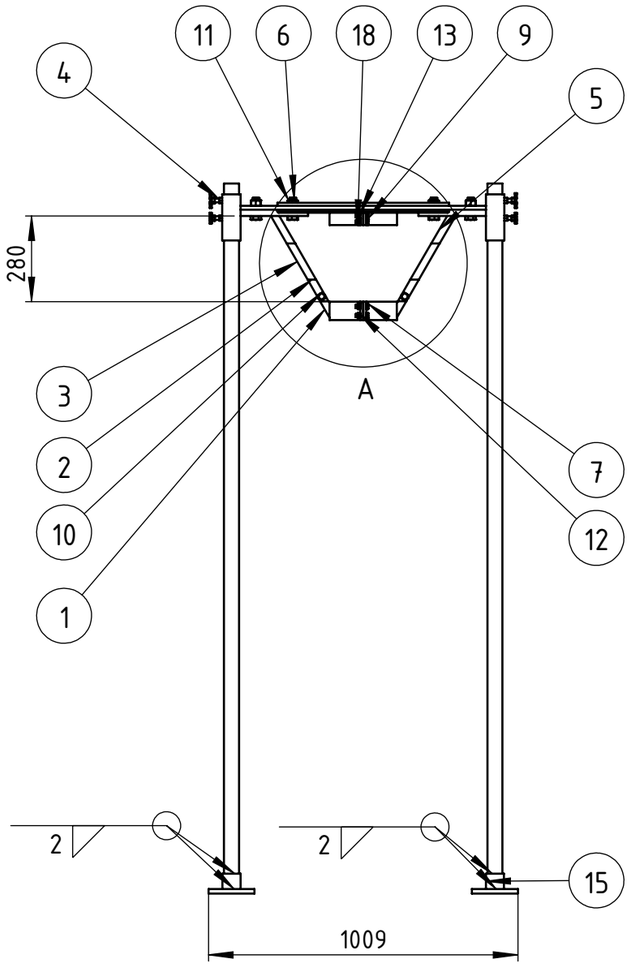
N9 ( N6 )

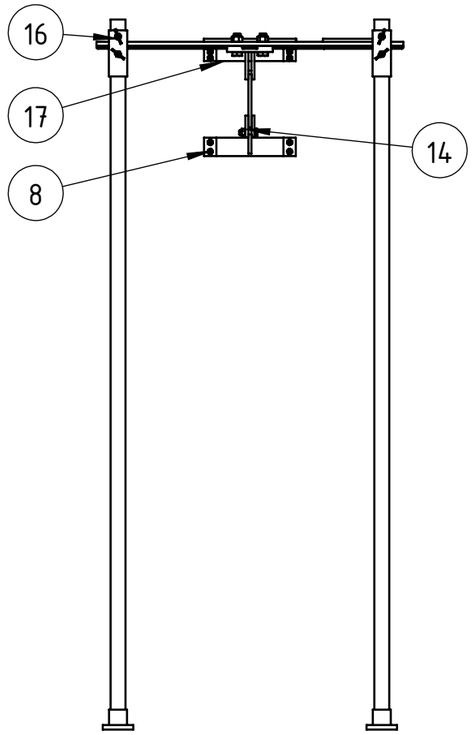
| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ÉMBOLO | Acero F-1140 | 1 | 3.02kg |

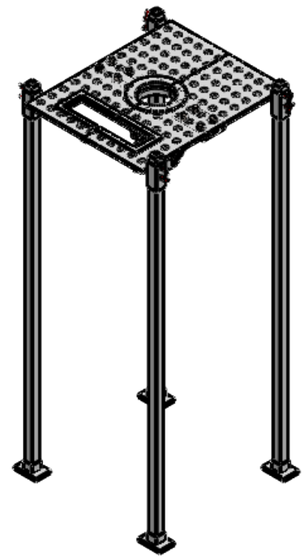
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

