

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería en Tecnologías Industriales

Diseño de máquina cortadora de discos de chapa

Autor: Julio Darío de la Rosa Asencio

Tutora: Aida Estévez Urra

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería en Tecnologías Industriales

Diseño de máquina cortadora de discos de chapa

Autor:

Julio Darío de la Rosa Asencio

Tutora:

Aida Estévez Urra

Profesora titular

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Grado: Diseño de máquina cortadora de discos de chapa

Autor: Julio Darío de la Rosa Asencio

Tutora: Aida Estévez Urrea

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2017

Agradecimientos

Agradecer a mi madre y a mi padre todo lo que han hecho, hacen, y harán por mí. Por la educación que he recibido y todos los valores, que considero mi herencia más preciada. Por todas las enseñanzas que no se enseñan en ningún libro.

Agradecer a mi hermana y a mi hermano el hacer que me diera cuenta de que los problemas que veíamos como océanos insuperables, al crecer se vuelven charcos a nuestros pies; y por sacar esa parte de niño que hay en mí. Gracias por enseñarme que la familia va más allá de la sangre.

Gracias, profesores y profesoras por tan valiosa tarea como es inculcar valores y conocimientos a todos sus alumnos. En concreto gracias a mi tutora de este trabajo, Aida, por su paciencia y enseñanzas, así como al maestro de taller de la E.T.S.I. Manuel, y a mi compañero de trabajo Carlos.

Gracias a ella.

Gracias a la música y al deporte.

Gracias a mis amigos más cercanos, hermanos de otra familia, y gracias a todo aquel que, directa o indirectamente, me ha enseñado algo, así como a todos los errores que he cometido que no han sido más que enseñanzas.

Julio Darío de la Rosa Asencio

Sevilla, 2017

Resumen

Este documento se centrará en el análisis y diseño para posterior construcción de la estructura de fijación y soporte del mecanismo de corte, de una máquina de corte de chapa por cizalladura, que cortará chapas de metal de distinto diámetro, que será regulable, en forma circular. Se tratará en este trabajo la deformación plástica en chapa, así como las características del diseño a tratar. La parte de la máquina encargada del corte se encuentra en el "*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*", por Carlos Daza Pelegrina [21]. El análisis y el diseño completo de la máquina se realizará en conjunto con este documento. Las medidas del mecanismo de corte estarán ya definidas, pero se realizará un proceso de rediseño posterior si fuese necesario, así como las medidas del resto del diseño de la máquina. Este trabajo tratará con profundidad la parte de la fijación, el ajuste del diámetro a cortar, el apoyo del sistema de corte, la estructura y el apoyo de la máquina a la superficie donde se vaya a situar.

Se incluye un diseño pensado, por su simplicidad, para la construcción del mismo con recursos y medios limitados. Las medidas serán proporcionales al tamaño de la máquina, y se dará un diseño estándar de la misma para el corte de chapas correspondiente a las medidas que serán necesarias obtener, siendo la máquina escalable pudiendo ampliarse su rango de trabajo si se aumentase o disminuyese su tamaño.

Abstract

This work will focus on the analysis and the design of the elements from the structure, the anchorage and the holding mechanism for the cutting process of metal sheets in a circular shape, with different diameters that will be possible to regulate; in order to have the possibility of building it in any moment on the future. This document will include the necessary information about the plastic deformation in steel sheets to face the design, as well as its characteristics. The cutting parts of the machine are located in "*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*", por Carlos Daza Pelegrina [21], and the complete analysis and design of this machine will be done along with this document. The measures of the cutting mechanism will be given, same as the desired diameters for the steel sheets, but a redesign could be done if necessary in order to complete the rest of the machine's design. This document will include full details about the sheet-fixing part, the adjustment of the diameter to be cutted, the holding system for the cutting mechanism, the structure and the anchorage.

For its simplicity, this design is though for the construction of the machine with limited resources. The measurements will be proportional to the size of the machine, since we will give a standard design of the same for the machining of sheets corresponding to the measures that have been entrusted to us.

Índice

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice	13
1 Introducción	1
1.1 <i>Antecedentes</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	1
1.3 <i>Tareas a desarrollar</i>	2
2 Deformación plástica en chapas	3
2.1 <i>Procesos</i>	5
2.2 <i>Corte</i>	11
3 Diseño	18
3.1 <i>Diseños similares</i>	18
3.2 <i>Cuchillas</i>	20
3.2.1 <i>Material</i>	21
3.2.2 <i>Diámetros</i>	21
3.2.3 <i>Espesor</i>	21
3.3 <i>Mecanismo de corte</i>	21
3.4 <i>Características de la estructura: tamaño, forma, material y rigidez</i>	23
3.5 <i>Estructura</i>	25
3.6 <i>Mecanismo de fijación y apriete de la chapa</i>	27
3.7 <i>Estructura de soporte para ejes de corte</i>	46
3.8 <i>Mecanismo de ajuste del diámetro a cortar</i>	49
3.9 <i>Base y apoyos</i>	57
4 Fabricación y montaje	59
4.1 <i>Estructura</i>	61
4.2 <i>Mecanismo de fijación y apriete de la chapa</i>	62
4.3 <i>Estructura de soporte para ejes de corte</i>	65
4.4 <i>Mecanismo de ajuste del diámetro a cortar</i>	66
4.5 <i>Base y apoyos</i>	67
5 Trabajos futuros	69
6 Conclusiones	71
7 Planos	73
8 Bibliografía	75

1 INTRODUCCIÓN

El conformado manual de metales ha formado parte de la evolución del ser humano desde hace cientos de años, desde los procesos de forja más precarios en la antigüedad hasta los procesos altamente tecnológicos y novedosos actuales. La deformación plástica aplicada a los metales es la encargada de modificar su forma a la requerida para realizar una tarea determinada o formar parte de un conjunto de piezas que conformen una estructura o máquina.

Los procesos manuales, entre los que se encuentra el cizallado, proceso del que tratará este documento, fueron muy populares desde sus orígenes y lo siguen siendo a día de hoy, gracias a su paso a automáticos o semi-automáticos y a la incorporación de mecanismos que, aun siendo procesos manuales, disminuyen enormemente la fuerza humana necesaria en favor de sistemas que aprovechan el conocimiento físico que se posee actualmente sobre los materiales y los procesos.

Concretamente el cizallado se realiza enfrentando una lámina o chapa a dos bordes cortantes tal y como se describirá posteriormente en el apartado 2. Existen distintos tipos de cizallas, entre los que se encuentran las circulares, que son las que se emplearán en este diseño.

1.1 Antecedentes

Debido a la necesidad de embutir chapas circulares ya sea para ensayar o para fines académicos en el taller de la universidad, surge la necesidad de diseñar y fabricar una máquina que desempeñe tal función, pues actualmente, los acabados que se obtienen al recortar chapas con tijeras de cizallar no son lo suficientemente buenos.

Actualmente en la Escuela Superior de Ingenieros perteneciente a la Universidad de Sevilla, existe un **grupo de investigación de deformación plástica** que se encarga de hacer procesos para investigar las deformaciones plástica en distintos materiales, incluido los metales, y dado que no disponen de ninguna máquina que realice el proceso de corte de chapa en forma circular, nace la necesidad de crear una para que ayude a dicho grupo de investigación a realizar dicha tarea, ya que en dicho grupo cortan planchas en forma de disco, pero no se dispone de medios para cortarla.

El presente trabajo, por lo tanto, se desarrolla asociado al grupo de trabajo de **Ingeniería de Fabricación** donde se investiga y se hacen trabajos de conformado de chapa.

La máquina que aquí se diseñará y se explicará prestará ayuda a este tipo de trabajo.

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar una máquina de corte de chapas metálicas por cizalladura, tal que se puedan obtener discos de diámetro variable y regulable por el operario. Se decidirán y definirán todos los parámetros y características de la máquina, desde su tipo, su forma, sus medidas, todas sus piezas y su composición, así como las medidas de la pieza, **a excepción del corte y sus valores**, que nos serán dados.

1.3 Tareas a desarrollar

Primero se hará un estudio del tipo de máquinas que existan en el mercado para ejercer la misma tarea o similares, después se analizarán dichas máquinas y se estudiará el modelo a seguir para la que se tratará en este documento, ya sea seguir la misma estructura de las ya existentes o realizar un nuevo diseño.

Se tratarán aspectos teóricos referidos a chapas metálicas, plasticidad en chapas, teoría de corte por cizalladura y propiedades de los materiales a cortar y empleados en la máquina.

Tras ello se realiza un diseño inicial para la máquina, tras el cual, se irán haciendo modificaciones dependiendo de las especificaciones que nos sean encargadas y de los recursos disponibles, ya que se tendrá en cuenta también, su futura construcción.

Cálculo de las fuerzas necesarias para definir el tamaño de las piezas. Las características del corte y las cuchillas serán datos, pero sí se calcularán las fuerzas transmitidas para diseñar una base y una estructura que aguante la carga de trabajo.

Se explicará el funcionamiento de la máquina, así como todas las funciones de las que disponga.

Después de realizar todas las modificaciones hasta quedarnos con un modelo final, con todas sus piezas definidas, se lleva a cabo la definición de todas las piezas, con sus planos correspondientes.

2 DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN CHAPAS

Según ‘*Manufacturing Engineering and Technology, Kalpakjian, 1992*’ [1], se conoce como deformación, al cambio de forma que sufre un material al verse sometida a cargas externas, ya sean fuerzas, momentos o temperatura.

Al recibir una carga externa, primero se produce en el material una **deformación elástica**, o lo que es lo mismo, una deformación tras la cual, el material vuelve a su forma original una vez que se retiran las cargas. Si dichas cargas se incrementan lo suficiente, la estructura cristalina sufrirá una **deformación plástica**, es decir, una deformación permanente.

Las deformaciones plásticas pueden producirse por el deslizamiento de un plano de átomos sobre otro adyacente ante un esfuerzo de cizalladura, es decir, un esfuerzo cortante relativo entre los planos (el esfuerzo sobre el material global puede ser cualquiera). Debe haber un cortante lo suficientemente grande como para producir deformación plástica. También puede producirse deformación plástica al doblarse un plano cristalino por un plano tal que la estructura cristalina forme un reflejo de la misma según ese plano.

Atendiendo al contenido de ‘*Introducción a los procesos de manufactura, Groover, 2011*’ [2], para conocer mejor la **relación esfuerzo-deformación** hay que definir el **módulo de elasticidad E** de un material, que se mide en Pascales [Pa], que es la medida de la rigidez inherente de un material, se trata de una constante de proporcionalidad para cada material que relaciona, mediante la **Ley de Hooke**, el **esfuerzo ingenieril**¹ con la **deformación ingenieril**² de la forma $s = E \cdot e$ (siendo ‘s’ el esfuerzo ingenieril y ‘e’ la deformación ingenieril). El módulo de elasticidad será la pendiente de la recta que defina la zona elástica de deformación de un material en la **curva tensión-deformación**, que proviene de la realización del conocido **ensayo de tracción**, donde se ensayan probetas para examinar su comportamiento y la relación entre las tensiones aplicadas y la deformación sufrida.

La curva tensión-deformación es similar para todos los materiales; véase en la figura 2.1 la curva de este tipo para los aceros:

1: Se conoce como esfuerzo ingenieril al esfuerzo que mide, en el ensayo de tracción, su valor respecto al área original, sin deformar, antes de realizarse dicho ensayo. Está definido, por tanto, como la fuerza entre el área inicial, es decir:

$$s = F/A_0$$

2: La deformación ingenieril se evalúa comparando el incremento de longitud de la probeta ensayada respecto a su longitud inicial, es decir, se define como:

$$e = (l - l_0)/l_0$$

{Módulo de elasticidad E para aceros = $209 \cdot 10^3$ MPa}

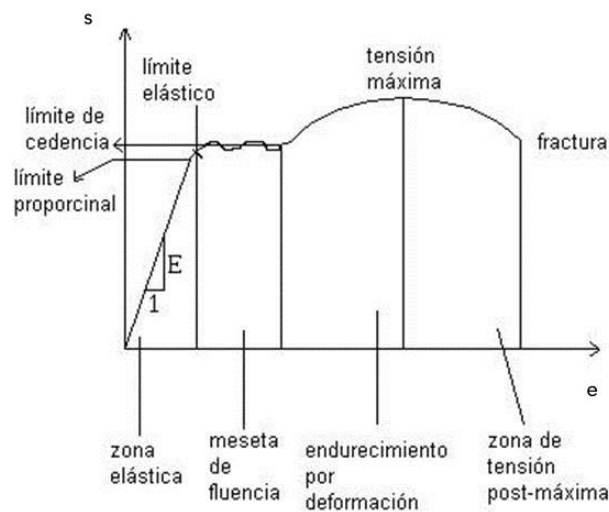


Figura 2.1 Gráfica esfuerzo ingenieril – deformación ingenieril

Se puede observar que conforme se aumenta el esfuerzo, se alcanza un punto final en la relación lineal en el que el material comienza a ceder. Dicho punto se conoce como **límite de cedencia o límite elástico**, y es aquel en el que el material comienza la transición hacia la región de deformación plástica.

Sin embargo, las tensiones reales, así como las deformaciones reales en el material, no coinciden con las ingenieriles. A diferencia de las magnitudes ingenieriles, que se miden a partir de las medidas iniciales de la probeta a ensayar en el ensayo de tracción, pueden definirse las reales como:

$$\sigma = \text{Tensión real} = s \cdot (1 + e)$$

$$\varepsilon = \text{Deformación real} = \ln(1 + e)$$

Como se puede comprobar en la figura anterior, se conoce a la zona de la región plástica en la que no se ha llegado aún a la tensión máxima como zona de endurecimiento por deformación. El **endurecimiento por deformación** es el endurecimiento del material debido a las deformaciones sufridas por el mismo, y se define como el aumento del esfuerzo cortante que se necesita para producir el deslizamiento en el material, y por consiguiente, su deformación. Dicha relación es empleada en la caracterización de metales de la manera:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n$$

Siendo:

$K \rightarrow$ Coeficiente de resistencia [MPa]

$n \rightarrow$ Exponente de endurecimiento por deformación del material

Dicha característica es de vital importancia en los procesos de conformado por deformación plástica en frío.

2.1 Procesos

Dentro de los procesos de manufactura de los materiales (en el caso a tratar, de metales), existe una gran diversidad de tipos, como se puede observar a continuación en la figura 2.2, obtenida del libro de *'Introducción a los procesos de manufactura, Groover, 2011'* [2]:

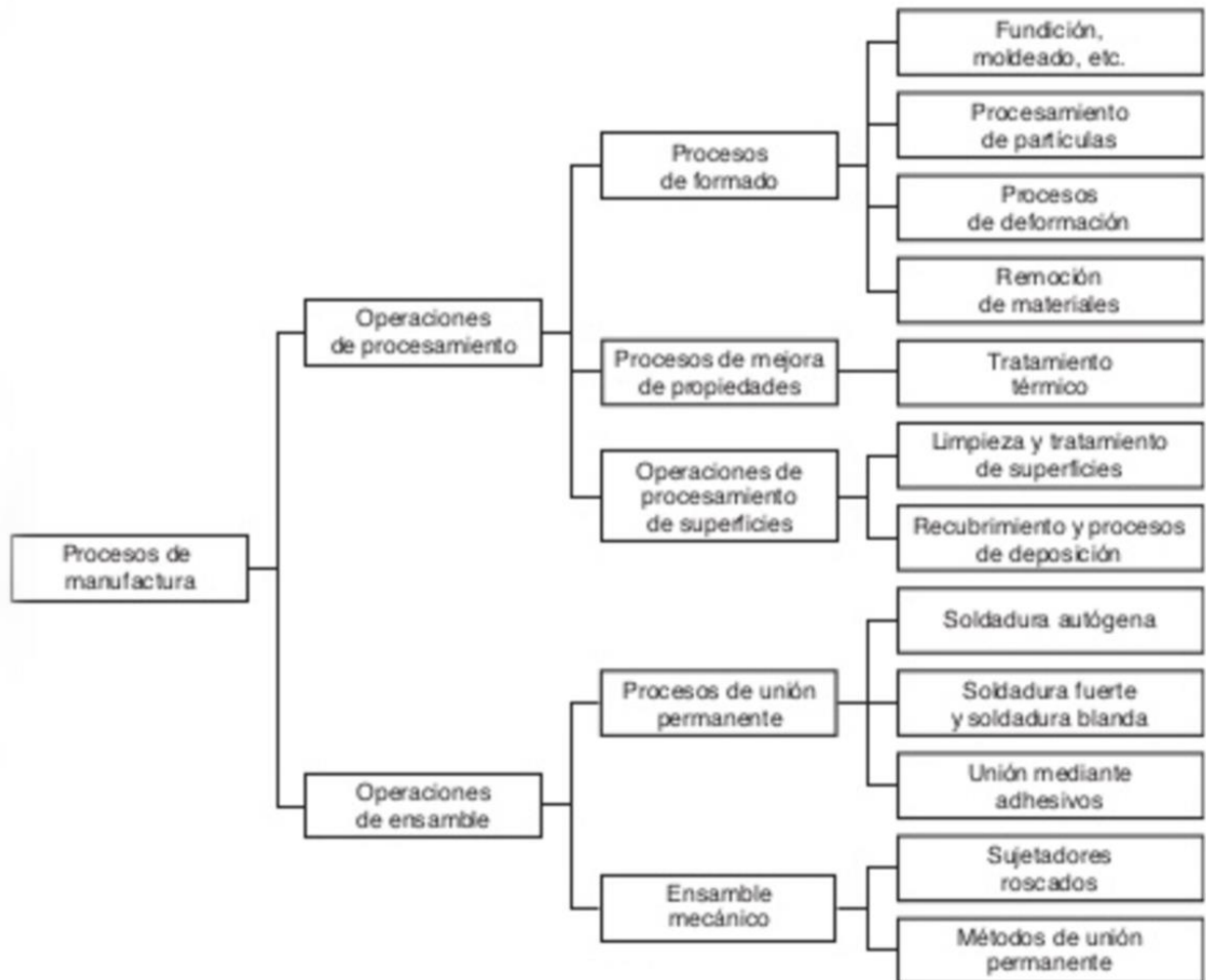


Figura 2.2 Procesos de manufactura

Entrando en los procesos de conformado por deformación, se distinguen dos grandes tipos de conformado plástico, como se puede ver en la figura 2.3:



Figura 2.3 Tipos de procesos de conformado

(<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/procesos-de-conformado/>) [3]

Respecto a la figura 2.3 representada anteriormente, el primer tipo de operaciones está caracterizado por deformaciones localizadas en la pieza, y se realiza en frío mientras que el segundo tipo, en el que se deforma la pieza completa o en su gran totalidad, se realiza normalmente en caliente.

El motivo por el que se realizan las operaciones en frío o caliente se debe a que las propiedades del material dependen de la temperatura:

Aumento de **temperatura** → Disminución del **límite de fluencia** y aumento de la **ductilidad**.

Al hablar de chapas metálicas, los procesos realizados en las mismas se ejecutan en frío, por lo que los efectos de la temperatura serán despreciables, centrándonos únicamente en el endurecimiento por deformación en la zona plástica.

El conformado en frío, está caracterizado por las siguientes características:

- Características favorables:
 - Mejor precisión, o lo que es lo mismo, mejores tolerancias.
 - Mejor acabado superficial.
 - Debido al endurecimiento por deformación, incrementa la dureza y la resistencia de la pieza obtenida.
 - El flujo de granos durante la deformación, hace posible obtener propiedades direccionales en el material que sean favorables en la pieza obtenida.
 - Procesos más baratos al no tener que invertir en hornos y/o combustibles.

- Características desfavorables:
 - Se requiere una mayor potencia en las operaciones debido a la menor ductilidad del material.
 - La ductilidad y el endurecimiento por deformación que sufre el material limitan la cantidad de deformación que puede sufrir el metal.
 - Hay que asegurar que la pieza inicial esté limpia y carezca de incrustaciones.

Conformado de chapa: realizado generalmente en frío, consiste en deformar plásticamente la chapa para que adopte la forma deseada, mediante diferentes tipos de conformado. Las ventajas que presenta el conformado de chapa es que el resultado se caracteriza por una buena resistencia mecánica, una calidad y precisión estable, así como una alta relación resistencia/peso. La deformación producida en el material es realizada en una zona muy localizada del material, mientras que el resto de la pieza está sin deformar o presenta únicamente deformaciones elásticas. Estos tipos de procesos tienen una alta productividad, y presentan posibilidad de empleo en métodos sencillos y efectivos de mecanización y automatización.

- Corte de chapa: Es el tipo de conformado que será tratado en el apartado 2.2.
- Doblado de chapa: Es el proceso de conformado en el que una chapa metálica es sometida a un esfuerzo de flexión sobre un eje perteneciente a la misma, obteniendo una deformación permanente en forma de doblez. Para ello suele colocarse la chapa sobre una matriz con la forma resultante deseada y ésta es empujada con un punzón que hace contacto a lo largo del eje por el que se quiera doblar, como se muestra en la figura 2.4. Las fibras externas al doblez se alargan mientras que las internas se acortan, por lo tanto, tenemos respectivamente en la chapa una zona de tracción, seguida de un eje neutro, y una zona de compresión, véase figura 2.5. El eje neutro coincide con la línea media mientras el doblado no sea severo, en caso contrario tiende a acercarse a la cara interna de la chapa. Este método de conformado puede generar grietas sobre la cara externa de la chapa, tal y como se aprecia en la figura 2.6, por lo que habrá que realizar el proceso tras un estudio de las condiciones.