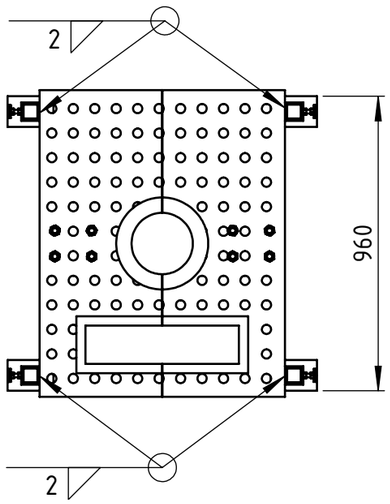
DENOMINACIÓN
ÉMBOLO

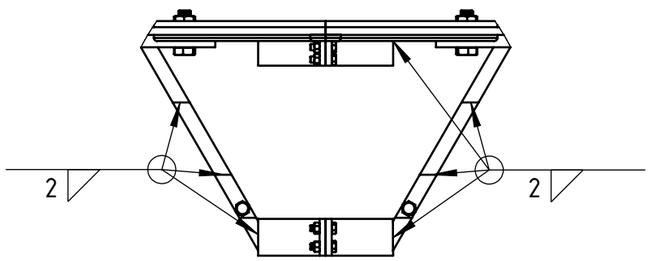
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS | ESCALA GENERAL | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DIBUJO | 25/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías | 1:2.5 | | PZA 12-01-06 |
| APROBO | | | | | | |






DETALLE A
ESCALA 1 : 10

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768
MATERIAL GENERAL: ACERO SAE 1010

| N° | DESIGNACIÓN | PESO (Kg) | CANTIDAD |
|---|---|---|---|
| 18 | Tuerca Hexagonal M10 x 1.5 | | 1 |
| 17 | 05.10.10 - Soporte Plataforma | 1.28 | 2 |
| 16 | 05.10.09 - Perno a Anclaje | 0.06 | 8 |
| 15 | 05.10.08 - Anclaje | 9.15 | 4 |
| 14 | Tuerca Hexagonal M14 | | 2 |
| 13 | Tuerca Hexagonal M10 | | 3 |
| 12 | Tuerca Hexagonal M10 | | 4 |
| 11 | Tuerca Hexagonal M20 | | 8 |
| 10 | Torrnillo Hexagonal M14x50 | | 2 |
| 9 | Tornillo cabeza hexagonal M10 x 35 | | 4 |
| 8 | Tornillo Hexagonal M10 x 35 | | 2 |
| 7 | Tornillo Hexagonal M10x35 | | 2 |
| 6 | Tornillo Hexagonal M20x60 | | 8 |
| 5 | 05.10.04 - Plaqueta a la plataforma | 0.20 | 4 |
| 4 | 05.10.05 - Plataforma | 94.64 | 1 |
| 3 | 05.10.03 - Caño | 0.38 | 2 |
| 2 | 05.10.02 - Plaqueta | 0.14 | 4 |
| 1 | 05.10.01 - Sujeción | 2.04 | 2 |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

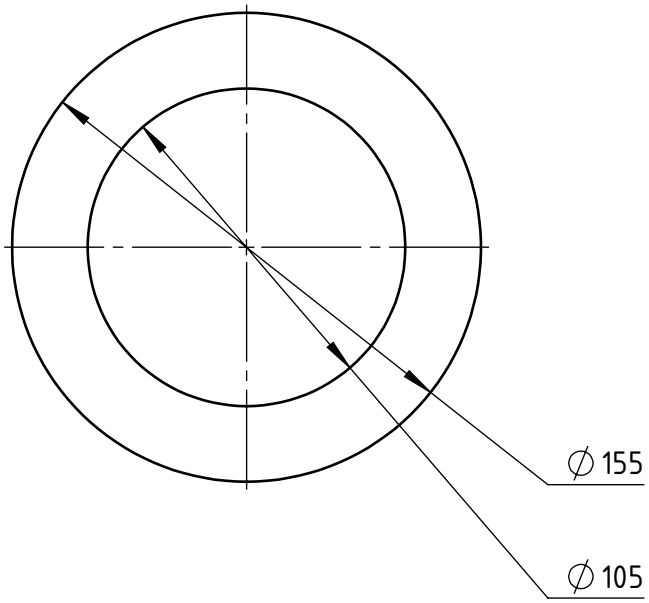
DENOMINACIÓN
PLATAFORMA COMPENSADORA

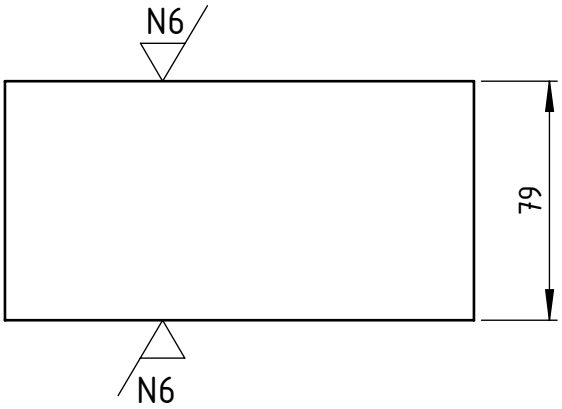
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 30/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL
1:20

PZA 12-01-07

[mm]




CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45°
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 / (N6)

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | TOPE HIDRÁULICO INFERIOR | AISI 431 | 1 | 6.45kg |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

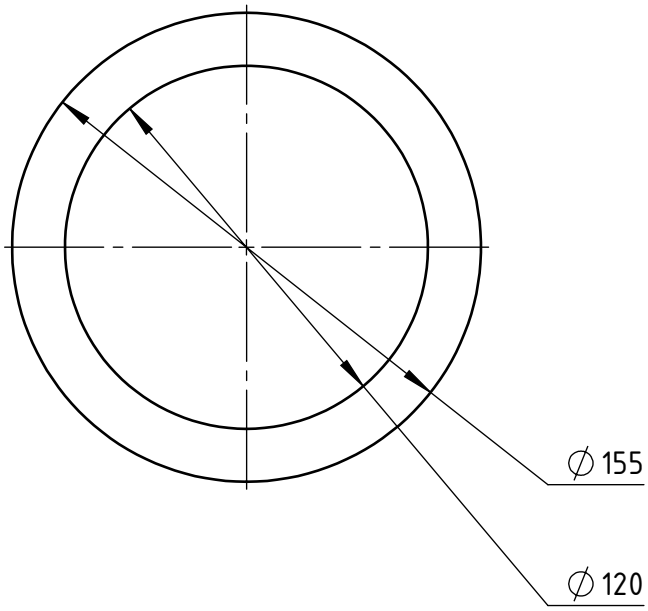
DENOMINACIÓN
TOPE HIDRÁULICO INFERIOR

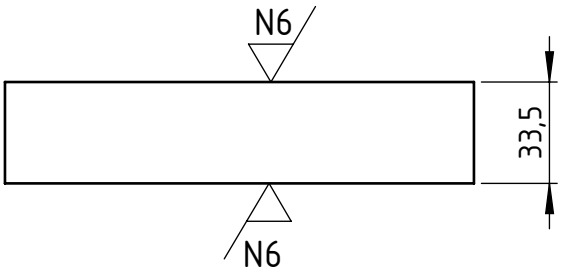
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 20/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL
1:2.5

PZA 12-01-08

[mm]




CHAFLANES Y RADIOS NO ACOTADOS: 1x45°
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

N9 / ( N6 )

| POS. | DENOMINACION | MATERIAL | CANT. | PESO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | TOPE HIDRÁULICO SUPERIOR | AISI 431 | 1 | 2.03kg |