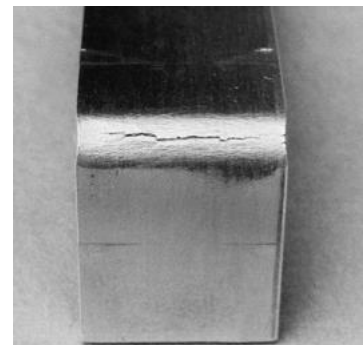
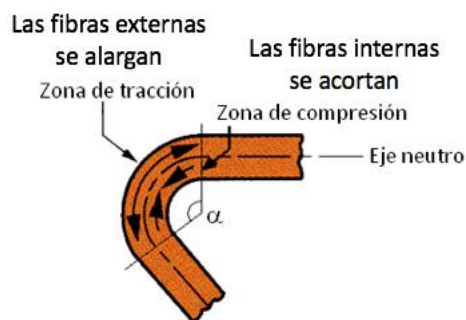
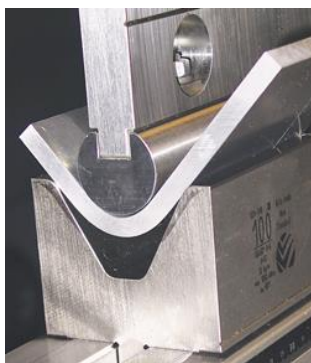


Figura 2.4 Doblado de chapa
(<https://images.google.com/>)

Figura 2.5 Esfuerzos y eje neutro

Figura 2.6 Defectos por un mal doblado
(<https://images.google.com/>)

- Embutición de chapa: Es la operación mediante la cual se obtienen piezas huecas con fondo a partir de una chapa. El proceso consiste en establecer la chapa sobre una matriz con la forma deseada y fijarla con un prensachapas, entonces se aplica presión con un punzón hasta que la chapa coja forma. El punzón y la matriz han de tener bordes redondeados, para que no se produzca el corte de la chapa. Las formas producidas son muy variadas. Hay que tener en cuenta que cada material resiste un grado de deformación determinado, y si se supera, la pieza se rompe. Teniendo en cuenta que el espesor de la chapa es t , en la figura 2.7 puede verse un esquema del proceso de embutición. Los defectos hallados en piezas embutidas son los que se aprecian en la figura 2.8.

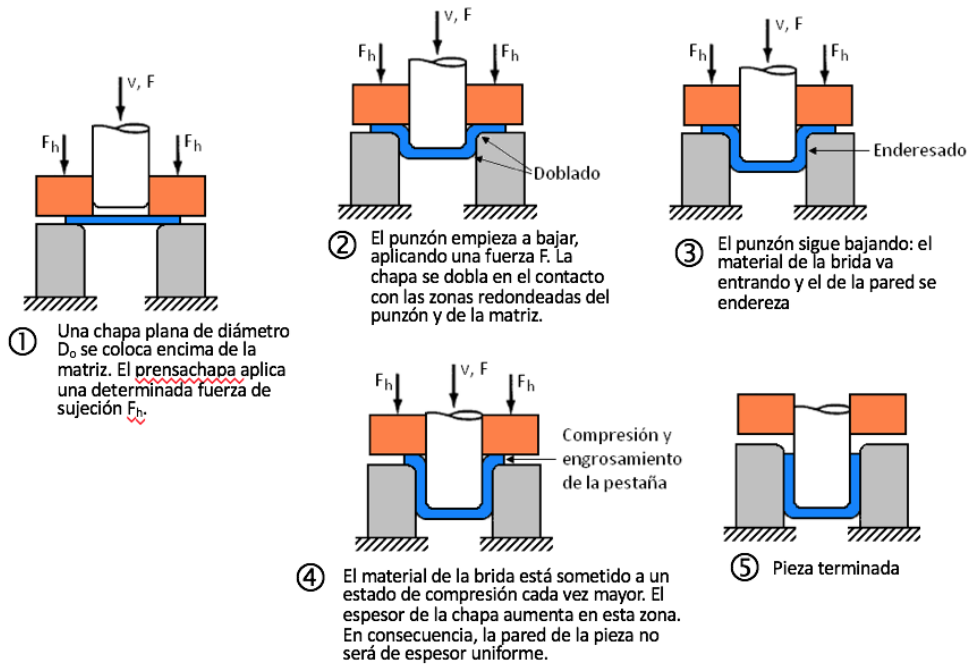


Figura 2.7 Esquema del proceso de embutición

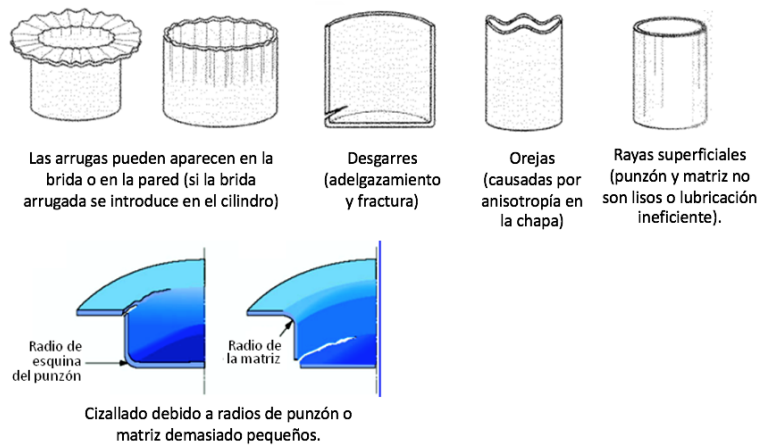


Figura 2.8 Fallos resultantes de un proceso de embutición inadecuado

- Otras operaciones de conformado de chapa:
 - Abombamiento: se coloca una chapa tubular, cónica o curvilínea en dos matrices y se cierran sobre ella, luego se expande la chapa con un tapón de poliuretano que es presionado por un punzón, luego se retira el punzón, el tapón recupera su forma original, y se retira la pieza formada.
 - Estirado de chapa: Los extremos de la chapa se sujetan con mordazas y sobre la chapa actúa una matriz con la forma de la pieza deseada que presiona la chapa hasta que tenga esa forma.
 - Conformado rotativo: Se coloca la chapa girando, sobre un mandril, y se va haciendo presión puntual sobre la chapa para ir pegándola al mandril hasta que coge su forma.
 - Empleo de elementos flexibles en operaciones de conformado ya mencionadas
 - Hidroconformado: Mediante presión efectuada por un fluido contra la chapa, que tendrá un punzón al otro lado, la chapa será empujada contra el punzón hasta que tome su forma.
 - Conformado superplástico: Algunos materiales tienen la capacidad de sufrir una gran elongación uniforme, que es aprovechada para elaborar la pieza deseada (ante la condición de que el régimen de superplasticidad del material no se alcance a temperatura de servicio).
 - Conformado con explosivos: Se usa una carga explosiva para conformar la chapa dentro de la cavidad de una matriz mediante ondas de presión transmitidas por agua, provocadas por la explosión.
 - Conformado por electrodescarga: Similar al conformado por explosivos, pero la onda de presión es producida de la descarga eléctrica entre dos electrodos.

A continuación, se muestran figuras de ejemplo para varios tipos de procesos de conformado de chapas metálicas y algunos ejemplos de piezas obtenidas por distintos procesos de conformado de chapa (figuras 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14) {Denominando 'trabajo' a la chapa a tratar}:

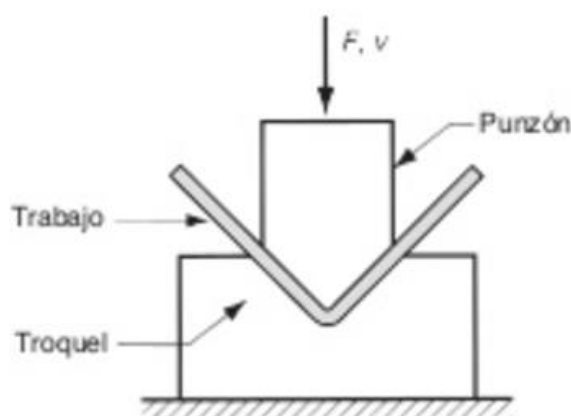


Figura 2.9 Doblado de chapa

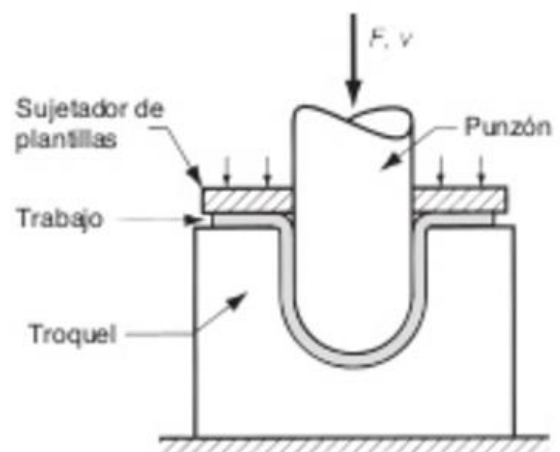


Figura 2.10 Embutición de chapa

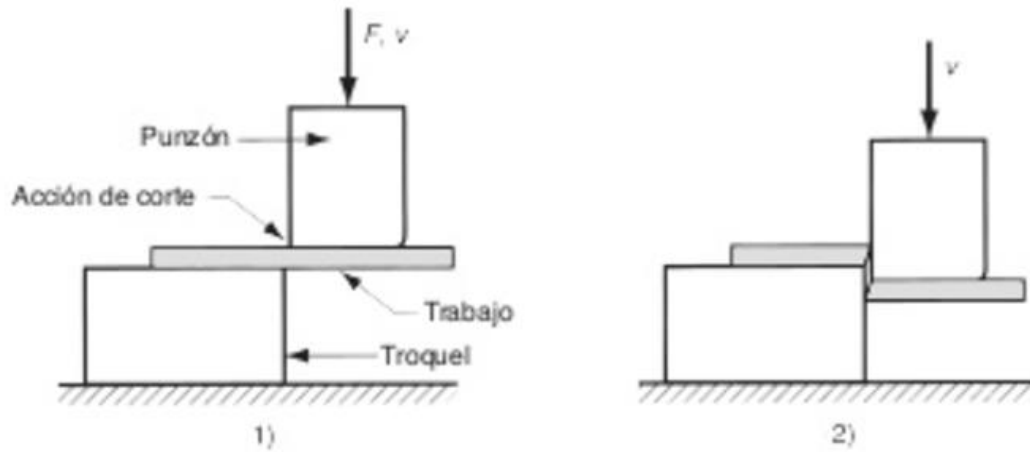


Figura 2.11 Corte por cizallado de chapa (1: Antes, 2: Después)

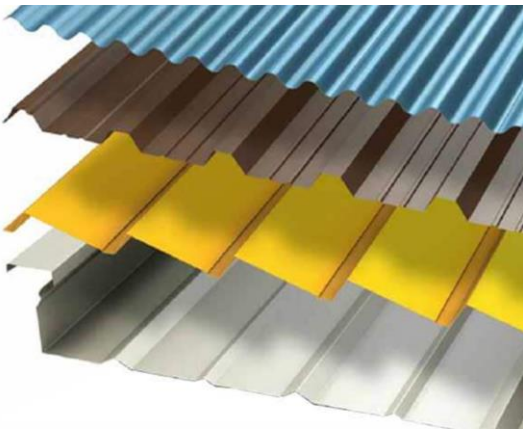


Figura 2.12 Vallas producto del doblado
(<https://images.google.com/>)



Figura 2.13 Distintos recipientes resultado de la embutición
(<https://images.google.com/>)

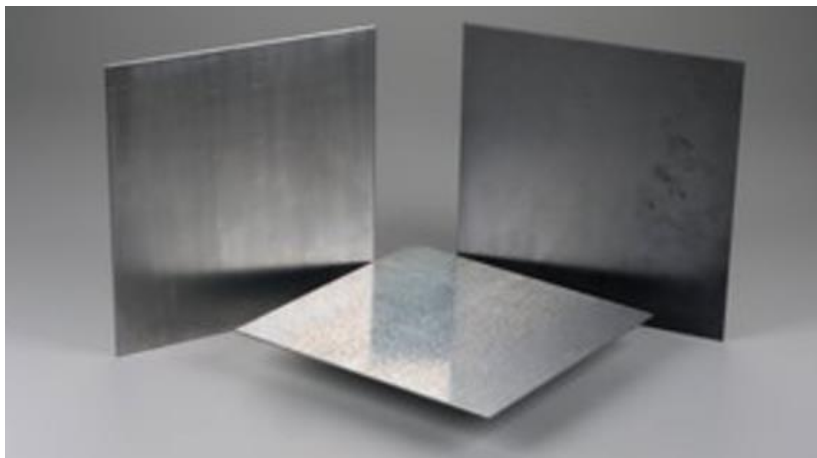


Figura 2.14 Piezas resultantes del corte de chapas metálicas
(<https://images.google.com/>)

Otros ejemplos de productos fabricados de chapas metálicas conformadas pueden ser:

- Carrocerías de automóviles
- Revestimientos de electrodomésticos
- Recipientes para bebidas y conservas
- Fuselajes de naves
- Otros...

2.2 Corte

Dentro de los procesos de conformado podemos distinguir globalmente:

- Procesos de variación de forma del material: En este tipo de procesos se deforma y desplaza una parte del material respecto a otra sin separarlo.
- Procesos de corte de material: En este otro tipo de procesos, que es el que vamos a tratar, se separa parte del material de la pieza total o parcialmente.

Durante el corte de chapa tomaremos como hipótesis que tendremos:

- Deformaciones elásticas \ll Deformaciones plásticas
- Estados tensionales planos (Tensión Plana)

Si denominamos $\beta = \frac{d\varepsilon_2}{d\varepsilon_1}$ es decir, la relación de deformaciones en el plano, tenemos que se trabaja durante el conformado de chapas en un rango de $-2 \leq \beta \leq 1$.

Durante los procesos de conformado de chapa, se pueden apreciar efectos como la **anisotropía**, que se cuantifica a través de dos coeficientes, que definen la **anisotropía normal** \bar{r} , y la **anisotropía en el plano** Δr . Donde r es el cociente entre las deformaciones en el ancho de la pieza y las deformaciones en el espesor de la misma, y se denominan **coeficientes de lankford**. La anisotropía afecta a las propiedades del material final, por lo que habrá que tenerla en cuenta en el proceso de conformado. Se suele definir en 3 direcciones del plano: 0° , 45° y 90° respecto a unos ejes de referencia. A continuación, se muestran en la figura 2.15 las fórmulas y los posibles resultados para las anisotropías.

$r = \frac{r_{0^\circ} + 2 r_{45^\circ} + r_{90^\circ}}{4}$	valor promedio que cuantifica la anisotropía normal
$\Delta r = \frac{r_{0^\circ} - 2 r_{45^\circ} + r_{90^\circ}}{2}$	variación que cuantifica la anisotropía en el plano
Isotropía	→ $r_{0^\circ} = r_{45^\circ} = r_{90^\circ} = 1$
Anisotropía normal	→ $r_{0^\circ} = r_{45^\circ} = r_{90^\circ} \neq 1$
Anisotropía en el plano	→ $r_{0^\circ} \neq r_{45^\circ} \neq r_{90^\circ}$

Figura 2.15 Fórmulas y posibles resultados de la anisotropía

La anisotropía normal **sí** afecta a cómo falla la pieza, influye a la tendencia al fallo de la placa. Los valores de la anisotropía normal pueden ser mayores o menores que 1. En el caso de ser **mayor que 1**, lo que se tiene es una deformación en el plano más elevada y rápida que la deformación en el espesor, por lo que tenemos una resistencia al adelgazamiento, produciéndose una **disminución de la tendencia al fallo por desgarro**.

La anisotropía en el plano **no** afecta a cómo falla la pieza ni acelera el fallo, pero sí afecta a la forma de las deformaciones que se producen. Esta anisotropía no es más que un incremento que compara lo que pasa de 0° a 90° con lo que pasa a 45° según los ejes que hayamos tomado. Ejemplo: En piezas embutidas esta anisotropía provoca la formación de **ojeretas** en la pieza.

Si definimos fallo para la materia de la que estamos tratando, se puede determinar que:

Fallo = Rotura + cualquier evento que inutilice la chapa

Se pueden clasificar los fallos más comunes como:

- **Inestabilidad global:** Se produce cuando la pieza no es capaz de transmitir más carga, produciéndose entonces una deformación global que conduce a la rotura de la pieza. El máximo de la fuerza transmitida/soportada es alcanzado en este tipo de inestabilidad.
- **Inestabilidad localizada:** Es la que se produce por una concentración de deformaciones en una banda muy estrecha (**estricción localizada**, del orden del espesor de la chapa), donde se produce un adelgazamiento del material hasta que se produce el desgarro. Esta inestabilidad aparece cuando la **fuerza principal** mayor por unidad de longitud, es decir, la que va en dirección longitudinal de la chapa, alcanza un **máximo** (por tanto, su derivada será nula). La **deformación** a lo largo de la **estricción** es **nula**, es decir, se alcanzan condiciones locales de **deformación plana**, véase figura 2.16. Toda la deformación ocurre dentro de la estricción y no a lo largo de ella, por lo que ésta no se alarga.

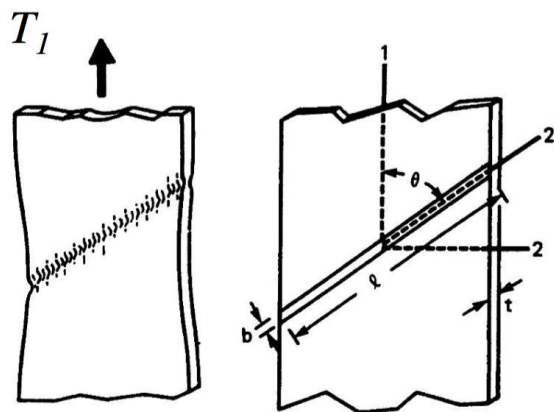


Figura 2.16 Estricción localizada

- **Fractura:** Se pueden distinguir dos tipos: Fractura dúctil, en la que primero se produce una iniciación de una grieta, luego va creciendo y se produce la coalescencia de huecos; y la fractura frágil, ocasionada por el clivaje de los granos del material.
- **Arrugamiento:** Se produce arrugamiento en las piezas debido al pandeo local que sufre cuando se ven sometidas a compresiones excesivas.

Definición de corte de chapa:

De acuerdo a ‘Introducción a los procesos de manufactura, Groover, 2011’ [2], el corte de chapa es el proceso de conformado en el que una hoja metálica o chapa se corta al ser sometida a un **esfuerzo cortante localizado**, mediante la acción conjunta de dos matrices o cuchillas. Una de ellas estará **fija** y se hará el papel de **matriz**, y otra de ellas será **móvil** y será equivalente a un **punzón**, llevándose a cabo una acción de cizalla entre los dos bordes afilados. En la imagen 2.17 se describe esquemáticamente el proceso de corte de chapa:

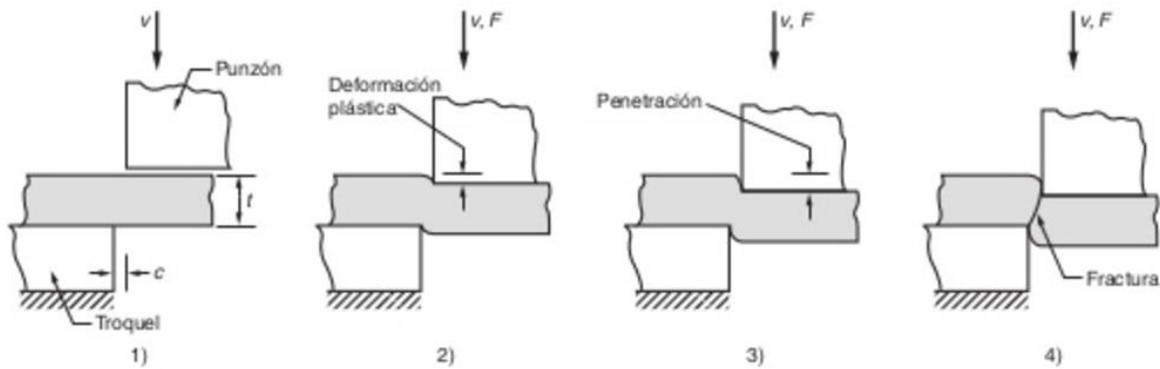


Figura 2.17 Esquemática del proceso de corte de chapa

Los cuatro pasos anteriormente representados describen el proceso, tal que: Cuando el punzón empieza a empujar el trabajo (la chapa), se produce una **deformación plástica** en la superficie de la lámina; después se produce el efecto de **penetración**, en el cual se comprime la lámina y se produce el corte del metal. Normalmente dicha penetración es del orden de un tercio del espesor ‘t’ de la chapa. A medida que el punzón avanza, se inicia la **fractura** de la lámina entre los dos bordes de corte. Si el espaciado entre punzón y matriz es correcto, las líneas de fractura se encuentran y se produce una separación limpia del trabajo en dos piezas. Se puede observar como es muy importante que la **holgura ‘c’** sea la correcta, ya que ésta tiene un efecto muy grande en la fuerza de corte que se deberá aplicar y en la rebaba resultante. En el valor óptimo, las grietas se encuentran dentro de la chapa produciendo un corte limpio, y se produce poca rebaba. En la práctica la holgura óptima estará entre un 4% y un 8% del espesor, y su valor dependerá del tipo de material como se muestra en la tabla de la figura 2.18. Una **c menor** conlleva su uso ante un trabajo con **mayor ductilidad**.

Grupos de metales	c/t
Aleaciones de Al 1100S y 5052S, todos los temple.	0,045
Aleaciones de Al 2024ST y 6061ST, latones, aceros laminados en frío (dureza baja), aceros inoxidables (dureza baja).	0,060
Aceros laminados en frío (dureza media), aceros inoxidables (dureza media y alta).	0,075

Figura 2.18 Tabla con la relación holgura-espesor para diversos materiales a trabajar

Para valores de holgura menores al óptimo, las grietas no se encuentran, sino que discurren paralelas, siendo necesario aplicar más fuerza de la óptima para producir la rotura final de la chapa al tener que forzar un salto en la grieta, por lo que hay un mayor desgaste de las cuchillas, representado en la figura 2.19. Como se muestra en la figura 2.20, para holguras mayores a la óptima, hay una excesiva deformación plástica del material, lo que origina mucha rebaba y un incremento de la fuerza necesaria.