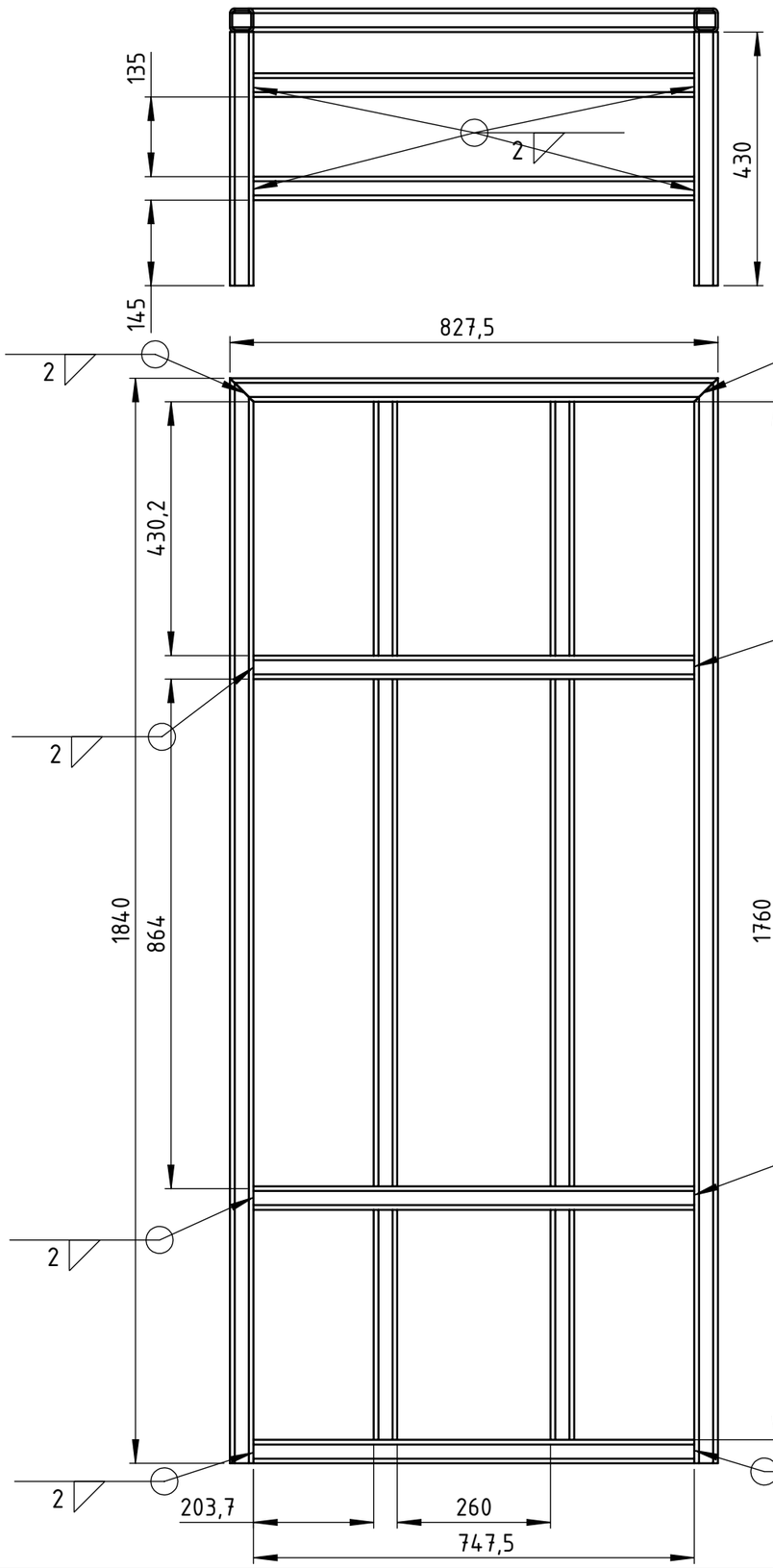
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