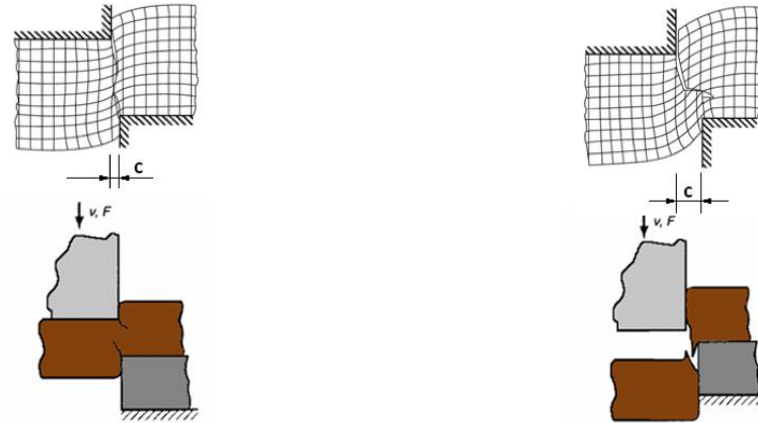


Figura 2.19 Efecto de holgura c menor a la óptima Figura 2.20 Efecto de una holgura c mayor a la óptima

Denotar que encima de la superficie de corte hay una región que se denomina **redondeado**, que corresponde a la depresión realizada por el punzón en la chapa antes de que se dé lugar al corte. En ese punto comienza la deformación plástica de la chapa. Justo debajo del redondeado se encuentra una región relativamente lisa conocida como **bruñido**, resultante de la penetración en el material antes de producirse la fractura. Debajo de la zona anterior se encuentra la **zona de fractura**, superficie tosca del borde de corte donde el movimiento hacia abajo del punzón origina la fractura del metal. Por último, en la zona inferior del borde se encuentra la zona de **rebaba**, filo causado por la elongación del metal durante la separación final. Todas estas zonas pueden apreciarse en la figura 2.21 mostrada a continuación:

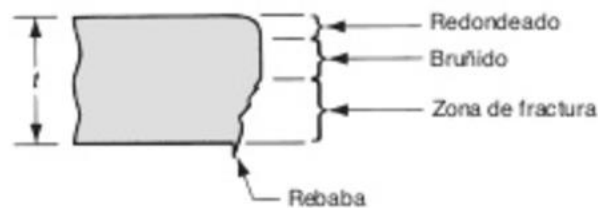


Figura 2.21 Zonas a lo largo del espesor características del cizallado

El corte que se llevará a cabo en la máquina a diseñar en este documento será un **cizallado** de la chapa seleccionada, por lo tanto, se detallará a continuación este proceso.

El **cizallado** consiste en cortar material de formas planas, como láminas o chapas, que será el caso a tratar. El corte puede llevarse a cabo con diferentes cuchillas y en máquinas mecánicas, hidráulicas o neumáticas. Suele realizarse en máquinas denominadas **cizallas de potencia** o **cizalla recta**, cortando el material en línea recta. En este caso se empleará una máquina mecánica de accionamiento manual que accionará dos cuchillas (una directamente y otra indirectamente a través de un engranaje), una encima de la placa que será la que actuará de punzón, y otra debajo, que irán siendo alimentadas de material a la vez que cortan la chapa. En este caso las cuchillas serán circulares y estarán fijas girando en un eje, mientras que la chapa se sujetará en su centro y se hará girar sobre ese eje perpendicular a la misma, de tal manera que el resultado será una chapa cortada con forma circular.

Tendremos una cuchilla con su eje paralelo al plano de la chapa (la cuchilla superior) y la otra cuchilla estará enfrentada a la primera, por debajo de la chapa, e inclinada.

Según '*Sheet Metal Forming Process and Die Design, Boljanovic, 2004*' [7], durante este proceso, se pueden distinguir tres fases distintas:

- Fase I: Por la acción de la fuerza de corte F , la tensión del material es menor que el límite elástico. Esta fase se caracteriza por una deformación elástica. Para evitar que el material se mueva, éste se ve sujetado por una fuerza de sujeción que denominaremos F_d . (Correspondiente a la figura 2.17 2))
- Fase II: En esta fase la tensión que sufre el material supera el límite elástico, pero menor que la tensión última de rotura (tensión ante la cual el material rompería). En esta fase se produce una deformación plástica. (Correspondiente a la figura 2.17 3))
- Fase III: En esta última fase, la tensión es igual a la UTS (**Ultimate Tensile Strength**) que se define como la máxima tensión ingenieril que aguanta el material., y comienza la fase en la que aparecen grietas, no se separa por la parte filo de la cuchilla cortante, sino que comienza a apreciarse la primera grieta. La fractura del material ocurre al final de esta fase. (Correspondiente a la figura 2.17 4))

La penetración que ejerza la cuchilla superior en el material dependerá de propiedades del mismo como su ductilidad o dureza. A más gruesa y frágil sea la chapa, antes se romperá, es decir, antes aparecerá la primera grieta.

La **fuerza F** con la que se realice el corte por cizalladura, es decir, la realizada por el punzón, si no se tiene en cuenta la fricción será **proporcional al espesor de la pieza [mm], a la longitud del borde de corte L y a la resistencia a cizalladura K_s [kg/mm²].**

Ésta última a su vez es directamente proporcional a la resistencia a tracción del material σ_{ut} tal que:

$$K_s = K_1 \cdot \sigma_{ut}$$

Cuchilla plana	$K_1 = 0,85$ en materiales dúctiles
	$K_1 = 0,65$ en materiales poco dúctiles
Cuchilla inclinada	$K_1 = 0,50$ en materiales blandos
	$K_1 = 0,35$ en materiales duros

Resultando que:

$$F = K_s \cdot t \cdot L \quad (1)$$

También se puede agrupar sabiendo que:

$$t \cdot L = A \text{ (Área)} \quad (2)$$

El borde cizallado se caracteriza por ser un borde liso por la parte por la que penetra la cuchilla, con una rugosidad considerable alrededor de la parte rasgada.

Existen tres tipos de cuchillas:

- Cuchilla plana, ver figura 2.22.
- **Cuchilla inclinada** (un ángulo α), ver figura 2.23.

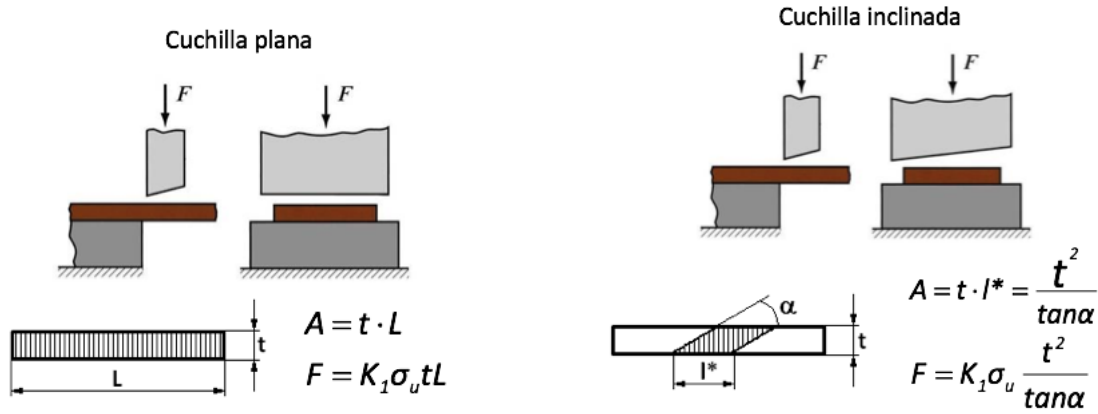


Figura 2.22 Cuchilla plana y fuerza del punzón Figura 2.23 Cuchilla inclinada y fuerza del punzón

- Cuchillas giratorias (ranurado, véase figura 2.24).

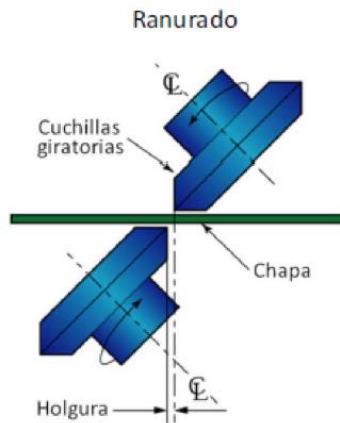


Figura 2.24 Ranurado

Considerando el segundo caso: el corte con cuchillas inclinadas entre sí se emplea para chapas delgadas en comparación con la anchura del corte. El factor de inclinar las cuchillas provoca un decremento de la fuerza de cizalla necesaria y aumenta el rango de movimiento necesario para separar el material. La penetración de la cuchilla superior se produce de forma gradual en el material, y es por eso por lo que la fuerza necesaria es menor, dado que la cuchilla tiene menos superficie de contacto con la chapa.

Se puede comprobar, sin embargo, que el **trabajo que se realiza en el corte, W**, es **el mismo** para cuchilla plana como para cuchilla inclinada, dado que, aunque en cuchilla inclinada la fuerza a ejercer es menor, la cuchilla tiene que recorrer una distancia mayor.

Otra definición de la misma fuerza definida anteriormente es la que se haya en ‘*Sheet Metal Forming Process and Die Design, Boljanovic, 2004*’ [7], donde aparece la misma fórmula que se ha definido anteriormente (1), pero utilizando otros términos, como:

$$F = n \cdot k \cdot UTS \cdot \varepsilon_{ot} \cdot \frac{T^2}{\operatorname{tg}(\varphi)} \approx 0.6 \cdot UTS \cdot \varepsilon_{ot} \cdot \frac{T^2}{\operatorname{tg}(\varphi)} \quad (3)$$

Donde:

T = Espesor de la chapa

n = 0,75 hasta 0,85 para la mayoría de materiales

k = 0,7 hasta 0,8; se define como la relación UTS/ τ para el material

ε_{ot} = Cantidad de penetración relativa de la cuchilla en el material, véase tabla 2.1

φ = ángulo de inclinación

Material	Espesor del material T, inch (mm)			
	< 0.04 inch (< 1.0 mm)	0.04 – 0.08 inch (1.0 – 2.0 mm)	0.08 – 0.16 inch (2 – 4 mm)	> 0.16 inch (> 4 mm)
Acero al carbono	0.75 a 0.70	0.70 a 0.65	0.65 a 0.55	0.50 a 0.40
Aceros medios	0.65 a 0.60	0.60 a 0.55	0.55 a 0.48	0.45 a 0.35
Aceros duros	0.50 a 0.47	0.47 a 0.45	0.44 a 0.38	0.35 a 0.25
Aluminios y cobres (recocidos)	0.80 a 0.75	0.75 a 0.70	0.70 a 0.60	0.60 a 0.50

Tabla 2.1 Cantidad de penetración relativa de la cuchilla superior en el material

3 DISEÑO

Las chapas que se van a tratar, así como las consideraciones necesarias y condiciones de funcionamiento de la máquina a diseñar, se han decidido tras varias visitas al taller de los laboratorios de la E.T.S.I., donde trabaja el equipo de investigación que utilizará la máquina, y tras consultar sus necesidades y conocer con qué materiales trabajan, se han tomado las bases de diseño que se mostrarán a continuación. Se verá así mismo el diseño desde las ideas iniciales hasta las que se tomarán finalmente, pudiendo observar de este modo la evolución que ha ido siguiendo el diseño.

Las chapas, una vez cortadas, tendrán un **diámetro** que seleccionará el operario dentro de un rango que irá **desde los 100 mm hasta los 300 mm**.

Las chapas no superarán los **2 mm de espesor**.

De los materiales usualmente empleados en el corte de chapa en el laboratorio de ingeniería de los procesos de fabricación, se tomará como referencia el **acero H240 LA 03** según la designación europea estándar, dentro de los aceros de fundición **HSLA (High-Strength Low-Alloy)**.

Se tendrá en cuenta que estas serán las características y el material límite a trabajar. Todos los materiales que tengan unas propiedades más favorables para su corte también podrán ser trabajados.

3.1 Diseños similares

Tras investigar los modelos que existen en el mercado actualmente, se ha encontrado que todas las máquinas empleadas para este tipo de tarea siguen un patrón de diseño casi idéntico, por lo tanto, es a ese modelo al que se ceñirá nuestro diseño, teniendo en cuenta que las placas con las que se trabajará serán de dimensiones menores, por lo tanto, la máquina a diseñar estará a una menor escala. A continuación, se pueden observar algunos modelos en las figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4:



Figura 3.1 Cizalla circular manual para chapas metálicas IDK 1

(<http://www.directindustry.es/prod/sahinler-metal-makina-end-as/product-84693-1150465.html>) [18]



Figura 3.2 Cizalla de corte circular diseño fijo



Figura 3.3 Cizalla de corte circular diseño portátil

([http://www.master-machines.com/folding_bending_notching_cutting_machines.htm#circle cutting machine](http://www.master-machines.com/folding_bending_notching_cutting_machines.htm#circle_cutting_machine)) [20]



Figura 3.4 Cizalla circular Metalkraft modelo KS 1

(http://www.maquinariamadrid.com/a_cizalla-circular-marca-metalkraft-modelo-ks--_3820.html) [19]

3.2 Cuchillas

La cuchilla es el elemento más importante de la máquina ya que será la encargada de efectuar el corte sobre la chapa. No sólo la propia cuchilla, sino sus dimensiones y posicionamiento serán claves para un corte adecuado. Dicho trabajo es tratado y detallado en el trabajo “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por Carlos Daza Pelegrina [21].

Se ve en la figura 3.5 de cerca la cuchilla superior de la máquina de corte tras realizar el corte completo de una chapa. Dicha figura proviene de un vídeo ilustrativo del proceso completo de corte de chapa en forma circular, por parte de la empresa OK GÉP, el vídeo completo puede ser visualizado aquí:

<https://www.youtube.com/watch?v=VoSxALSLAfE> [17]

Así mismo en la figura 3.6 se observa detalladamente más de cerca las cuchillas de corte y su posicionamiento en este tipo de máquinas.



Figura 3.5 Visión cercana de una operación terminada de corte
(<https://www.youtube.com/watch?v=VoSxALSLAfE>) [17]



Figura 3.6 Visión detallada de las cuchillas y su posicionamiento
(<https://images.google.com/>)

3.2.1 Material

El material de las cuchillas ha de ser uno lo suficientemente tenaz y resistente como para aportar un corte eficaz y disponer de una vida de trabajo duradera, evitando su rotura, desgaste o deformación y resistiendo las fuerzas a las que serán sometidas.

La elección del material ha resultado en la selección de **acero aleado f521** para la fabricación de las cuchillas, que serán **encargadas a un fabricante**. El proceso detallado de selección del material se encuentra en "*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*", por Carlos Daza Pelegrina [21].

3.2.2 Diámetros

Tras realizar los cálculos necesarios, que han sido realizados en la fase de diseño de las dimensiones de las cuchillas, que serán circulares, previa al encargo final de las mismas, se obtuvo un **diámetro para las cuchillas de 65 mm**. Dichos cálculos pueden ser consultados en "*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*", por Carlos Daza Pelegrina [21].

3.2.3 Espesor

Una vez conocido el diámetro de las cuchillas, y teniendo en cuenta que el espesor máximo de chapa a cortar son 2 mm, se ha estimado un valor del espesor de las cuchillas de 20 mm. Más información en "*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*", por Carlos Daza Pelegrina [21].

3.3 Mecanismo de corte

El mecanismo de corte que se realizará en las operaciones de esta máquina mecánica de accionamiento manual será un **cizallado** de la chapa seleccionada, es decir, se cortará la chapa mediante la una cizalladura. El operario, tras colocar la chapa a cortar y fijarla, accionará una manivela que moverá un eje en el que se encontrará en su otro extremo una de las cuchillas. Dicho eje tendrá un engranaje que engrane con otro, situado en otro eje, concéntrico con el anterior, que será conducido por el mismo. Este otro eje también tendría en su extremo una cuchilla. Estas dos cuchillas serán por tanto puestas en movimiento (una directamente y otra indirectamente a través de un engranaje), una por encima de la placa que será la que realizará la función de punzón en la cizalladura, y otra cuchilla irá por debajo de la chapa, apoyándose ésta última sobre su cara afilada. La chapa irá rotando sobre un eje vertical concéntrico a la chapa circular final que se quiera obtener. Dicho tipo de corte garantiza que las cuchillas se irán siendo alimentadas de material a la vez que cortan la chapa.

El resultado del corte por cizalladura de la chapa dará como resultado una chapa con una forma circular deseada. En la siguiente figura (3.7) se observa un esquema del corte de la chapa, mostrando además la curva de presión a la que se ve sometida la zona que está siendo cortada.

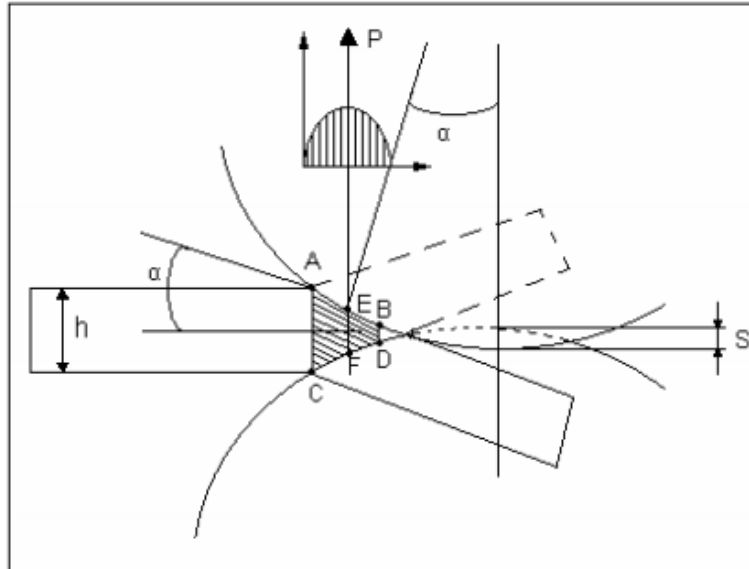


Figura 3.7 Esquema de corte de chapa con curva de presión en el corte con cuchillas rotativas

En este caso se tendrá una cuchilla con su eje paralelo al plano de la chapa (la cuchilla superior) y la otra cuchilla estará enfrentada a la primera, por debajo de la chapa, e inclinada.

En la figura 3.8 se puede observar un operario realizando la operación de corte de chapa en forma circular.



Figura 3.8 Operario trabajando con una cizalla circular de chapa

(<http://www.accuratealloys.com/metal-shearing.html>) [10]

Toda la información acerca del proceso de corte y los parámetros que influyen en el mismo, así como el diseño, selección y justificación del método de corte, geometría del mismo y fuerzas que aparecen, se ve recogida en “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21].

3.4 Características de la estructura: tamaño, forma, material y rigidez

La estructura será diseñada para que la máquina trabaje sobre un banco de trabajo, pudiéndose trasladar la misma a otros emplazamientos, pues no irá fija a la mesa, sino que estará apoyada en la misma.

Podría, mediante elementos externos, ser fijada a la hora de trabajar y luego podría desanclarse, pero dado que la operación de trabajo, las fuerzas y el movimiento se producen íntegramente en la máquina y no se induce ningún esfuerzo que sea del orden de magnitud del peso propio, como veremos más adelante, que desplace la máquina en ninguna dirección del plano horizontal, no se vio necesaria la necesidad de anclar la máquina.

El tamaño será el mínimo requerido para operar con chapas de dimensiones cuadradas con un lado de máximo algo superior a 300 mm, que es el diámetro máximo de discos a cortar, que se tomará de 310 mm, por lo tanto, el arco de soporte tendrá que tener una separación horizontal en el plano de la chapa de:

$$\sqrt{2} \cdot 310 \text{ mm} = 438,406 \text{ mm}$$

Dicho valor será aproximado, dado que a modo de seguridad se ha sobredimensionado la chapa, para evitar la colisión de la chapa con la estructura durante la operación debido a que se haya introducido chapas con alguna dimensión mayor a la permitida.

Tener en cuenta que, si la chapa es de dimensiones mayores, lo que se hará será cortarla previamente de manera externa para que llegue a tener estas dimensiones.

La forma de la máquina será similar a las vistas anteriormente en el apartado 3.1, y para cada conjunto de piezas se seguirá el mismo patrón de forma y construcción, salvo modificaciones que sean realizadas debido a los medios de los que se dispondrán.

El material de la estructura externa de la máquina será de **acero estructural**, por sus propiedades aceptables y más que válidas para las sollicitaciones a las que se verá sometida la estructura, siendo éste un material **dúctil** y **tenaz**, la disponibilidad del mismo en el laboratorio de mecanizado y fundición de la E.T.S.I. y el aceptable coste que supone el fabricar nuevas piezas en caso de que se necesite, o trabajar las piezas ya existentes de las que se puedan disponer. El acero estructural posee una **firmeza** elevada por unidad de peso, una **semejanza** de sus propiedades en el tiempo, y una alta **durabilidad** con el mantenimiento adecuado.

El **módulo de elasticidad E** de **piezas de acero estructural** está en torno a los **210 000 MPa**, y una **densidad de 7 850 kg/m³**. Así mismo, las piezas que se emplearán se dividirán en tres grupos generales:

- Piezas a fabricar.
- Piezas existentes que serán compradas/encargadas.
- Piezas existentes y disponibles a modificar.

En cuanto al material límite de la chapa a trabajar (entender por material límite, el que presente características más adversas para ser trabajado), **aceros HSLA**, creados para mejorar el ratio de fuerza-peso, son usualmente producidos en forma de láminas, que serán las que se trabajarán. Sin embargo, su ductilidad, conformabilidad y su soldabilidad son menores que la de los aceros convencionales. Habrá que tener especial cuidado en la zona a cortar, y en la zona central por donde se agarre la chapa para evitar deformaciones o fallos indeseables a la hora de fijarlas y trabajarlas.

Como concepto general de diseño, se ha realizado un boceto con algunas de las ideas para las piezas, mostrados en las figuras 3.9 3.10 y 3.11. En algunas el diseño se verá modificado, en otras, se partió de un diseño previo y se modificó para resultar el diseño que se puede apreciar, otros elementos serán sustituidos y otros serán eliminados.

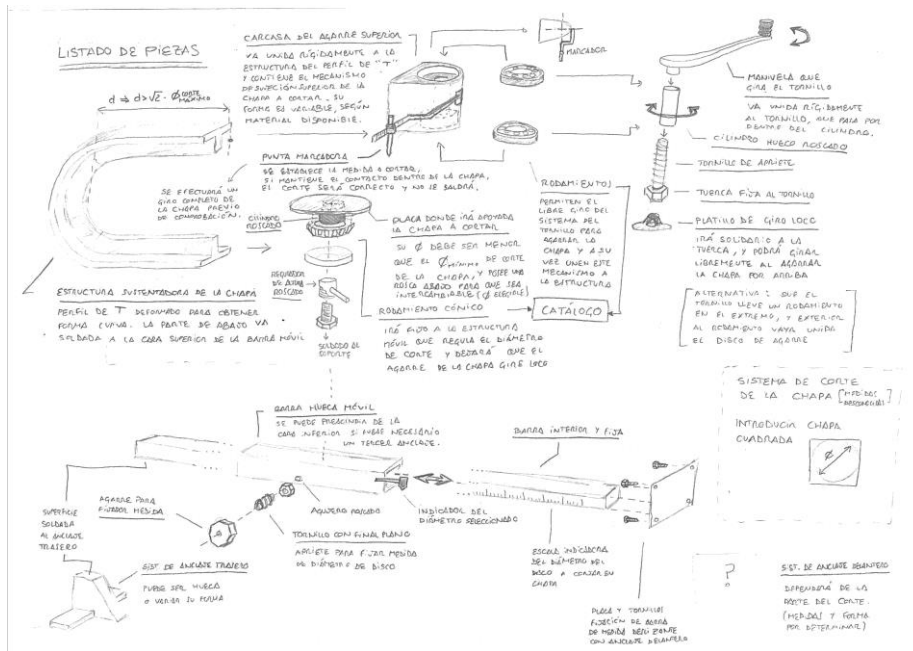


Figura 3.9 Boceto del conjunto de elementos de la estructura y breve descripción

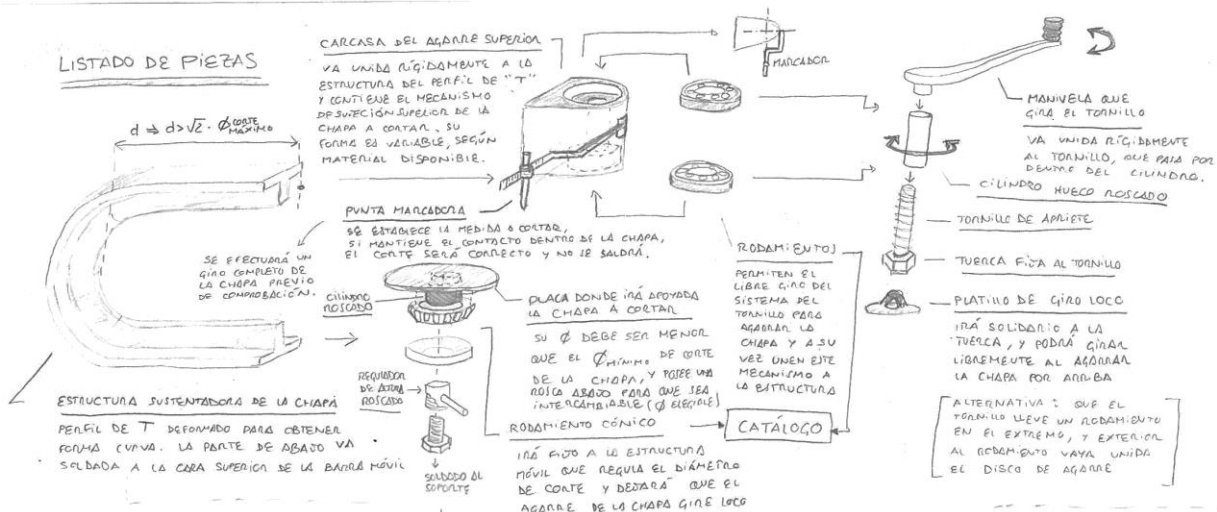


Figura 3.10 Zoom superior del boceto del conjunto de elementos y breve descripción

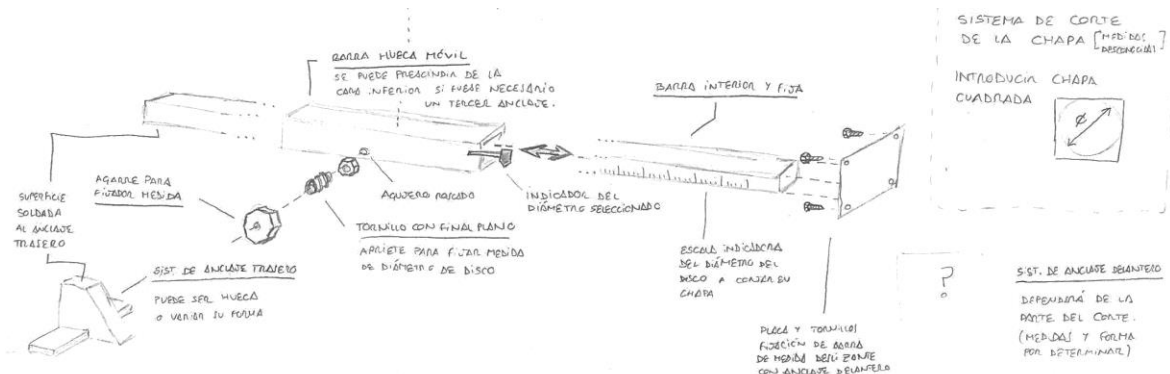


Figura 3.11 Zoom derecho del boceto del conjunto de elementos y breve descripción

El conjunto de la máquina, como se puede ver en las figuras anteriores, estará compuesto de varios conjuntos de piezas que se pueden agrupar siguiendo los siguientes apartados, en los cuales se hablará de cada pieza o conjunto de piezas en concreto, de sus modificaciones y de su forma.

3.5 Estructura

La estructura externa será un arco a partir de **un perfil en forma de T**, fabricado a partir de una viga de acero estructural con dicho perfil, que ha sido fabricada por laminación, y posteriormente conformada para que adopte la forma que necesitamos. Dicha estructura llevará incorporado el sistema de sujeción de la placa. Este arco en un principio se pensó hacer con forma poligonal tal como si fueran tres vigas unidas, la superior y la inferior horizontales y paralelas, y una vertical, que formase 90° con las anteriores, como se puede ver en la figura 3.12, incorporando un refuerzo en las esquinas para evitar dichos **concentradores de tensión**, algo similar a lo que se puede ver en la figura 3.2; luego se pensó en que el arco tuviera forma de U girada 90° , ya que así soportaría mejor los esfuerzos al haber eliminado de esta forma los **concentradores de tensiones** que se encontraban en las uniones soldadas a 90° , tal y como se puede ver en la figura 3.13, similar a la figura 3.5 vista anteriormente; pero finalmente se decidió, ya que se dispone de los medios necesarios, de hacerla con la misma forma que las figuras 3.1, 3.3 y 3.4 vistas anteriormente, siendo el resultado final el que puede apreciarse en la figura 3.14.

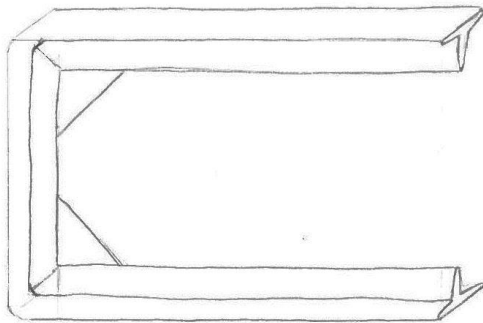


Figura 3.12 Diseño inicial del arco de soporte

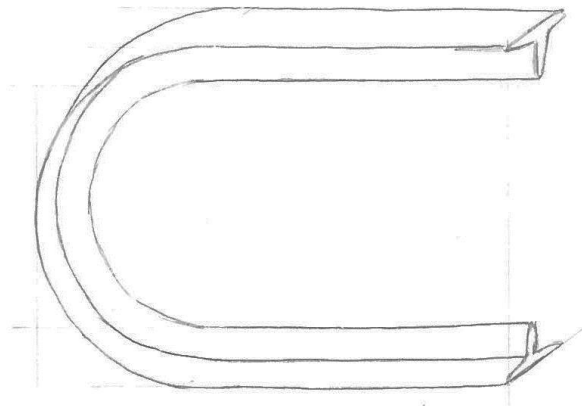


Figura 3.13 Diseño intermedio del arco de soporte

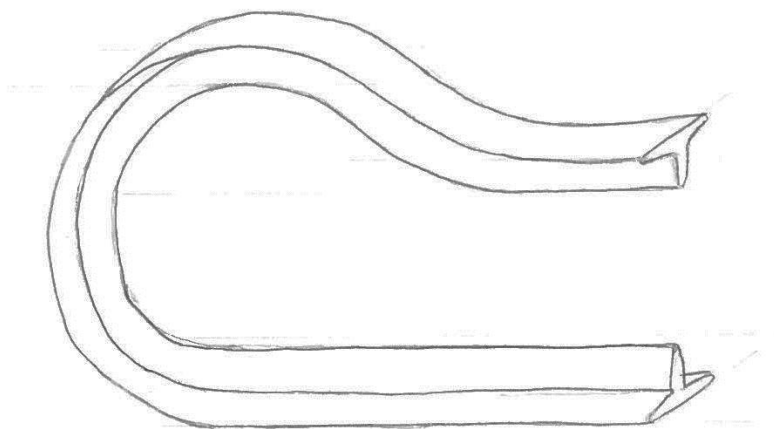


Figura 3.14 Idea final para el diseño del arco de soporte de chapa

Consultando el 'Prontuario UAHE-2001 de perfiles comerciales' [8] se pueden buscar las características de los distintos perfiles existentes.

Atendiendo al apartado de 'Perfil T de acero con alas iguales y aristas redondeadas laminado en caliente' de los perfiles simples de T, según la **normativa UNE EN 10055-95**, se observan en la figura 3.15 y 3.16 el esquema de medidas y las distintas opciones disponibles:

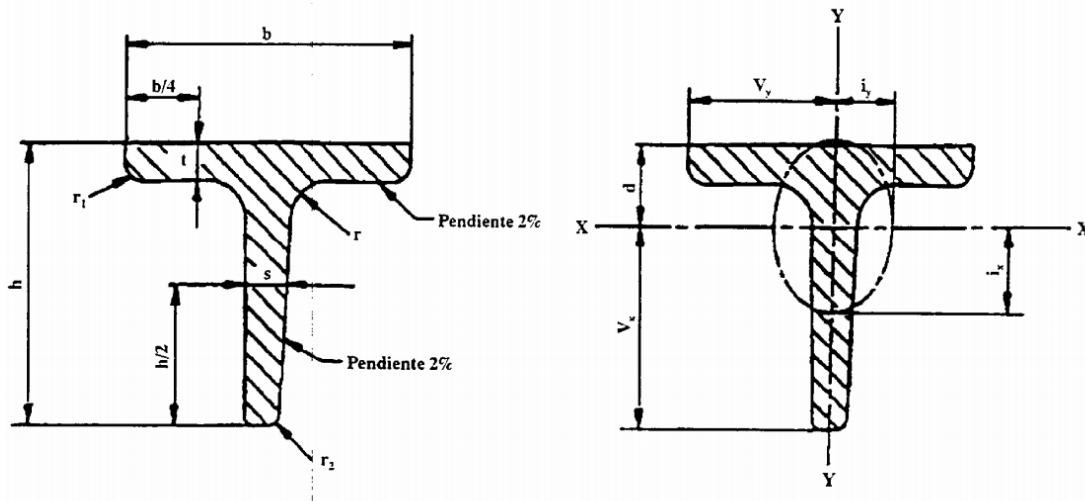


Figura 3.15 Perfil de T. Medidas

Designación	Masa Kg/m	Sección cm ²	Medidas						Posición del centro de gravedad d	Características respecto a los ejes					
			Altura	Anchura	Espesor	Radios				X - X			Y - Y		
			h	b	s y t	r	r ₁	r ₂		l _x	l _x /V _x	i _x	l _y	l _y /V _y	i _y
mm						cm			cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
T30	1.77	2.26	30	30	4	4	2	1	0.85	1.72	0.80	0.87	0.87	0.58	0.62
T35	2.33	2.97	35	35	4.5	4.5	2.5	1	0.99	3.10	1.23	1.04	1.57	0.90	0.73
T40	2.96	3.77	40	40	5	5	2.5	1	1.12	5.28	1.84	1.18	2.58	1.29	0.83
T50	4.44	5.66	50	50	6	6	3	1.5	1.39	12.1	3.36	1.46	6.06	2.42	1.03
T60	6.23	7.94	60	60	7	7	3.5	2	1.66	23.8	5.48	1.73	12.2	4.07	1.24
T70	8.32	10.6	70	70	8	8	4	2	1.94	44.5	8.79	2.05	22.1	6.32	1.44
T80	10.7	13.6	80	80	9	9	4.5	2	2.22	73.7	12.8	2.33	37.0	9.25	1.65
T100	16.4	20.9	100	100	11	11	5.5	3	2.74	179	24.6	2.92	88.3	17.7	2.05
T120	23.2	29.6	120	120	13	13	6.5	3	3.28	366	42.0	3.51	178	29.7	2.45
T140	31.3	39.9	140	140	15	15	7.5	4	3.80	660	64.7	4.07	330	47.2	2.88

Calidad: S275 JR

Figura 3.16 Tabla de perfiles de T comerciales existentes

Para el diseño de la máquina se elegirá, teniendo en cuenta las dimensiones aproximadas de la misma, de las chapas a cortar, y que es la estructura que servirá de soporte de los dos sistemas de sujeción, así como de la chapa, teniendo que garantizar que no se produce ningún desplazamiento no deseado durante la operación, un **perfil T60**, con las características que se pueden apreciar en la tabla anterior.

3.6 Mecanismo de fijación y apriete de la chapa

El diseño se divide en dos conjuntos de piezas, la fijación superior y la fijación inferior, y ambos irán **soldados al arco de la estructura**.

Como bases para la elaboración de este mecanismo, hay que tener en cuenta que la placa tiene que quedar bien fijada, y debido a su reducido espesor, hay que tener cuidado con la forma del apriete para **evitar deformaciones, plastificaciones, acumulación de esfuerzos** en los bordes de la sujeción, factores que puedan acelerar el fallo de la chapa, provocar un comportamiento inadecuado o incluso provocar la **rotura de la chapa**.

También hay que tener en cuenta que respete el diámetro mínimo a mecanizar. Se tendrá que considerar que debido a los distintos espesores que se puedan trabajar, y debido a que inicialmente la chapa deberá colocarse en la zona de trabajo sin que choque con las cuchillas, que el sistema de sujeción debe permitir un **desplazamiento vertical que provoque la separación de las cogidas** del mismo para el perfecto ajuste de la chapa. Por último, pero no por ello menos importante, tiene que aportar una fácil y sencilla liberación de la chapa para su extracción, así como una fácil colocación inicial y una **fijación solidaria y rígida** para que la chapa no se mueva (respecto a la sujeción) durante las operaciones, pero que **permita** a la misma **girar** sin ningún tipo de esfuerzo adicional **sobre un eje vertical situado en su centro**.

Inicialmente se pensó, tal y como se adjunta en la figura 3.9, que ambos conjuntos de sujeción, tanto el superior como el inferior, pudieran desplazarse verticalmente una distancia significativa, lo que complicaba el diseño, por lo que finalmente se optó por mantener que el apriete superior se pudiera desplazar verticalmente una distancia significativa (de orden de magnitud superior al espesor de la chapa) mientras que la sujeción inferior estuviera fija simplemente permitiendo un giro sin esfuerzos adicionales sobre su centro de la chapa de sujeción.

También se diseñará, por especificaciones de diseño al poder variar el diámetro de corte de la chapa entre distintos valores, que las placas que aprieten la chapa a cortar también se puedan extraer y ser sustituidas por placas semejantes, pero de diámetros variables, de tal manera que se pueda aportar a la chapa a cortar la mayor superficie de apoyo posible para evitar así esfuerzos innecesarios en la chapa a la altura de los bordes de las placas de sujeción debidos al peso de la propia lámina de metal. Es decir, a mayor diámetro seleccionado para cortar, mayores serán las placas de sujeción a utilizar, de tal manera que la distancia en horizontal entre las cuchillas y las placas de sujeción sea la menor posible.

A continuación, se explicarán por separado los dos conjuntos de piezas de sujeción de la chapa a cortar:

Sistema de sujeción inferior:

El sistema de sujeción inferior, inicialmente, fue diseñado de la siguiente manera, como se pudo observar en la figura 3.9, y con más detalle en la figura 3.17.

La sujeción inferior estaba compuesta por una serie de piezas que se describen a continuación.

Diseño inicial:



Figura 3.17 Diseño inicial de la sujeción inferior

(De abajo a arriba)

- **Tornillo de cabeza plana**, situando la rosca hacia arriba, y con la cabeza soldada al arco de sujeción de la estructura. Hay que tener en cuenta que el tornillo ha de ser de un tamaño tal que aguante el peso de la chapa y de estos mecanismos, por lo que será un tornillo de diámetro elevado.
- A continuación, se le sitúa en la parte roscada una pieza que hace de **corona roscada**, con una palanca soldada que servirá de regulador de altura para la sujeción inferior, de manera que el operario pueda, mediante dicha palanca, girar la corona sobre el tornillo para elegir la altura deseada. Destacar que **la longitud de la corona ha de ser mayor que la longitud del tornillo**.
- A la cara superior de la corona, se le soldará, o se le unirá mediante adhesivo de rodamientos, la parte **exterior** de un **rodamiento axial de rodillos cónicos**, que será el elemento que permita el **libre giro de la chapa a cortar**, y cuyo cálculo se realiza más adelante conjunto al proceso de selección que lleva a usar este tipo de rodamiento.
- A la parte **interior** del rodamiento, irá, mediante un ajuste con apriete un **cilindro roscado**, que, a su vez, tendrá roscado en su parte superior las **placas de sujeción** de la chapa a cortar, que serán varias, cada una con un diámetro distinto, de manera que se pueda **seleccionar el diámetro de la placa de sujeción** para que se acerque lo máximo posible al diámetro a cortar.

Diseño final:

El diseño final se puede observar en la figura 3.18. Su mayor simplicidad y sencillez es debida a que, con el sistema inicial, la responsabilidad de colocar la altura necesaria de la sujeción inferior para que la chapa a cortar esté a la altura exacta y adecuada respecto a las cuchillas de corte para que se lleve a cabo el correcto corte, hacía inviable el diseño anterior para un uso sencillo y eficaz.

Debido a que igualmente hará falta que haya un desplazamiento vertical en la sujeción para la liberación de la chapa y para la correcta fijación de distintas chapas, ya que trataremos con **espesores de chapa variables**, se dejará esta tarea a la sujeción superior. Esto también es debido a que, a pesar de los distintos espesores de chapa, la cara inferior de las mismas siempre tendrá que estar a la misma altura relativa de la cuchilla inferior de corte.

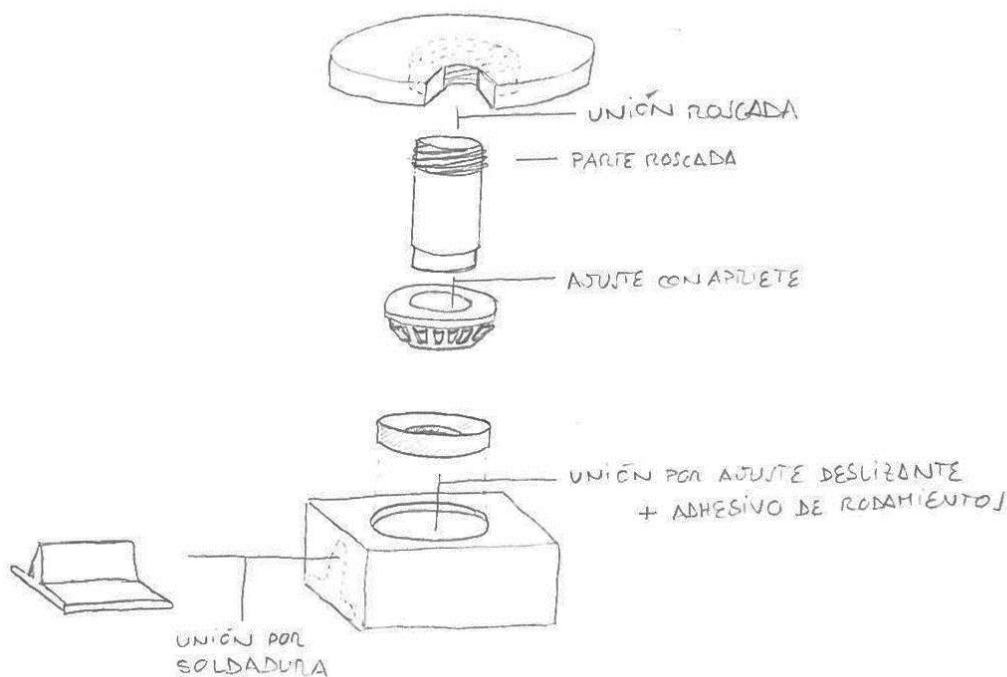


Figura 3.18 Diseño final de la sujeción inferior

(De abajo a arriba)

- **Plancha base** que irá soldada al arco. Dicha plancha tendrá mayor o menor espesor dependiendo de la altura que queramos conseguir, que vendrá determinada por el tamaño de los siguientes elementos. Esta plancha simplemente tiene que aguantar el peso, y tener en la cara superior un hueco mecanizado para que vaya encajada mediante un **ajuste deslizante y fijador de rodamientos** (rendimiento **favorable** ya que va a recibir esfuerzos de **compresión**) la parte **exterior del rodamiento axial de rodillos cónicos** que se mencionó anteriormente.
- **Rodamiento axial de rodillos cónicos** que tendrá en su parte interior el **cilindro de acero estructural mediante un ajuste por apriete que se describirá posteriormente, con la parte superior roscada** que se mencionó en el diseño inicial.
- **Placas de sujeción de la chapa a cortar**, que como se mencionó previamente, serán intercambiables dependiendo del diámetro elegido para cortar la chapa.

Realmente se observa que es el mismo diseño, salvo que se sustituye el sistema de elevación/descenso vertical que se realizaba con el conjunto tornillo-corona, por una plancha base que será la que vaya solidaria a una cara del rodamiento, manteniendo la altura de la sujeción fija.

Selección de materiales y dimensiones:

La **plancha base** será de acero estructural. La forma del bloque será la de un paralelepípedo rectangular, o al menos dicha forma será la tomada para el cálculo del peso de tal manera que es la que tiene mayor volumen de todas las opciones posibles, dado que queremos que al menos una **cara lateral** sea **plana** para que pueda ser soldada al arco de la estructura con facilidad. Respecto a las caras superior e inferior, la **cara superior ha de ser plana y deberá realizarse un fresado interior** para dejar un hueco en **forma cilíndrica** para que encaje la parte **exterior del rodamiento**, que llevará un **ajuste deslizante**, además de **fijador de rodamientos**. Dicho ajuste será calculado posteriormente en este apartado junto al otro ajuste con apriete necesario entre la parte interior del rodamiento y el cilindro. La profundidad de dicha cavidad no será muy elevada, estará en torno a los **5 mm**, ya que el propio peso del mecanismo no permitirá que se salga el rodamiento. Las dimensiones han de ser tales que, el **círculo circunscrito a la cara superior** (que tomaremos como cuadrada para obtener el valor más seguro posible), **no supere el diámetro mínimo de chapa a cortar**, esto es:

$$\text{Diámetro mínimo: } 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Diagonal del cuadrado} < 100 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\text{Lado del cuadrado} < 100/\sqrt{2} \text{ mm} = 70,7107 \text{ mm}$$

A su vez, el tamaño del bloque ha de ser el **mayor posible** para asegurar la máxima **estabilidad** y aguantar el máximo **peso** posible el resto del mecanismo y la placa a cortar, por lo tanto, tomando una plancha cúbica, el lado del cuadrado observable desde una vista de planta será de **70 mm**.