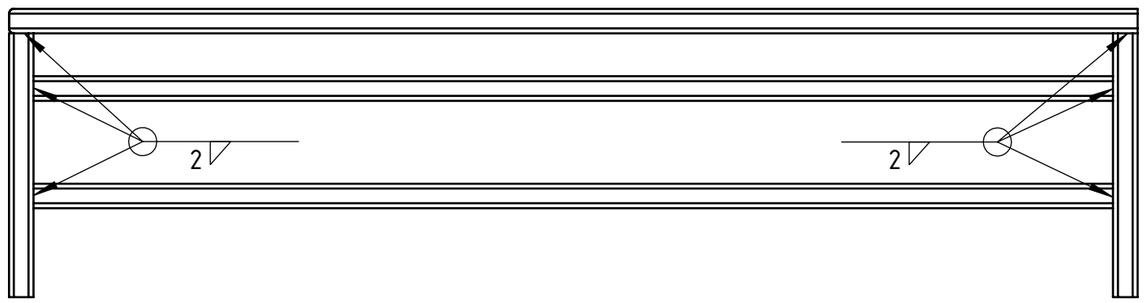
DENOMINACIÓN
TOPE HIDRÁULICO SUPERIOR

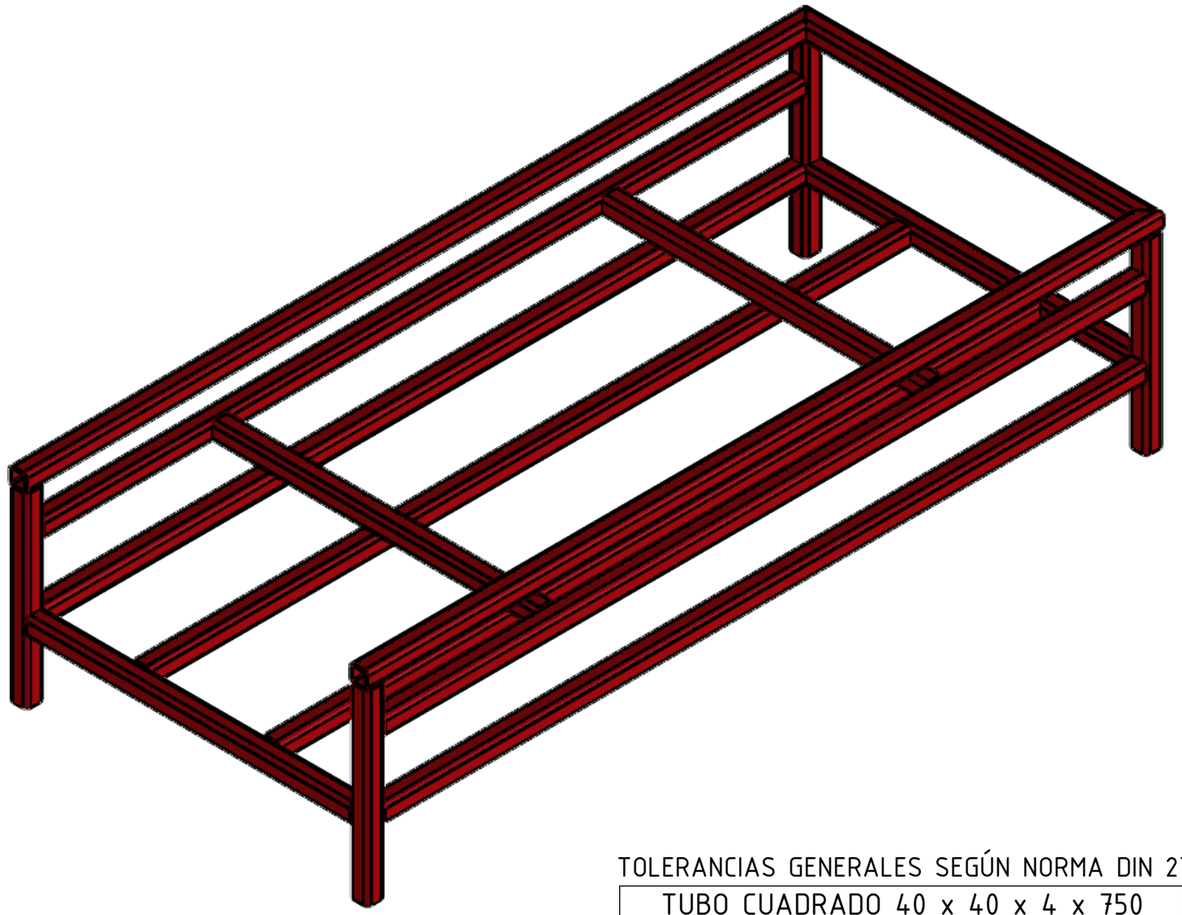
| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 20/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL
1:2.5

PZA 12-01-09



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN NORMA DIN 2768

| DESCRIPTION | CANTIDAD |
|---|---|
| TUBO CUADRADO 40 x 40 x 4 x 750 | 4 |
| TUBO CUADRADO 40 x 40 x 4 x 830 | 1 |
| TUBO CUADRADO 40 x 40 x 4 x 430 | 4 |
| TUBO CUADRADO 40 x 40 x 4 x 1840 | 2 |
| TUBO CUADRADO 40 x 40 x 4 x 1760 | 6 |

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN
# ESTRUCTURA DE APOYO

| | FECHA | FIRMA | NOMBRES Y LEGAJOS |
|---|---|---|---|
| DIBUJO | 25/3/2025 | | C-7003/3 - Coronel Alexia<br>G-5662/6 - García Matías |
| APROBO | | | |

ESCALA GENERAL 1:10

PZA 12-01-10