Con un **espesor de la placa del mismo orden de magnitud** que el lado, se asegurará que no se rompe la estructura debido al peso por la zona de la soldadura con el arco, y aportará estabilidad y rigidez al conjunto.

Las placas de **sujeción inferior intercambiables** tendrán diámetros variables entre **50 mm** y **250 mm**, y un espesor de **10 mm** de tal manera que, en su centro, en los **5 mm inferiores**, se le haga un agujero roscado de la misma métrica que el cilindro roscado que irá soldado a la parte interior del rodamiento axial seleccionado.

El **cilindro** de acero estructural será de **55 mm** de longitud total, teniendo en su extremo superior un roscado de **rosca M 20 x 1** y un mecanizado en los últimos **9 mm inferiores** para que ajuste ahí con el rodamiento.

Para seleccionar la métrica del agujero roscado y del cilindro roscado que enroscará en el mismo, primero tendrá que seleccionarse el rodamiento, proceso que se explica a continuación:

El proceso de selección de rodamientos se llevará a cabo según el catálogo de 'RODAMIENTOS, un manual para escuelas, Svenska AB, 1962' [15]:

Lo primero es saber que vamos a trabajar con una carga **axial** y no radial, por lo que vamos a necesitar un **rodamiento axial** para nuestras especificaciones. Dicha carga no será muy elevada en ninguno de los casos, ya que únicamente tendrá que soportar el peso de parte de la estructura, el propio peso de las piezas del mecanismo de sujeción que estén por encima del rodamiento y de la chapa.

Sin embargo, en el proceso de corte, puede que se induzca una leve carga radial, y también se ha tenido en cuenta que, al irse cortando la chapa poco a poco, a medida que se vaya produciendo el corte, una parte de la chapa irá pesando menos (la parte por la que se vaya eliminando material) y al pesar más el resto puede inducir una perturbación en el eje de soporte lo que se traduzca en una carga axial (también pequeña) en el rodamiento; por lo que, para seleccionar el tipo de rodamiento, se comenzará teniendo en cuenta la utilidad de cada uno de los tipos de rodamiento y los factores ya mencionados.

Mirando las especificaciones de cada uno, se observa que el que mejor se ajusta a las necesidades de este mecanismo son los **rodamientos axiales de rodillos cónicos**, cuya descripción es la siguiente:

“El rodamiento de rodillos cónicos, debido a la posición oblicua de los rodillos y caminos de rodadura, es especialmente adecuado para resistir cargas radiales y axiales simultáneas. Para casos en que la carga axial es muy importante, hay una serie de rodamientos cuyo ángulo es muy abierto.”

Lo siguiente que se hará será, una vez seleccionado el tipo de rodamiento, es realizar el cálculo inverso del número de rodamiento, es decir, en vez de comenzar tal y como empieza la guía, como ya se saben las dimensiones máximas que ha de tener el rodamiento, será elegir uno del catálogo y ver si cumple las condiciones.

Para el sistema de sujeción inferior (que será similar al superior, descrito más adelante), se sabe que la dimensión del diámetro máxima del conjunto se tomará como menor que el diámetro menor posible de las chapas que se van a cortar.

Atendiendo a la **tabla de la serie 302** que se muestra en la figura 3.81, se tomará el rodamiento que tenga un **diámetro exterior menor al diámetro mínimo de chapa a cortar**, pero también hay que tener en cuenta que la cuchilla inferior de corte ocupará espacio que no deberá ser invadido por ninguna otra pieza, por lo que, se tomará el rodamiento más pequeño de esa serie. Será seleccionado, pues, el **rodamiento 30203** cuya sección y medidas se pueden ver en la figura 3.19 y en la tabla de la figura 3.20:

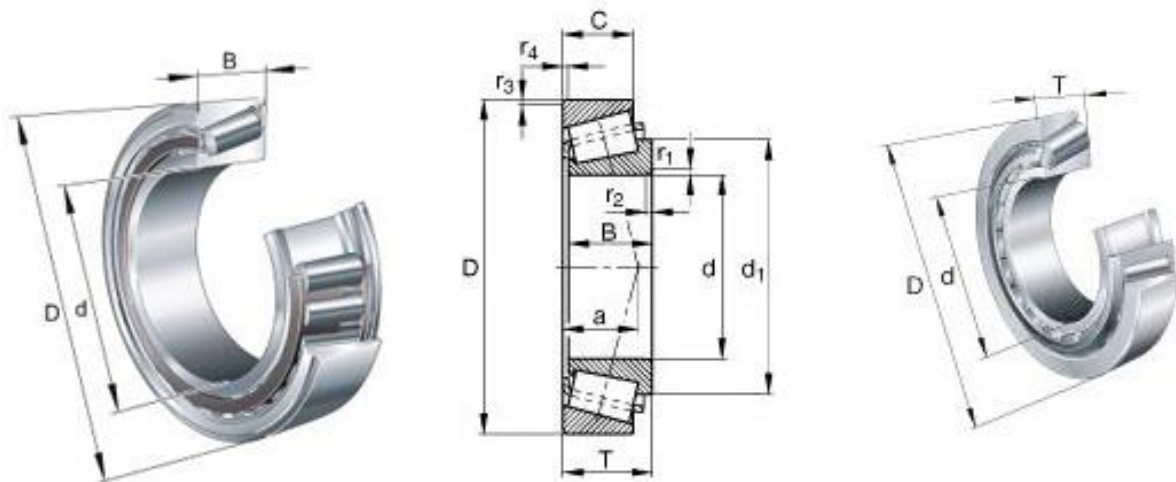


Figura 3.19 Serie 302. Dimensiones del rodamiento de rodillos cónicos

Rodamiento núm.	Milímetros								Capacidad de base en kg		Velocidad máxima permitida rpm
	d	D	B	C	T	r ≈	r ₁ ≈	a ≈	estática C ₀	dinámica C	
30203	17	40	12	11	13,25	1,5	0,5	9	850	1180	8000
04	20	47	14	12	15,25	1,5	0,5	11	1290	1830	8000
05	25	52	15	13	16,25	1,5	0,5	12	1560	1900	8000
30206	30	62	16	14	17,25	1,5	0,5	14	2080	2600	6000
07	35	72	17	15	18,25	2	0,8	15	2650	3250	6000
08	40	80	18	16	19,75	2	0,8	16	3100	3800	6000
30209	45	85	19	16	20,75	2	0,8	18	3600	4250	5000
10	50	90	20	17	21,75	2	0,8	19	4050	4650	5000
11	55	100	21	18	22,75	2,5	0,8	20	5200	5600	4000
30212	60	110	22	19	23,75	2,5	0,8	21	5600	6200	4000
13	65	120	23	20	24,75	2,5	0,8	23	6550	7350	4000
14	70	125	24	21	26,25	2,5	0,8	25	7100	7800	3000
30215	75	130	25	22	27,25	2,5	0,8	27	8150	8500	3000
16	80	140	26	22	28,25	3	1	27	8800	9650	3000
17	85	150	28	24	30,5	3	1	29	10600	11400	3000
30218	90	160	30	26	32,5	3	1	31	12000	12700	2500
19	95	170	32	27	34,5	3,5	1,2	33	13200	13700	2500
20	100	180	34	29	37	3,5	1,2	35	15600	16000	2500
30221	105	190	36	30	39	3,5	1,2	37	17000	17600	2500
22	110	200	38	32	41	3,5	1,2	39	19600	19600	2000
24	120	215	40	34	43,5	3,5	1,2	43	21600	22000	2000
30226	130	230	40	34	43,75	4	1,5	45	23200	24000	2000
28	140	250	42	36	45,75	4	1,5	47	28000	28000	1600
30	150	270	45	38	49	4	1,5	51	32500	31000	1600

Figura 3.20 Tabla de la serie 302 de rodamientos de rodillos cónicos

Una vez seleccionado el número de rodamiento, será necesario comprobar si cumple con las especificaciones obligatorias del manual.

Para ello comenzaremos utilizando la siguiente ecuación:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (I)$$

Con:

P = Carga equivalente.

F_r = Carga radial constante real.

F_a = Carga axial constante real.

X = Coeficiente radial del rodamiento.

Y = Coeficiente axial del rodamiento.

Los coeficientes X e Y se pueden observar en la imagen 3.21:

RODAMIENTOS DE BOLAS						RODAMIENTOS DE RODILLOS											
Tipos de rodamientos	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	Tipos de rodamientos	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e						
	X	Y	X	Y			X	Y	X	Y							
Rodamientos rígidos de bolas Series EL, R, 160, 60, 62, 63, 64 $\frac{F_a}{C_0} = 0,025$ $= 0,04$ $= 0,07$ $= 0,13$ $= 0,25$ $= 0,5$	1	0	0,56	2	0,22												
Rodamientos de bolas a rótula 135, 126, 127, 108, 129 1200-1203 04-05 06-07 08-09 10-12 13-22 24-30 2200-2204 05-07 08-09 10-13 14-20 21-22 1300-1303 04-05 06-09 10-22 2301 2302-2304 05-10 11-18	1	1,8	0,65	2,8	0,34												
Rodamientos de bolas con contacto angular Series 72 B, 73 B Series 72 BG, 73 BG Un par de rodamientos en montaje en el mismo sentido Un par de rodamientos en montaje O o X Series 32 A, 33 A	1	0	0,35	0,57	1,14												
						Rodamientos de rodillos a rótula 23944-239/670 239/710-239/950 23024 C-23068 CA 23072 CA-230/500 CA 24024 C-24080 CA 24084 CA-240/500 CA 23120 C-23128 C 23130 C-231/500 CA 24122 C-24128 C 24130 C-24172 CA 24176 CA-241/500 CA 22205 C-22207 C 08 C-09 C 10 C-20 C 22 C-44 C 48-64 23218 C-23220 C 22 C-64 CA 21304-21305 06-10 11-19 20-22 22308 C-22310 C 11 C-15 C 16 C-40 C 44-56	1	3,7	0,67	5,5	0,18						
						Rodamientos de rodillos cónicos 30203-30204 05-08 09-22 24-30 32206-32208 09-22 24-30 30302-30303 04-07 08-24 31305-31318 32303 32304-32307 08-24	1	0,4	1,75	0,34	0,37						

Figura 3.21 Tabla de coeficientes X e Y para selección del tipo de rodamiento

Se tiene por tanto que, con una carga radial pequeña, y con una carga axial no muy elevada, pero dominante frente a la radial, tomamos un cociente entre las cargas tal que, aun siendo desconocido el valor de estas cargas, sabemos que:

$$\frac{F_a}{F_r} > e \quad (\text{II})$$

Siendo, según la tabla, para el **rodamiento de rodillos cónicos número 30203**:

$$e = 0,34$$

$$X = 0,4$$

$$Y = 1,75$$

Con esto podremos obtener un valor estimado para P, pero lo que queremos averiguar es si cumple con las necesidades de horas de funcionamiento mínimas requeridas.

Para ello se consulta la tabla de la figura 3.22 que también se incluye en el manual, y que se visualiza a continuación:

Clases de máquinas	Duración en horas de funcionamiento L_h
<i>Instrumentos y aparatos de poco uso:</i> Aparatos de demostración, dispositivos para maniobra de puertas correderas ...	500
<i>Máquinas para servicio corto o intermitente cuando eventuales perturbaciones en el servicio son de poca importancia:</i>	
Máquinas-herramienta manuales, aparatos de elevación para talleres, máquinas movidas a mano en general, máquinas agrícolas, grúas de montaje, aparatos domésticos	4000-8000
<i>Máquinas para servicio intermitente cuando eventuales perturbaciones en el servicio son de mucha importancia:</i>	
Máquinas auxiliares para centrales de fuerza, equipos de transporte para fabricación continua en cadena, ascensores, grúas para carga general, máquinas-herramienta de poco uso	8000- 12 000
<i>Máquinas para 8 horas de servicio diario, no totalmente utilizadas:</i>	
Motores eléctricos estacionarios, engranajes para usos generales	12 000- 20 000
<i>Máquinas para 8 horas de servicio diario, totalmente utilizadas:</i>	
Máquinas para talleres industriales en general, grúas para trabajo continuo, ventiladores, transmisiones intermediarias	20 000- 30 000
<i>Máquinas para servicio continuo (24 horas diarias):</i>	
Separadóras centrífugas, compresores, bombas, ascensores de minas, motores eléctricos estacionarios, máquinas de servicio continuo en navios de guerra ...	40 000- 60 000
<i>Máquinas para 24 horas diarias de servicio con gran seguridad:</i>	
Máquinas para la fabricación de celulosa y papel, máquinas para el servicio público de fuerza motriz, bombas de minas, bombas de abastecimientos públicos de agua, máquinas de servicio continuo en buques mercantes	100 000-200 000

Figura 3.22 Tabla de duración en horas de funcionamiento para distintas clases de máquinas

La máquina de corte de chapa es una **máquina manual**, y se empleará en **servicios cortos o intermitente**, por lo que como se puede ver en la tabla anterior, estaremos hablando de una **duración en horas de funcionamiento** de:

$$L_h = 4\ 000 - 8\ 000 \text{ horas de funcionamiento.}$$

Con este valor, se puede consultar en la tabla de la figura 3.23 el rango de valores de la **seguridad de carga** $\frac{C}{P}$ para diferentes duraciones de funcionamiento y diferentes velocidades. Nuestra máquina al ser manual, y el corte producirse lentamente, estaremos trabajando **por debajo de las 10 revoluciones por minuto** en lo que al rodamiento se refiere. Es decir, no se completará una revolución de la chapa siendo cortada en menos de 6 segundos. Por tanto, atendiendo a la tabla:

RODAMIENTOS DE RODILLOS

Duración en horas L_h	Revoluciones por minuto													
	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
100				1,05	1,21	1,39	1,49	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42
500				1,13	1,30	1,49	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78
1000			1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97
1250		1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19
1600		1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42
2000	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66
2500	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
3200	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20
4000	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50
5000	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82
6300	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17
8000	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54
10 000	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94
12 500	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36
16 000	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81
20 000	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30
25 000	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
32 000	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
40 000	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
50 000	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
63 000	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
80 000	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
100 000	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
200 000	4,20	4,82	5,54	6,36	7,30	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6

Duración en horas L_h	Revoluciones por minuto													
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
100	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
500	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36
1000	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
1250	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
1600	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
2000	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
2500	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
3200	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
4000	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
5000	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7
6300	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6
8000	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6
10 000	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6
12 500	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7
16 000	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9
20 000	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2
25 000	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6
32 000	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	
40 000	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6		
50 000	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6			
63 000	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6				
80 000	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6					
100 000	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6						
200 000	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6									

Figura 3.23 Tabla del coeficiente de seguridad de carga $\frac{C}{P}$ para diferentes horas de funcionamiento y velocidades diferentes

Vemos que el rango de valores para $\frac{C}{P}$ en el que nos movemos va desde 1,30 hasta 1,60; siendo:

P = Carga equivalente, para cuyo cálculo ya se disponen de todos los datos, proveniente de la ecuación (I).

C = **Capacidad de base dinámica** del rodamiento, es decir, la carga constante admisible para una duración nominal del rodamiento de un millón de revoluciones.

Por último, si pasamos la duración en horas de funcionamiento a **duración en millones de revoluciones** siguiendo la fórmula:

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot L_h}{1\,000\,000} \quad (\text{III})$$

Con n la velocidad en revoluciones por minuto, que se ha tomado con un máximo de 10.

Asistiendo a la última fórmula, podemos ver cómo se **relaciona la duración de los rodamientos con la carga**:

$$L^{1/p} = \frac{C}{P} \quad (\text{IV})$$

Con $p = 10/3$ para rodamientos de rodillos.

Por lo tanto, obtenemos un valor de $L = 3$ si tomamos que la duración en horas de funcionamiento son 5 000 horas.

Para dicho valor de L , se puede comprobar en esta última tabla mostrada en la figura 3.24, cómo el valor que nos sale para $\frac{C}{P}$ es de 1,39, lo que coincide con lo visto anteriormente.

RODAMIENTOS DE BOLAS				RODAMIENTOS DE RODILLOS			
Duración en millones de revoluciones L	$\frac{C}{P}$	Duración en millones de revoluciones L	$\frac{C}{P}$	Duración en millones de revoluciones L	$\frac{C}{P}$	Duración en millones de revoluciones L	$\frac{C}{P}$
0,5	0,793	600	8,43	0,5	0,812	600	6,81
0,75	0,909	650	8,66	0,75	0,917	650	6,98
1	1	700	8,88	1	1	700	7,14
1,5	1,14	750	9,09	1,5	1,13	750	7,29
2	1,26	800	9,28	2	1,24	800	7,43
3	1,44	850	9,47	3	1,39	850	7,56
4	1,59	900	9,65	4	1,52	900	7,70
5	1,71	950	9,83	5	1,62	950	7,82
6	1,82	1000	10	6	1,71	1000	7,94
8	2	1100	10,3	8	1,87	1100	8,17
10	2,15	1200	10,6	10	2	1200	8,39
12	2,29	1300	10,9	12	2,11	1300	8,59
14	2,41	1400	11,2	14	2,21	1400	8,79
16	2,52	1500	11,4	16	2,30	1500	8,97
18	2,62	1600	11,7	18	2,38	1600	9,15
20	2,71	1700	11,9	20	2,46	1700	9,31
25	2,92	1800	12,2	25	2,63	1800	9,48
30	3,11	1900	12,4	30	2,77	1900	9,63
35	3,27	2000	12,6	35	2,91	2000	9,78
40	3,42	2200	13	40	3,02	2200	10,1
45	3,56	2400	13,4	45	3,13	2400	10,3
50	3,68	2600	13,8	50	3,23	2600	10,6
60	3,91	2800	14,1	60	3,42	2800	10,8
70	4,12	3000	14,4	70	3,58	3000	11
80	4,31	3200	14,7	80	3,72	3200	11,3
90	4,48	3400	15	90	3,86	3400	11,5
100	4,64	3600	15,3	100	3,98	3600	11,7
120	4,93	3800	15,6	120	4,20	3800	11,9
140	5,19	4000	15,9	140	4,40	4000	12
160	5,43	4500	16,5	160	4,58	4500	12,5
180	5,65	5000	17,1	180	4,75	5000	12,9
200	5,85	5500	17,7	200	4,90	5500	13,2
220	6,04	6000	18,2	220	5,04	6000	13,6
240	6,21	6500	18,7	240	5,18	6500	13,9
260	6,38	7000	19,1	260	5,30	7000	14,2
280	6,54	7500	19,6	280	5,42	7500	14,5
300	6,69	8000	20	300	5,54	8000	14,8
320	6,84	8500	20,4	320	5,64	8500	15,1
340	6,98	9000	20,8	340	5,75	9000	15,4
360	7,11	9500	21,2	360	5,85	9500	15,6
380	7,24	10000	21,5	380	5,94	10000	15,8
400	7,37	12000	22,9	400	6,03	12000	16,7
420	7,49	14000	24,1	420	6,12	14000	17,5
440	7,61	16000	25,2	440	6,21	16000	18,2
460	7,72	18000	26,2	460	6,29	18000	18,9
480	7,83	20000	27,1	480	6,37	20000	19,5
500	7,94	25000	29,2	500	6,45	25000	20,9
550	8,19	30000	31,1	550	6,64	30000	22

Figura 3.24 Tabla del coeficiente de seguridad de carga $\frac{C}{P}$ para diferentes valores de la duración en millones de revoluciones

Dichas condiciones son satisfechas por el rodamiento elegido para la labor de la máquina sin ningún tipo de problemas y las cargas a las que se ve sometido son resistidas perfectamente. Además, garantizamos así un correcto funcionamiento del rodamiento en toda la vida de la máquina, ya que tenemos un valor de la duración para el mismo muy elevado.

Ahora se pasará a tratar la unión de dicho rodamiento que ya se ha elegido con el resto de piezas. Concretamente, en la sujeción inferior, el rodamiento deberá ser encajado en un alojamiento en el bloque base, mediante un **ajuste con juego** y a su vez, en su interior habrá que encajar un eje mediante un **ajuste con apriete**.

Se entiende por **ajuste** la relación entre las medidas de dos piezas que encajan, que reciben la denominación de eje y agujero.

El **juego (J)** entre dichas piezas será la diferencia entre la medida exterior del eje y la medida interior del agujero. Una representación gráfica se muestra en la figura 3.25.

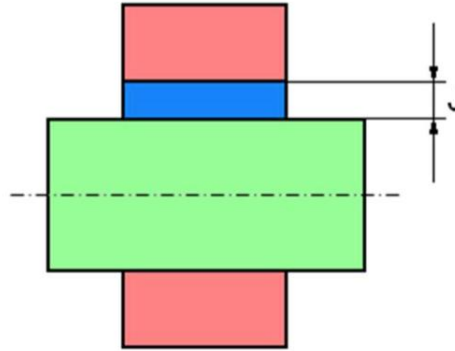


Figura 3.25 Representación gráfica de juego entre eje y agujero

El juego se calcula de la siguiente forma:

$$J_{\text{máximo}} = D_{\text{máximo}} - d_{\text{mínimo}} = ES - ei \tag{V}$$

$$J_{\text{mínimo}} = D_{\text{mínimo}} - d_{\text{máximo}} = EI - es \tag{VI}$$

$$J_{\text{medio}} = \frac{J_{\text{máximo}} - J_{\text{mínimo}}}{2} \tag{VII}$$

Se tienen tres tipos de ajuste, que se pueden apreciar en la figura 3.26 mostrada a continuación:

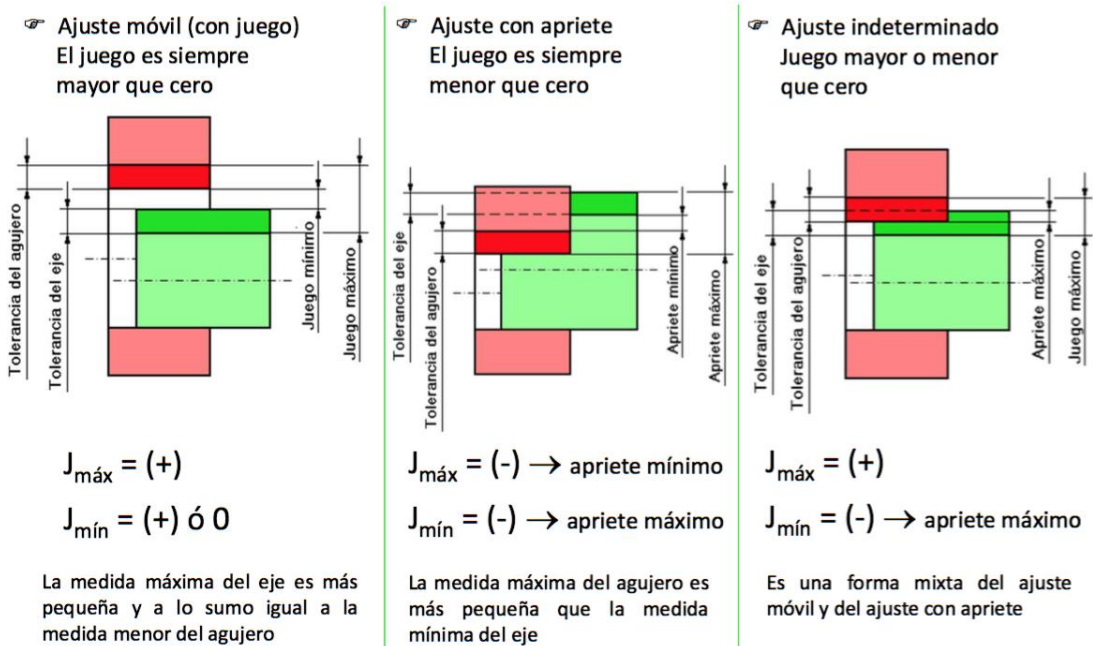


Figura 3.26 Tipos de ajuste

Por lo tanto, pasamos ahora a la selección de los ajustes. Primero se tratará la **selección del ajuste para el eje**.

Atendiendo a la tabla que se muestra en la figura 3.27, que es la **tabla de ajustes para ejes para rodamientos axiales**, se observa que, para una carga combinada (axial y radial), los ajustes normalizados son los ajustes **j6** y **k6** para un diámetro del eje menor a 200 mm, respectivamente, dependiendo de si se toma la carga como **fija** o como **rotativa**.

Ejes para rodamientos axiales

Condiciones		Diámetro del eje en mm	Tolerancia
Carga puramente axial		Todos los diámetros	j6
Carga combinada en rodamientos axiales de rodillos a rótula	«Carga fija» sobre aro fijo al eje	Todos los diámetros	j6
	«Carga rotativa» sobre aro fijo al eje o «dirección de carga indeterminada»	≤ 200	k6
		(200) - - - 400	m6
	> 400	n6	

Figura 3.27 Tabla de ajustes normalizados para ejes para rodamientos axiales

Dado que el eje ha de ser mecanizado en el taller de mecanizado, en el que no se disponen de métodos tan precisos de dimensionado, se optará por elegir un **ajuste j6** de manera que, como las cargas axiales que se producen son mayores que las radiales, se tendrá un funcionamiento correcto del rodamiento. En la figura 3.28 se aprecian los valores de las tolerancias normalizadas para los diferentes ajustes, incluidas en el libro 'Montaje de Rodamientos. FAG. Publicación WL 80 100/3 SB' [16].

Dado el rodamiento elegido, se tiene que el cilindro deberá tener un **diámetro de 20 mm**, que será mecanizado para que su parte inferior tenga un **diámetro de 17 mm** con el ajuste que se ha calculado anteriormente. Como medida acorde con el diámetro del cilindro para el roscado se tomará la **rosca M 20 x 1** en su parte superior. Por consiguiente, el agujero roscado de las placas de apriete inferior de la chapa a cortar tendrán que tener **rosca M 20 x 1** también.

Una vez seleccionado el ajuste del eje que irá encajado en el rodamiento, se pasa al cálculo del **ajuste del rodamiento en el alojamiento** que tendrá que ser mecanizado en el bloque base de la sujeción para el mismo.

Dicho ajuste, se podrá mecanizar con un juego dado que, además, se va a fijar el rodamiento con **adhesivo de rodamientos** de tal manera que se mantenga en su sitio sin problemas, dado que **va a trabajar a compresión**.

Atendiendo al libro *‘Montaje de Rodamientos. FAG. Publicación WL 80 100/3 SB’ [16]* se va a buscar un ajuste con juego que sea lo más preciso posible que se pueda obtener en el taller de mecanizado. En la tabla que se muestra en la figura 3.29, en la que entraremos con el diámetro del alojamiento que recogerá el borde externo del rodamiento número 30203, que es de **40 mm**, se encuentran recogidas las **tolerancias** que poseen los rodamientos y los **ajustes** que pueden ser seleccionados.

		Medidas en mm													
Medida nominal	diámetro más de alojamiento hasta	6	10	18	30	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valores de tolerancia en µm (tolerancia normal)		-8	-8	-9	-11	-13	-13	-15	-15	-18	-18	-25	-30	-30	-30

Diagrama del ajuste		Tolerancia del alojamiento en µm													
Diagrama	Diagrama Rodamiento	6	10	18	30	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225
	D10	+98	+120	+149	+180	+220	+220	+260	+260	+305	+305	+305	+355	+355	+355
	E8	+47	+59	+73	+89	+106	+106	+126	+126	+148	+148	+148	+172	+172	+172
	F7	+28	+34	+41	+50	+60	+60	+71	+71	+83	+83	+83	+96	+96	+96
	G6	+14	+17	+20	+25	+29	+29	+34	+34	+39	+39	+39	+44	+44	+44
	G7	+20	+24	+28	+34	+40	+40	+47	+47	+54	+54	+54	+61	+61	+61
	h6	+6	+8	+9	+11	+13	+13	+15	+15	+18	+18	+18	+20	+20	+20
	h7	+9	+11	+13	+16	+19	+19	+22	+22	+25	+25	+25	+29	+29	+29
	k6	+15	+18	+21	+25	+30	+30	+35	+35	+40	+40	+40	+46	+46	+46
	k7	+22	+27	+33	+39	+46	+46	+54	+54	+63	+63	+63	+72	+72	+72
	m6	+5	+6	+8	+10	+13	+13	+16	+16	+18	+18	+18	+22	+22	+22
	m7	+8	+10	+12	+14	+18	+18	+22	+22	+26	+26	+26	+30	+30	+30
	n6	+2	+2,5	+3	+3,5	+4	+4	+5	+5	+6	+6	+6	+7	+7	+7
	n7	+3	+4	+4,5	+5,5	+6,5	+6,5	+7,5	+7,5	+9	+9	+9	+10	+10	+10
	p6	+4,5	+5,5	+6,5	+8	+9,5	+9,5	+11	+11	+12,5	+12,5	+12,5	+14,5	+14,5	+14,5
	p7	+7,5	+9	+10,5	+12,5	+15	+15	+17,5	+17,5	+20	+20	+20	+23	+23	+23
	r6	+0,5	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	0	0
	r7	+1	+2	+1	+2	+3	+3	+2	+2	+3	+3	+3	+2	+2	+2
	s6	+2	+2	+2	+3	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+5	+5	+5

Figura 3.29 Tabla tolerancias y ajustes para alojamientos

Tenemos la opción de, para un ajuste con juego y el diámetro citado anteriormente, elegir entre ajustes G7, G6, F7, E8 y D10, pero dadas las posibilidades de mecanizado en el taller, el ajuste elegido será un **ajuste E8** para el alojamiento del rodamiento. Por lo tanto, las medidas quedan como:

Rodamiento número 30203

$$\text{Diámetro exterior} = D = 40 \text{ mm} \begin{pmatrix} 0,000 \\ -0,011 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 40,000 \text{ mm} \\ 39,989 \text{ mm} \end{matrix}$$

Teniendo en cuenta el ajuste para el **alojamiento** elegido:

$$40E8 \begin{pmatrix} +0,089 \\ +0,050 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 40,089 \text{ mm} \\ 40,050 \text{ mm} \end{matrix} \} \text{Alojamiento}$$

Se verifica así también, que el **diámetro exterior del rodamiento es menor que el diámetro mínimo de corte de chapa** y que el **diámetro de la placa de sujeción más pequeña**.

Sistema de sujeción superior:

Pasando ahora al sistema de sujeción superior, inicialmente se diseñó como aparece en la figura 3.9. En la figura 3.30 se puede apreciar dicho diseño con más detalle.

Las piezas que componen el mecanismo son descritas a continuación.

Diseño inicial:

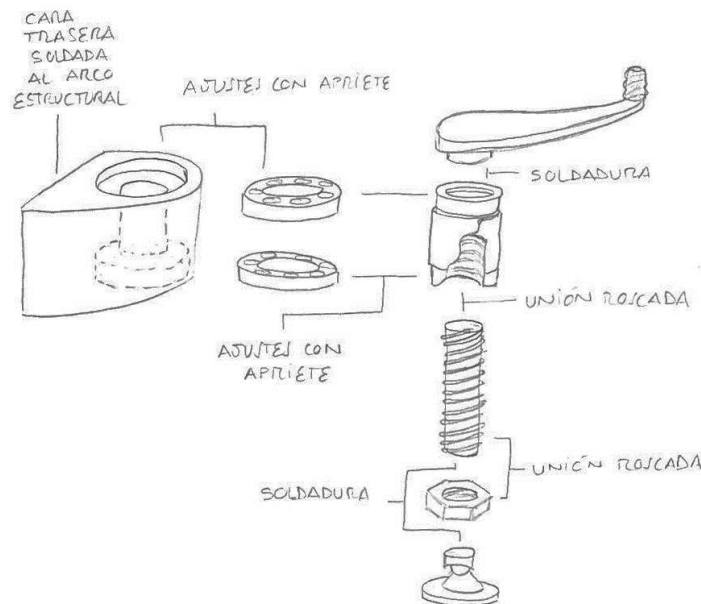


Figura 3.30 Diseño inicial de la sujeción superior

(De arriba a abajo)

- **Manivela de accionamiento manual**, se trata de la manivela que accionará el operario para ajustar el agarre de la chapa a cortar una vez colocada, la manivela tendrá una extensión que podría ir unida mediante una chaveta para el par de la palanca. Podría también ir soldada, o una combinación de ambas. Esta manivela, a diferencia de la de accionamiento principal del mecanismo de corte, no deberá soportar ningún par elevado, ya que simplemente servirá para apretar el tornillo que haga que la chapa quede fijada, por lo que una vez fijada, es decir, cuando empiecen a transmitirse esfuerzos debido a la resistencia al movimiento, se dejará de girar la manivela. El par de apriete de dicho tornillo es proporcional a la longitud de la manivela, por lo que cuanto más longitud tenga la manivela perpendicular al tornillo, mejor.
- **Tornillo** que irá, por la parte superior, soldado a la manivela, y por la parte inferior tendrá una **tuerca** soldada que hará de tope de desplazamiento vertical.
- **Cilindro hueco roscado** por su interior que contendrá al tornillo. Destacar que **la longitud del mismo ha de ser menor que la longitud del tornillo**.
- Dicho cilindro roscado irá ajustado por su exterior con **rodamientos radiales**, con sus respectivos portarrodamientos, contenidos en una **estructura de sujeción** que dejará girar libremente dicho cilindro, e irá **soldada al arco de sujeción** de la estructura.
- A la parte **inferior** del tornillo, en la tuerca que hará de tope, irá soldado un **platillo de giro loco**, con un **diámetro menor que el diámetro mínimo a cortar**, que será el que deje a la chapa girar libremente a medida que se realice su corte.

Diseño final:

Tras repasar el diseño y el futuro proceso de elaboración y obtención de los componentes de este mecanismo, se optó por una versión más sencilla e igual de eficaz. El diseño final se muestra en la figura 3.31. Al ser este mecanismo más simple, será más sencillo de construir y se abaratarán los costes, sin renunciar a sus posibilidades iniciales, el mecanismo seguirá siendo de accionamiento manual y permitirá un desplazamiento vertical de la sujeción para poder extraer y colocar la chapa, así como su correcto apriete y la característica de giro sin restricciones. Este sistema permitirá tanto la correcta colocación y extracción de las chapas, como la posibilidad de trabajar con **chapas de espesor variable**.

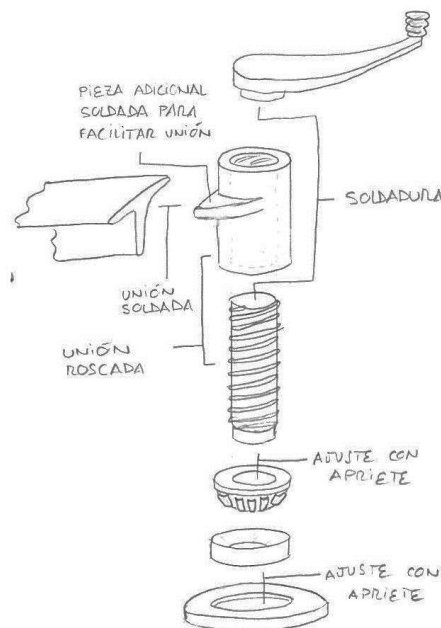


Figura 3.31 Diseño final de la sujeción superior

(De arriba a abajo)

- **Manivela de accionamiento manual**, idéntica a la del diseño inicial.
- **Tornillo o cilindro roscado** que irá, por la parte superior, soldado a la manivela, y por la parte inferior irá **mecanizado y encajado** en la parte interior de un **rodamiento axial de rodillos mediante un ajuste por apriete que se describirá posteriormente**.
- **Cilindro hueco roscado en su interior** que contendrá al tornillo. Destacar que **la longitud del mismo ha de ser menor que la longitud del tornillo**. Esta vez, será este mismo cilindro el que vaya **soldado al arco de soporte** de la estructura.
- **Placa de sujeción de la chapa a cortar** que irá encajada mediante un **ajuste con apriete a la parte exterior del rodamiento axial de rodillos**, con un **diámetro menor que el diámetro mínimo a cortar**.

Con esto nos ahorramos un rodamiento, los portarrodamientos y una estructura de sujeción intermedia.

Se añadirá, además, mediante una pequeña pieza plaza soldada en el exterior del cilindro hueco, una **guía con una escala de medidas** en la misma sobre la que deslizará un **marcador**, que nos indicará, realizando un giro previo al corte de la chapa sobre su eje vertical central, que se mantiene el contacto con la chapa en todo momento por parte de las cuchillas, es decir, se realizará así la **verificación de la colocación de la chapa correctamente y de la posibilidad de cortar el diámetro deseado**. Dicha idea, que ya se pudo observar en figuras anteriores, se ve con detalle en la figura 3.32.

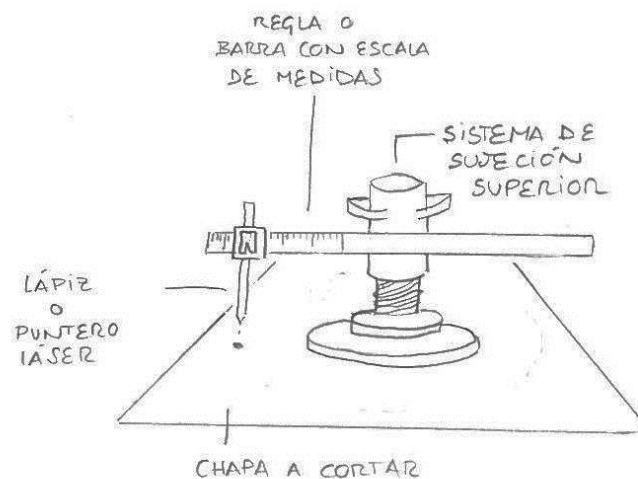


Figura 3.32 Sistema de comprobación de posibilidad de corte y colocación correctas.

Selección de materiales y dimensiones:

Partiendo de que se ha seleccionado **el mismo rodamiento** que el empleado en la sujeción inferior, para el **tornillo** se emplearán también **las mismas dimensiones y métrica**, y se mantiene **el mismo ajuste entre el rodamiento y el cilindro roscado** que en la sujeción inferior, y tendrá una longitud de **150 mm**, una longitud más que suficiente para dejar un margen de desplazamiento vertical de la sujeción para un libre manejo de la chapa. Por lo tanto, al cilindro hueco se le asignará un **diámetro exterior de 40 mm** y una **rosca M 20 x 1 en el interior** (correspondiente con la del tornillo), y tendrá una **altura de 90 mm**, suficiente para aportar estabilidad al tornillo y a su vez una firme unión al arco de soporte de la estructura. El material para ambos elementos será también el acero estructural. La manivela se fabricará en función de la **disponibilidad de materiales y elementos**.

Además, se le añadirá la guía del sistema de comprobación se utilizará una varilla soldada o atornillada en su punto medio, para ayudar a mantener el equilibrio y que por una carga en el extremo se produzca una flecha que distorsione la comprobación, que tendrá una escala de medida en uno de sus lados, aunque también serviría una regla metálica o similar, y un marcador que deslizará sobre la guía, pudiéndose emplear un sistema similar al de fijación de un lápiz en un compás.

El proceso de selección de rodamientos será el mismo que para la sujeción inferior, buscado en el catálogo de 'RODAMIENTOS, un manual para escuelas, Svenska AB, 1962' [15].

La placa de **sujeción superior** tendrá un diámetro de **50 mm**, y un espesor de **10 mm** e irá, mediante un **ajuste con apriete**, encajada a la parte exterior del rodamiento, en un hueco cilíndrico que será mecanizado con un diámetro de **40 mm** y una profundidad de **5 mm**.

Dicho ajuste puede ser consultado directamente en la continuación de la tabla para tolerancias de alojamientos del *manual de SKF [14]*, que se puede observar en la figura 3.33.

Diámetro nominal del agujero mm		K7		M6		M7		N6		N7		P7	
más de	hasta incl.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.
10	18	-12	+6	-15	-4	-18	0	-20	-9	-23	-5	-29	-11
18	30	-15	+6	-17	-4	-21	0	-24	-11	-28	-7	-35	-14
30	50	-18	+7	-20	-4	-25	0	-28	-12	-33	-8	-42	-17
50	80	-21	+9	-24	-5	-30	0	-33	-14	-39	-9	-51	-21
80	120	-25	+10	-28	-6	-35	0	-38	-16	-45	-10	-59	-24
120	180	-28	+12	-33	-8	-40	0	-45	-20	-52	-12	-68	-28
180	250	-33	+13	-37	-8	-46	0	-51	-22	-60	-14	-79	-33
250	315	-36	+16	-41	-9	-52	0	-57	-25	-66	-14	-88	-36
315	400	-40	+17	-46	-10	-57	0	-62	-26	-73	-16	-98	-41
400	500	-45	+18	-50	-10	-63	0	-67	-27	-80	-17	-108	-45
Ajuste del aro exterior dentro del soporte		Ajuste forzado medio		Ajuste forzado fuerte				Ajuste forzado duro				Ajuste ligero con prensa	

Figura 3.33 Tabla tolerancias y ajustes para soportes

Como se trata ahora de un ajuste con apriete para el alojamiento del rodamiento, que será la placa de fijación superior de la chapa, elegiremos un **ajuste forzado fuerte** para asegurarnos de que no se separa, ya que al separar la placa de la chapa a cortar, la gravedad ahora actuaría como fuerza perjudicial para el ajuste. Por lo tanto, elegiremos el ajuste **M7**, resultando que las medidas del hueco son:

$$40M7 \left(\begin{matrix} 0,000 \\ -0,025 \end{matrix} \right) = \left. \begin{matrix} 40,000 \text{ mm} \\ 39,975 \text{ mm} \end{matrix} \right\} \text{Alojamiento}$$

3.7 Estructura de soporte para ejes de corte

La estructura que soportará y acogerá los dos ejes, con sus respectivas cuchillas y los engranajes para el accionamiento del corte vendrá definida por las dimensiones de dichos elementos.

Esta estructura estará soldada a uno de los bloques de los anclajes, y en ella se situarán los ejes, aguantados por unos rodamientos ya seleccionados. El diseño de esos elementos se muestra a continuación en la figura 3.34, procedente del “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por Carlos Daza Pelegrina [21].

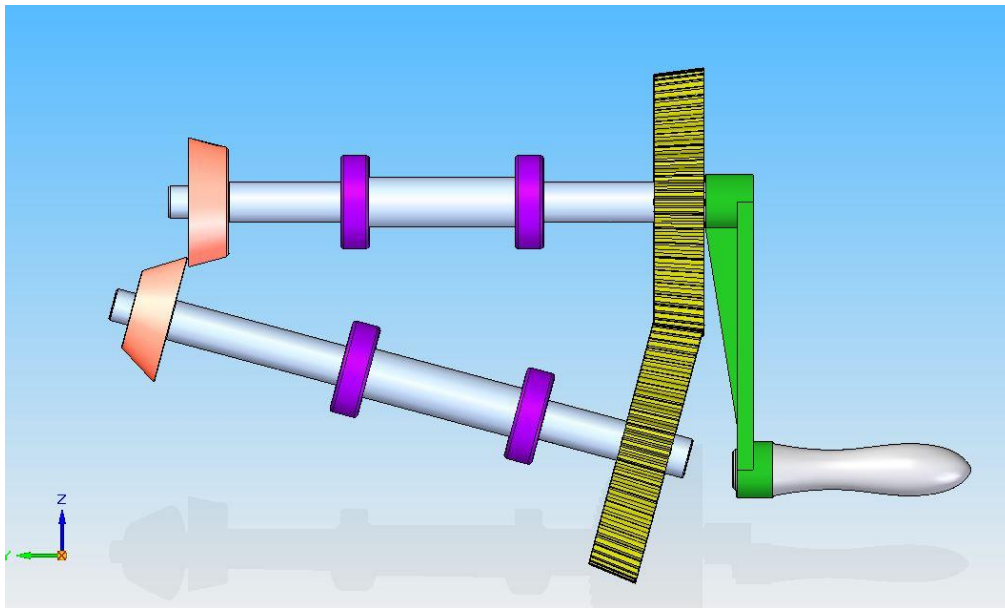


Figura 3.34 Diseño final de ejes con las cuchillas, los rodamientos y los engranajes “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Diseño inicial:

Inicialmente se comenzó a diseñar el sistema de corte de manera que incluyera, en cada eje, dos rodamientos con sus respectivos portarrodamientos. Al incluir ya sus respectivos portarrodamientos, bastaría con fabricar una placa de acero estructural que se sitúe en vertical, perpendicular al plano de trabajo, de tal manera que será soldada a la base, y se unirán, mediante tornillos, dicha placa y los portarrodamientos. Los tornillos tendrían una **rosca M 8 x 1**, que serán los que han sido elegidos según los portarrodamientos de la estructura que se seleccionaron inicialmente para el mecanismo de corte. Se añadiría además unos refuerzos en la base para evitar que el mecanismo ceda, se deforme o falle por no tener los ejes su centro de masa en el mismo plano vertical que el mecanismo de sujeción, sino produciendo un momento en la unión en su base. También se debería tener en cuenta, a la hora de elaboración del diseño, que dicha placa no colisione con los engranajes ni con las cuchillas, lo que podría dejar a la máquina sin funcionar.

Finalmente, este diseño quedó descartado ya que la estructura de soporte debería tener una resistencia muy elevada y sería muy difícil de conseguir que el mecanismo funcionase sin que se produjese alguna deformación o desplazamiento indeseado del mecanismo de corte.

Un boceto de este diseño inicial puede verse en la figura 3.35.

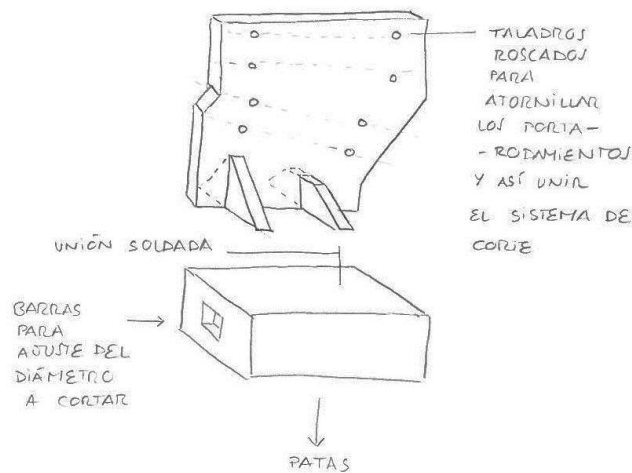


Figura 3.35 Boceto del diseño de la estructura inicial de soporte para los ejes en sus portarrodamientos

Diseño final:

Una vez que el diseño que aparece en la figura 3.34 fue tomado como definitivo y como diseño a seguir, se modificó el diseño de cogidas, optando por un método en el que encajasen directamente los rodamientos mediante un **ajuste con apriete**. Para dicho cometido se hará una nueva estructura, en la que todo el peso de los ejes recaiga de manera vertical, evitando así los momentos producidos en el diseño anterior, que forzaban a que el diseño tuviera una estructura tan elevada que sería difícil de obtener. Para fabricar esta nueva estructura, se construirán **dos bloques de acero estructural**. Cada uno de los mismos se dividirá en **tres partes** que irán atornilladas entre sí. El lugar donde vayan los ejes deberá ser mecanizado para dar acogida a los rodamientos, que tendrán que estar perfectamente colocados ya que de ello depende el correcto funcionamiento de la máquina. Se muestra un boceto de dicha estructura a continuación, en la figura 3.36.

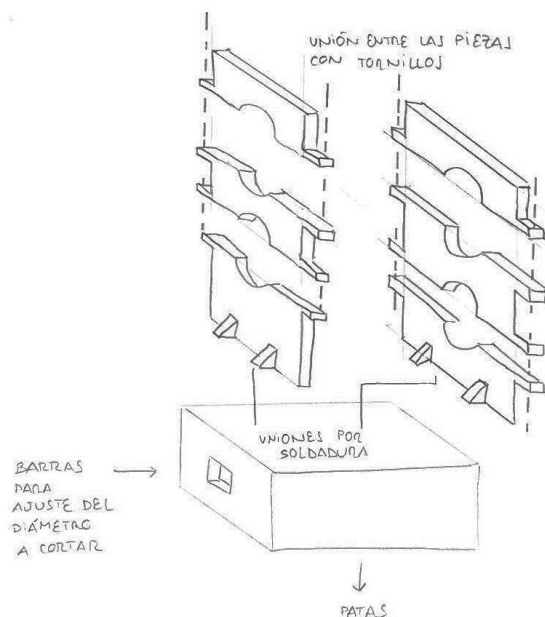


Figura 3.36 Boceto del diseño de la estructura final de soporte para los ejes

Destacar que, para su diseño final, y la elaboración del modelo 3D a ordenador, las medias y formas variarán para obtener un diseño más eficiente, rígido y estético.

Para la selección del ajuste con apriete, se tiene que los rodamientos del eje son **rodamientos radiales de bolas, modelo 6204 2RS**, información procedente del “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por Carlos Daza Pelegrina [21], y se consulta el ‘*RODAMIENTOS, un manual para escuelas, Svenska AB, 1962*’ [15] en el que se encuentra la tabla de la figura 3.37, que muestra el ajuste que se necesita.



SELECCIÓN DEL AJUSTE

Soportes para rodamientos radiales

Válido para soportes de hierro fundido o acero. Para soportes de aleación ligera, se escoge en general una tolerancia que dé un ajuste más fuerte que el que resulta de las indicaciones de la tabla.

Condiciones		Ejemplos	Tolerancia	Observaciones ¹⁾
Soportes enterizos «Carga rotativa sobre aro exterior»	Cargas pesadas, soportes con paredes de poco espesor Cargas pesadas de choque	Cubos de rueda con rodamientos de rodillos, rodamientos de cigüeñal	P7	Aro exterior no desplazable axialmente
	Cargas normales y pesadas	Cubos de rueda con rodamientos de bolas, rodamientos de cigüeñal	N7	
	Cargas pequeñas y variables	Rodillos transportadores, roldanas de cable, poleas tensoras	M7	
Soportes partidos o enterizos «Dirección de carga indeterminada»	Cargas pesadas de choque	Motores eléctricos de tracción	K7	Aro exterior generalmente no desplazable axialmente
	Cargas pesadas y normales Desplazamiento axial del aro exterior no necesario	Máquinas eléctricas de tamaño mediano, bombas, rodamientos de apoyo de ejes cigüeñales		
	Cargas normales y pequeñas Desplazamiento axial del aro exterior conveniente	Máquinas eléctricas de tamaño mediano, bombas, rodamientos de apoyo de ejes cigüeñales	J7	Aro exterior generalmente desplazable axialmente
Soportes partidos o enterizos «Carga fija sobre aro exterior»	Cargas de choque, con eventuales interrupciones de la acción de la carga	Cajas de grasa para vehículos de ferrocarriles y tranvías	H7	Aro exterior fácilmente desplazable axialmente
	Toda clase de cargas	Aplicaciones en general, cajas de grasa para vehículos de ferrocarriles y tranvías, grandes máquinas eléctricas con rodamientos de rodillos cilíndricos		
	Cargas normales y pequeñas con ligeras condiciones de servicio	Transmisiones	H8	
	Transmisión de calor por el eje	Cilindros secadores, grandes máquinas eléctricas con rodamientos de rodillos a rótula	G7	
Soportes enterizos	Exigencias de giro preciso y silencioso	Rodamientos de rodillos en husillos de máquinas-herramienta	K6 ^{*)}	Aro exterior generalmente no desplazable axialmente
		Rodamientos de bolas en husillos de rectificadora, motores eléctricos pequeños	J6	Aro exterior desplazable axialmente
		Motores eléctricos pequeños cuando se desca un desplazamiento fácil del aro exterior	H6	Aro exterior fácilmente desplazable axialmente

Figura 3.37 Tabla de ajuste para los alojamientos de los rodamientos de los ejes del mecanismo de corte

Se observa en la tabla que dichos ajustes son **válidos solamente para soportes de hierro fundido o acero**, otro de los motivos por los que se ha elegido acero estructural para este sistema de sujeción.

El mecanismo de apoyo y sujeción de los ejes que portarán las cuchillas de corte trabajará con “carga rotativa sobre aro exterior” y dicha carga serán “cargas normales y pesadas” y se tiene como condición que no haya desplazamiento axial del aro exterior. Por todo ello se ha seleccionado un **ajuste de tolerancia N7** para las cogidas del rodamiento, por lo que, teniendo en cuenta que el rodamiento, según el catálogo, tiene un **diámetro exterior de 47 mm con tolerancias (+0,000 mm / -0,011 mm)**, las medidas del alojamiento serán, teniendo en cuenta la tabla de la figura 3.38, las de un **alojamiento forzado duro**, con:

Diámetro nominal del agujero mm		K7		M6		M7		N6		N7		P7	
más de	hasta incl.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.
10	18	- 12	+ 6	- 15	- 4	- 18	0	- 20	- 9	- 23	- 5	- 29	- 11
18	30	- 15	+ 6	- 17	- 4	- 21	0	- 24	- 11	- 28	- 7	- 35	- 14
30	50	- 18	+ 7	- 20	- 4	- 25	0	- 28	- 12	- 33	- 8	- 42	- 17
50	80	- 21	+ 9	- 24	- 5	- 30	0	- 33	- 14	- 39	- 9	- 51	- 21
80	120	- 25	+ 10	- 28	- 6	- 35	0	- 38	- 16	- 45	- 10	- 59	- 24
120	180	- 28	+ 12	- 33	- 8	- 40	0	- 45	- 20	- 52	- 12	- 68	- 28
180	250	- 33	+ 13	- 37	- 8	- 46	0	- 51	- 22	- 60	- 14	- 79	- 33
250	315	- 36	+ 16	- 41	- 9	- 52	0	- 57	- 25	- 66	- 14	- 88	- 36
315	400	- 40	+ 17	- 46	- 10	- 57	0	- 62	- 26	- 73	- 16	- 98	- 41
400	500	- 45	+ 18	- 50	- 10	- 63	0	- 67	- 27	- 80	- 17	- 108	- 45
Ajuste del aro exterior dentro del soporte		Ajuste forzado medio		Ajuste forzado fuerte				Ajuste forzado duro				Ajuste ligero con prensa	

Figura 3.38 Tabla de tolerancias para los alojamientos de los rodamientos de los ejes del mecanismo de corte

$$47N7 \left. \begin{matrix} (-0,008) \\ (-0,033) \end{matrix} \right\} = \left. \begin{matrix} 46,992 \text{ mm} \\ 39,967 \text{ mm} \end{matrix} \right\} \text{ Alojamiento}$$

3.8 Mecanismo de ajuste del diámetro a cortar

Tras estudiar diversas posibilidades, se descartaron entre ellas las que se pueden observar en las máquinas de diseños similares por disponer de métodos alternativos, además de la mayor dificultad que tendría un perfil circular (como los de la mayoría de las máquinas de diseño similar) de ser estabilizado para que la chapa permanezca paralela a la superficie. Finalmente, dicho método alternativo consistirá en que el arco de la estructura esté unido a un **sistema móvil que regulará el diámetro a cortar** de la chapa. Dicho mecanismo es el que se refleja en las figuras 3.39 y 3.40, que ya se definió en la figura 3.9, y estará compuesto por **dos barras**, de tal manera que **una deslice por el exterior de la otra**. La **barra exterior**, que será la **móvil**, será la que vaya **solidaria al arco de la estructura**, y llevará un marcador que nos indicará la medida que hayamos seleccionado, que se verá reflejada en la **barra interior** que será la **fija**, estableciendo una escala para las medidas en la misma.

El método por el que se fijará la medida elegida será mediante un **apriete realizado por un tornillo**. A la barra exterior se le realizará una perforación, y se le soldará una tuerca con la misma métrica que el tornillo. A su vez, a la cabeza del tornillo se unirá un pomo de plástico de tal manera que el tornillo pueda ser **apretado y aflojado por el operario manualmente**. De esta manera, una vez seleccionado el diámetro a cortar y colocada la barra exterior en la posición deseada respecto a la barra interior, el operario simplemente tendrá que apretar el tornillo a través de la tuerca hasta que por presión se queden las barras fijas una respecto a la otra, de manera que el mecanismo no se mueva.

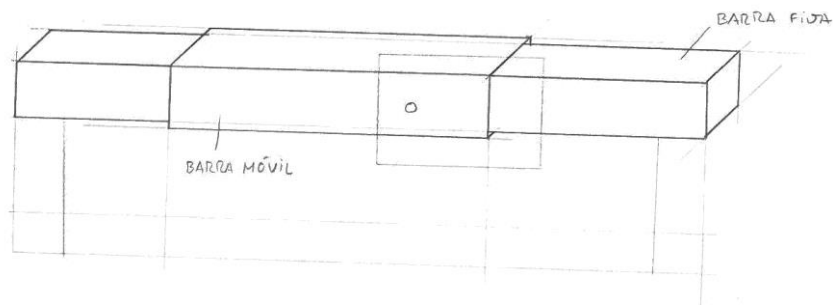


Figura 3.39 Mecanismo de ajuste del diámetro a cortar

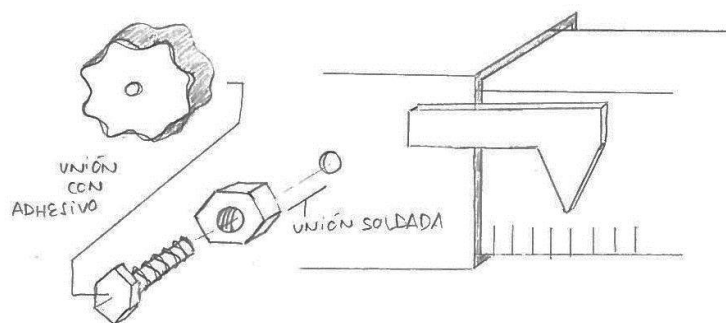


Figura 3.40 Mecanismo de ajuste del diámetro a cortar (detalles)

Dicho mecanismo no se ha visto modificado desde que se fue a comprobar al taller la viabilidad de su diseño y la disposición de las barras, que se pueden ver en la figura 3.41, tendrán las siguientes características:

- Barra exterior:
 - Material: Acero estructural.
 - Perfil: Cuadrado hueco de 2 mm de espesor.
 - Longitud: 360 mm
 - Dimensiones del perfil (externo): 40 mm x 40 mm
- Barra interior:
 - Material: Acero estructural
 - Perfil: Cuadrado hueco de 2 mm de espesor.
 - Longitud: 725 mm
 - Dimensiones del perfil (externo): 35 mm x 35 mm



Figura 3.41 Foto de las barras del taller

Suponiendo que la barra fija va encajada y soldada a un bloque de acero en cada extremo, se tomará una medida de 50 mm de la parte que vaya encajada a dicho bloque por cada lado, por lo que la **longitud de la parte vista de la barra fija** será de **625 mm**.

Los cálculos que serán necesarios para cumplir las especificaciones de diseño son los siguientes:

Para comprobar que la elección del mecanismo cumpla con sus solicitaciones, este mecanismo se simulará como una **barra bi-empotrada**, con **desplazamientos y momentos restringidos en sus dos extremos**. La barra se tomará de acero estructural con unas propiedades especificadas en el cálculo que va a realizarse, y el resto de la estructura soportada será: Arco de soporte y mecanismos de fijación de la chapa, ya que el mecanismo de corte y estructura de soporte del mismo recaen directamente en los apoyos de su correspondiente lado. Dichos conjuntos de elementos serán tomados como **una carga puntual situada en su centro**, pues será en el instante en el que se vaya a cortar el diámetro de chapa que corresponda a la posición en la que el arco de la estructura apoye en la barra cuando ésta esté situada equidistante de ambos empotramientos, cuando se produzcan los mayores esfuerzos en la barra. Para este cálculo se tomarán aproximaciones en el cálculo del peso, ya que realizaremos un **cálculo aproximado, sobredimensionando para quedarnos por el lado de la seguridad**. Un esquema de la barra bi-empotrada y su carga localizada puede visualizarse en la figura 3.42.

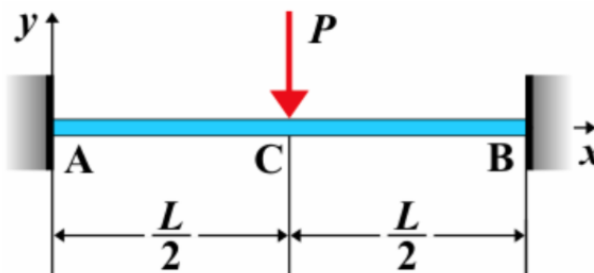


Figura 3.42 Esquema de cargas sobre estructura de barra bi-empotrada con múltiples solicitaciones

Mecanismo de fijación de chapa sup. + mecanismo de fijación inf. + chapa + arco de soporte = P [N]

Sabiendo que:

$$1 N = 1 \frac{m}{s^2}$$

$$gravedad = g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

La viga la supondremos una viga de sección cuadrada hueca, a la que le daremos de **espesor 2mm** y de **lado exterior 40 mm** sin contar la barra móvil, de este modo el cálculo resultará favorable al lado de la seguridad, ya que la barra móvil supondría en la parte central, un **refuerzo** al añadir en dicha parte donde se aplica la carga, un refuerzo de otros **2 mm de espesor adicionales en el interior**, lo que mejorará mucho más la resistencia a dicha carga. La **longitud L** serán **625 mm** como ya se estableció anteriormente.

El **momento de inercia** podemos calcularlo, dado este cuerpo de partículas continuo, y unos ejes que se pueden observar en la figura 3.43, se puede calcular siguiendo la definición del momento de inercia:

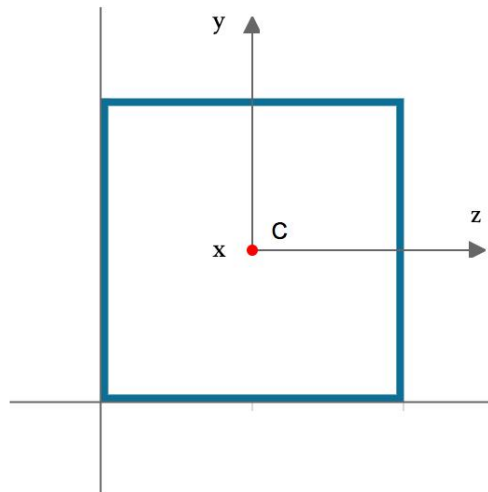


Figura 3.43 Perfil de la barra para el cálculo de esfuerzos de la biga bi-empotrada

$$I = \int_m r^2 \cdot dm = \int_v \rho \cdot r^2 \cdot dV \quad (\text{VIII})$$

Donde r es la distancia de cada partícula al eje.

Realizando los cálculos el valor del **momento de inercia** es:

$$I = 39\,572 \text{ mm}^4$$

Calculando también el **área del perfil** nos queda que:

$$\text{Área} = 156 \text{ mm}^2$$

Para el **cálculo de la carga P**, se deberá llevar a cabo una **aproximación** del **peso** de cada uno de los elementos, para el que tomaremos que el **peso propio de la barra** es **despreciable** frente a dicha carga P:

Propiedades del **acero estructural**:

$$\text{Densidad} = \rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Límite elástico} = \sigma_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\text{Módulo de elasticidad} = E = 210\,000 \text{ N/mm}^2 = 210\,000 \text{ Mpa}$$

- Sujeción de la chapa superior = manivela + cilindro roscado + cilindro hueco roscado + rodamiento número 30203 + placa de sujeción superior.

$$\text{Volumen aproximado del conjunto} = 1\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ m}^3;$$

$$\text{Peso aproximado del conjunto} = 7,850 \text{ kg}$$

- Sujeción de la chapa inferior = plancha base + rodamiento número 30203 + cilindro roscado + placa de sujeción inferior.

$$\text{Volumen aproximado del conjunto (tomando que el volumen de la manivela superior es equivalente al volumen de la plancha base inferior)} = 1\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ m}^3;$$

$$\text{Peso aproximado del conjunto} = 7,850 \text{ kg}$$

- Arco de la estructura: El arco de la estructura es un perfil en forma de T que ha sido deformado hasta obtener la forma solicitada, por lo que sabiendo la sección y conociendo la longitud se calcula el peso del mismo. El perfil previamente seleccionado es un **perfil T60**, por tanto:

$$\text{Masa unitaria} = 6,23 \text{ kg/m}$$

Para el cálculo de la longitud se tomará una forma de U de la viga, con una curva de **curvatura constante**, que será aproximación suficiente para obtener su valor, ya que, tomando una longitud algo mayor a la necesaria, se compensa la disminución de alcance de la viga al ser deformada para obtener la longitud exacta.

Teniendo en cuenta las medidas de los elementos que irán soldados al arco, que irán concéntricos a la chapa a cortar, y otras medidas necesarias:

- Cilindro hueco de la sujeción superior: diámetro de 40 mm.
- Bloque base de la sujeción inferior: lado de 70 mm.
- Longitud mínima de separación en el plano de la chapa del arco de sujeción con el centro de la chapa a cortar (dicho cálculo se realizó anteriormente):

El tamaño será el mínimo requerido para operar con chapas de dimensiones cuadradas con un lado de máximo algo superior a 300 mm, que es el diámetro máximo de discos a cortar, que se tomará de 310 mm, por lo tanto, el arco de soporte tendrá que tener una separación horizontal en el plano de la chapa de:

$$\sqrt{2} \cdot 310 \text{ mm} = 438,406 \text{ mm} \quad (\text{IX})$$

Dicho valor se tomó, redondeando, de 500 mm.

- Separación aproximada entre centros de gravedad de la sección de la viga en la unión al mecanismo de sujeción en la parte superior del arco y parte inferior: 200 mm

Resulta, siguiendo la esquemática de la figura 3.44:

$$\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 200}{2}\right) + (300 - 35) + (300 - 20) = 1\,173,3185 \text{ mm} \quad (\text{X})$$

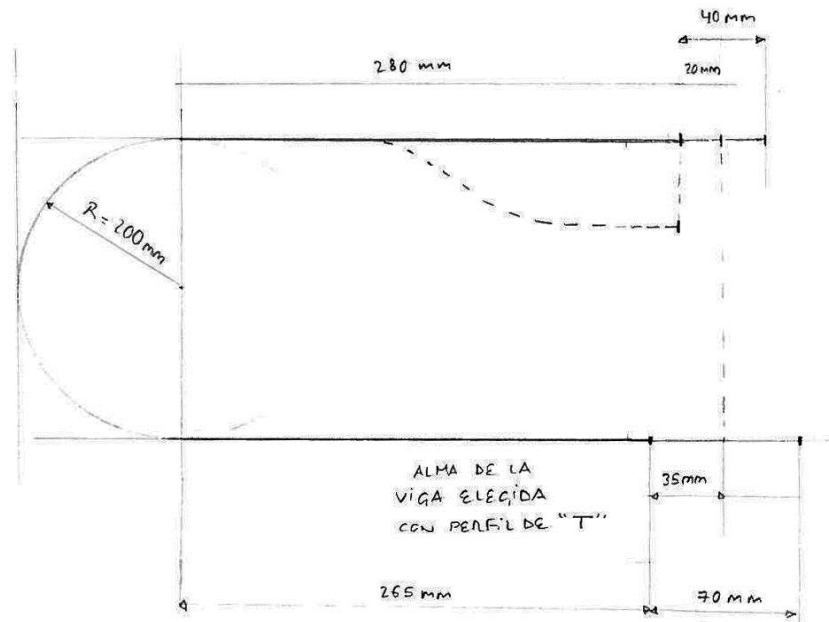


Figura 3.44 Esquema utilizado para el cálculo de la longitud de la viga

Por lo tanto, redondeando, elegiremos una **longitud de la viga de 1 200 mm**.

Resultando una masa de la viga:

$$1,200 \text{ m} \cdot 6,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 7,476 \text{ kg} \quad (\text{XI})$$

- Chapa a cortar:

Chapa de diámetro máximo a cortar = $D = 300 \text{ mm}$

Espesor máximo a cortar = $e = 2 \text{ mm}$

Volumen de la chapa límite =

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4}\right) \cdot e = 0,0001414 \text{ m}^3 \quad (\text{XII})$$

Como se puede observar el peso de la chapa será despreciable frente al resto de elementos, ya que, además, éstos han sido sobredimensionados en la aproximación del peso.

Finalmente resulta una **carga P** estática de:

$$P = (7,476 \text{ kg} + 2 \cdot 7,850 \text{ kg}) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 227,35656 \text{ N} \quad (\text{XIII})$$

Atendiendo al 'Prontuario de cálculo de esfuerzos y deflexiones en vigas' [9] en el caso que concierne a nuestra estructura, se tiene que, con $x = L/2$, resulta:

Deflexión:

$$y_{AC} = \frac{-P \cdot x^2}{48 \cdot EI} (3L - 4x) \quad (\text{XIV})$$

$$y_{CB} = \frac{-P \cdot (L-x)^2}{48 \cdot EI} (4x - L) \quad (\text{XV})$$

Pendiente:

$$\theta_{AC} = \frac{-P \cdot x}{8 \cdot EI} (L - 2x) \quad (\text{XVI})$$

$$\theta_{CB} = \frac{P}{8 \cdot EI} (L^2 - 3Lx + 2x^2) \quad (\text{XVII})$$

Momento:

$$M_{AC} = \frac{-P}{8} (L - 4x) \quad (\text{XVIII})$$

$$M_{CB} = \frac{P}{8} (3L - 4x) \quad (\text{XIX})$$

Cortante:

$$V_{AC} = \frac{P}{2} \quad (\text{XX})$$

$$V_{CB} = \frac{-P}{2} \quad (\text{XXI})$$

Reacciones:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} \quad (\text{XXII})$$

Se observa que, en el caso más crítico, que se expuso anteriormente, donde $x = L/2$, las ecuaciones anteriores resultan:

Deflexión en $x = L/2$:

$$y_{AC} = y_{CB} = -0,034789 \text{ mm}$$

Pendiente en $x = L/2$:

$$\theta_{AC} = \theta_{CB} = 0$$

Momento en $x = L/2$:

$$M_{AC} = M_{CB} = 17,7622 \text{ Nm}$$

Mientras que, si queremos saber también los valores **en los empotramientos**, siguiendo el diagrama de la figura 3.45, tendremos los valores mostrados y unos **diagramas de esfuerzos en la viga** tal que:

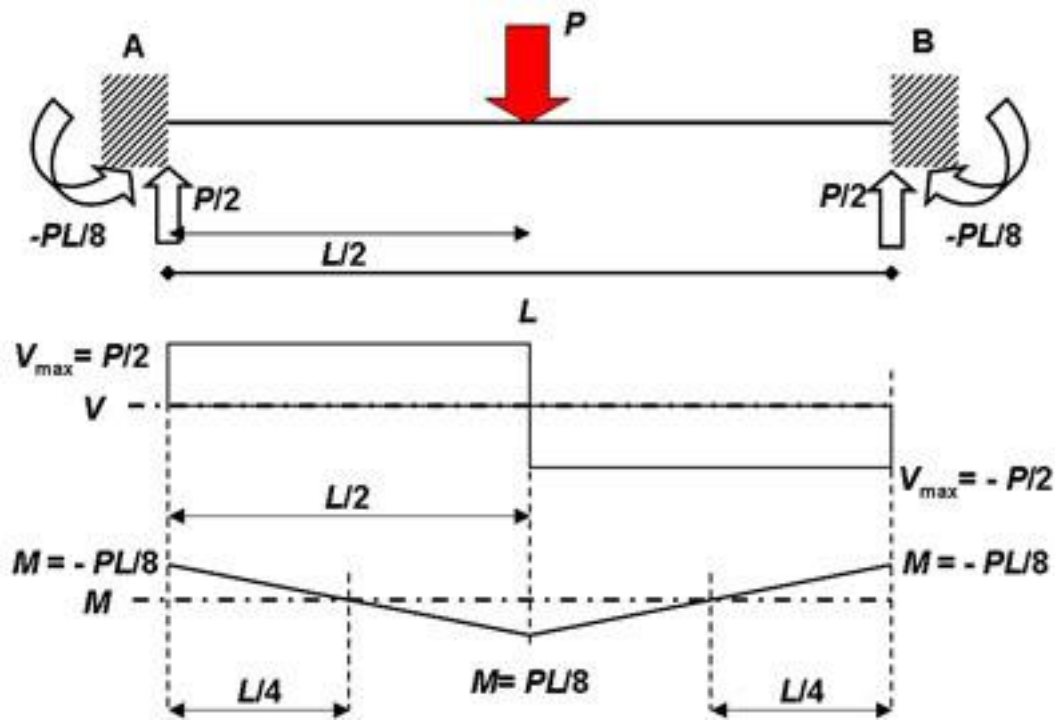


Figura 3.45 Diagrama de esfuerzos en viga bi-empotrada

Momentos en empotramientos:

$$M_{x=0} = M_{x=L} = -17,7622 \text{ Nm}$$

Cortantes en a cada lado:

$$V_{AC} = \frac{P}{2} = 113,6783 \text{ N}$$

$$V_{CB} = \frac{-P}{2} = -113,6783 \text{ N}$$

Reacciones:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = 113,6783 \text{ N}$$

Con estos resultados, se puede apreciar que las flechas producidas son prácticamente imperceptibles, por lo que **no afectará al proceso de corte**.

Se puede comprobar, así mismo, que las tensiones que se producen, dada el área de la viga calculada previamente, en los extremos y en punto de aplicación de cargas son **mucho menores** que el **límite elástico** típico de aceros estructurales, que es de **250 MPa**, por lo que la estructura de la máquina aguantará perfectamente su cometido.

3.9 Base y apoyos

Primero se pensó en hacer la máquina fija, pero al llegar a las especificaciones finales para el corte, y las pequeñas dimensiones de las chapas requeridas, se llegó a la conclusión de que la máquina podría **no ser fija**, sino ir situada en una banca de trabajo, lo que ahorraría mucho material, y podría ser **transportada**. Por lo tanto, se llegó a la decisión de que todo el sistema irá unido al anclaje o soporte de la estructura, que también servirá de apoyo para todo el sistema de corte de la chapa, compuesto por dos ejes coincidentes entre sí, cada uno con una **cuchilla en el lado de corte** y un **engranaje** en el otro extremo que será el que, accionado manualmente mediante una **manivela**, aporte movimiento a las cuchillas y, por lo tanto, las vaya **alimentando de material a cortar**. Es este anclaje o apoyo el que estará en contacto con la banca de trabajo, y mediante sujeciones externas o tornillos podría asegurarse su posición para evitar movimientos indeseados a la hora de operar, pero no será necesario.

Se dispondrá de **dos grupos de anclajes**, compuestos cada uno por **dos patas**, es decir, dos patas en un extremo de la máquina y otras dos en el otro, ambos pares de patas irán **soldados** a un bloque que dispondrá de un hueco en el que se **soldará cada extremo de la barra fija** del mecanismo de fijación de la medida a cortar.

Los anclajes pueden observarse en la figura 3.46. Éstos serán los encargados de soportar todo el peso de la máquina, además de los esfuerzos que le sean transmitidos como ya se vio en el cálculo de esfuerzos de una barra bi-empotrada con cargas puntuales.

El material de los anclajes que se han seleccionado, que están disponibles en el taller de mecanizado de la E.T.S.I., es **acero estructural**. Las medidas de los anclajes serán indicadas posteriormente en los **planos del mismo**.



Figura 3.46 Anclajes disponibles seleccionados del taller de mecanizado.

4 FABRICACIÓN Y MONTAJE

En este apartado se verán todos los aspectos referentes a la fabricación de todas las piezas necesarias para montar la máquina. Tenemos piezas finales ya existentes y sobrantes de otras máquinas o que han sido desechadas **obtenidas del taller de mecanizado de la E.T.S.I.** mientras que otras piezas, también obtenidas del taller, deberán ser **mecanizadas o modificadas** para que puedan cumplir la correcta función para las que se necesitan. Otras piezas, sin embargo, serán encargadas o compradas **directamente a fabricantes.** Por último, están las piezas que no necesitan unas medidas o formas exactas, y que podrán variar en función de la disponibilidad de las mismas o modificaciones posteriores. También se hablará del montaje de las mismas entre sí, aunque ya se explicara en el apartado anterior, ya que van a seguirse las bases del diseño propuestas.

Se procederá a mostrar el diseño final de todo el conjunto de la estructura elaborada en este trabajo, y el conjunto final de la máquina completa junto a la parte del mecanismo de corte detallada en “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por Carlos Daza Pelegrina [21] (figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4) y posteriormente se detallará cada parte. Destacar que varios detalles de los elementos no han sido incluidos puesto que no afectarán a la visualización de la máquina.

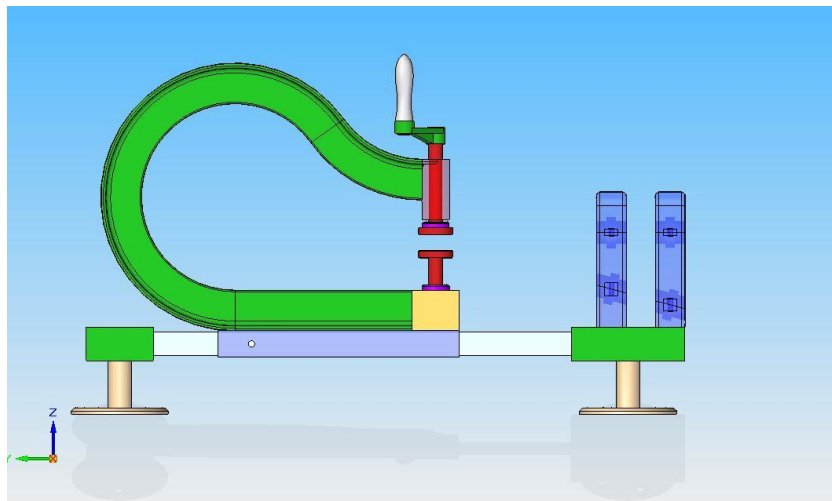


Figura 4.1 Conjunto final de piezas y mecanismos elaborados en este trabajo

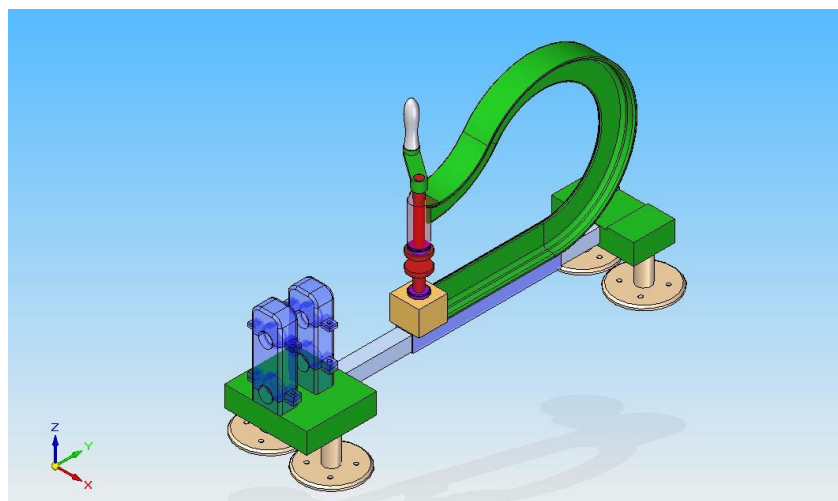


Figura 4.2 Perspectiva del conjunto final de piezas y mecanismos elaborados en este trabajo

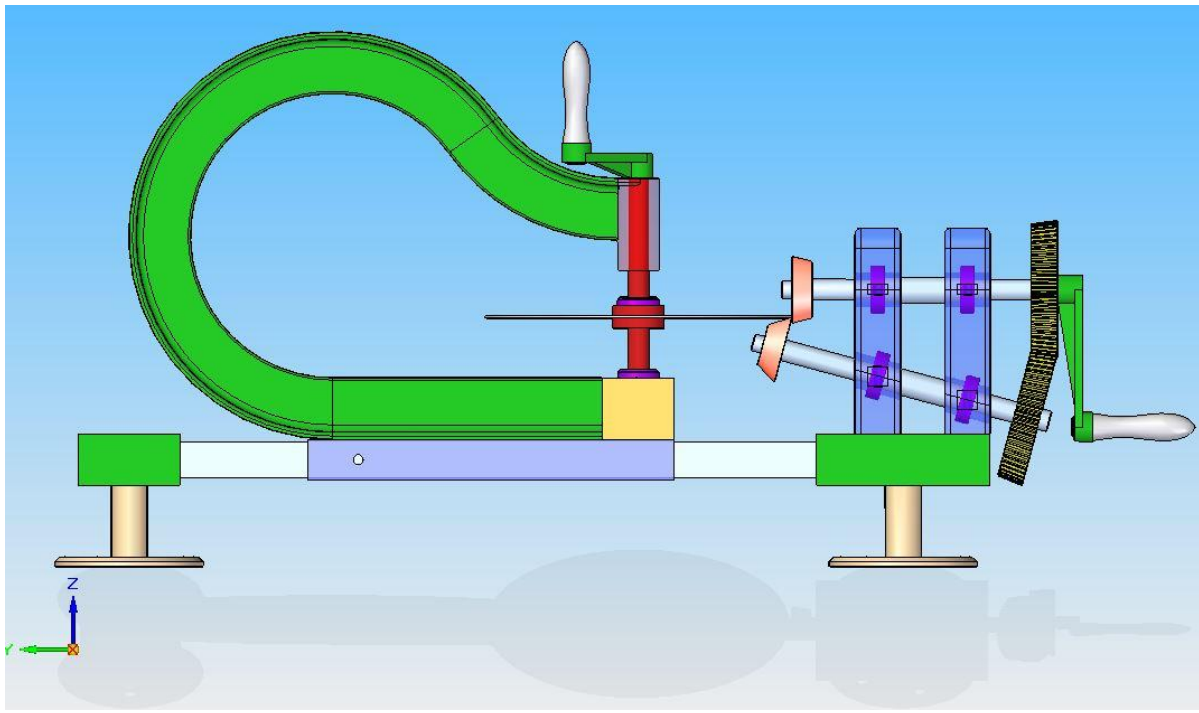


Figura 4.3 Conjunto final de la máquina de corte de chapa en forma circular

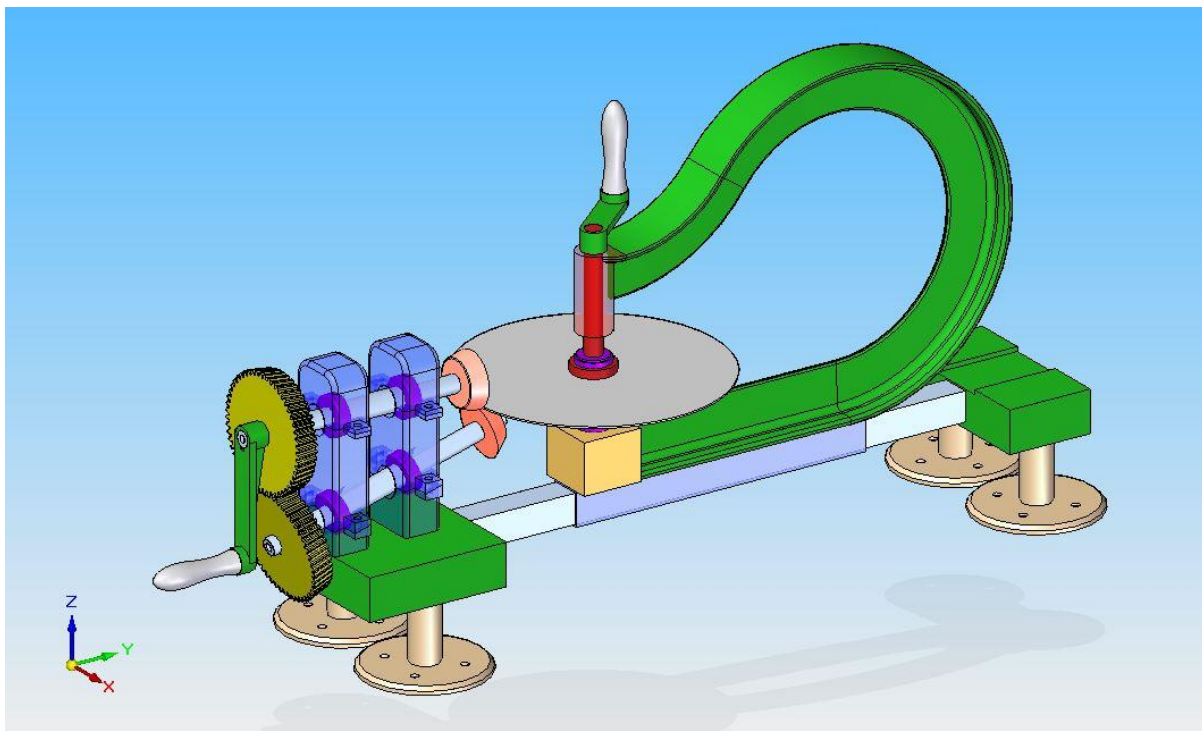


Figura 4.4 Perspectiva del conjunto final de la máquina de corte de chapa en forma circular

4.1 Estructura

Para la estructura, finalmente, siguiendo el 'Prontuario UAHE-2001 de perfiles comerciales' [8], lo que se hará será encargar una **viga laminada en caliente** con un **perfil T60 de acero estructural**, y posteriormente, bien encargándolo a alguna empresa externa, o bien en el mismo taller, realizar un doblado progresivo del mismo hasta obtener la forma final. Las dimensiones exactas están definidas en las figuras 4.5 y 4.6, ya dispuestas en la fase de diseño, y el diseño final en la figura 4.7, mientras que las medidas del arco estructural pueden verse en el **plano 1, incluido en el apartado "Planos"**.

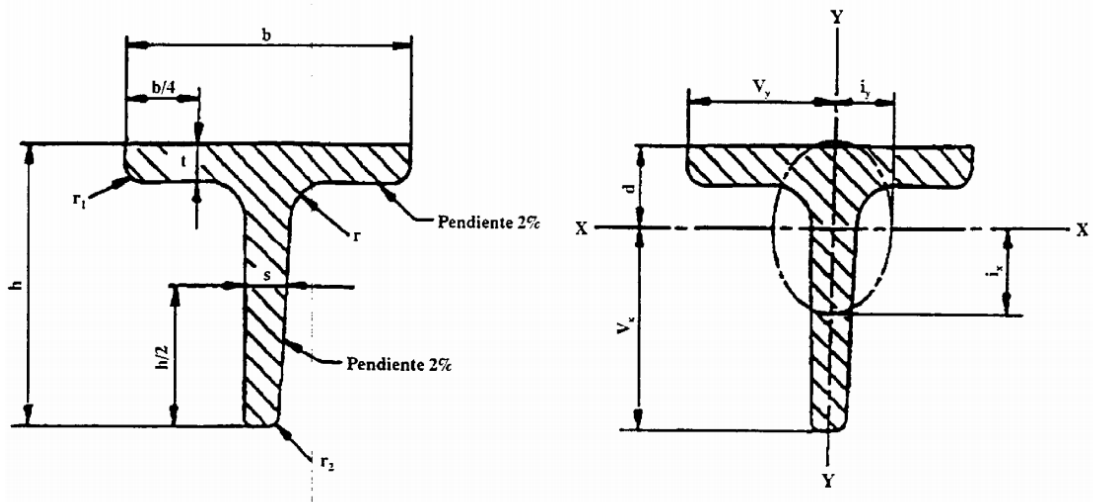


Figura 4.5 Perfil de T. Medidas

Designación	Masa Kg/m	Sección cm ²	Medidas						Posición del centro de gravedad d cm	Características respecto a los ejes					
			Altura	Anchura	Espesor	Radios				X - X			Y - Y		
			h	b	s y t	r	r ₁	r ₂		i _x	i _x /V _x	i _x	i _y	i _y /V _y	i _y
									cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
T30	1.77	2.26	30	30	4	4	2	1	0.85	1.72	0.80	0.87	0.87	0.58	0.62
T35	2.33	2.97	35	35	4.5	4.5	2.5	1	0.99	3.10	1.23	1.04	1.57	0.90	0.73
T40	2.96	3.77	40	40	5	5	2.5	1	1.12	5.28	1.84	1.18	2.58	1.29	0.83
T50	4.44	5.66	50	50	6	6	3	1.5	1.39	12.1	3.36	1.46	6.06	2.42	1.03
T60	6.23	7.94	60	60	7	7	3.5	2	1.66	23.8	5.48	1.73	12.2	4.07	1.24
T70	8.32	10.6	70	70	8	8	4	2	1.94	44.5	8.79	2.05	22.1	6.32	1.44
T80	10.7	13.6	80	80	9	9	4.5	2	2.22	73.7	12.8	2.33	37.0	9.25	1.65
T100	16.4	20.9	100	100	11	11	5.5	3	2.74	179	24.6	2.92	88.3	17.7	2.05
T120	23.2	29.6	120	120	13	13	6.5	3	3.28	366	42.0	3.51	178	29.7	2.45
T140	31.3	39.9	140	140	15	15	7.5	4	3.80	660	64.7	4.07	330	47.2	2.88

Calidad: S275 JR

Figura 4.6 Tabla de perfiles de T comerciales existentes

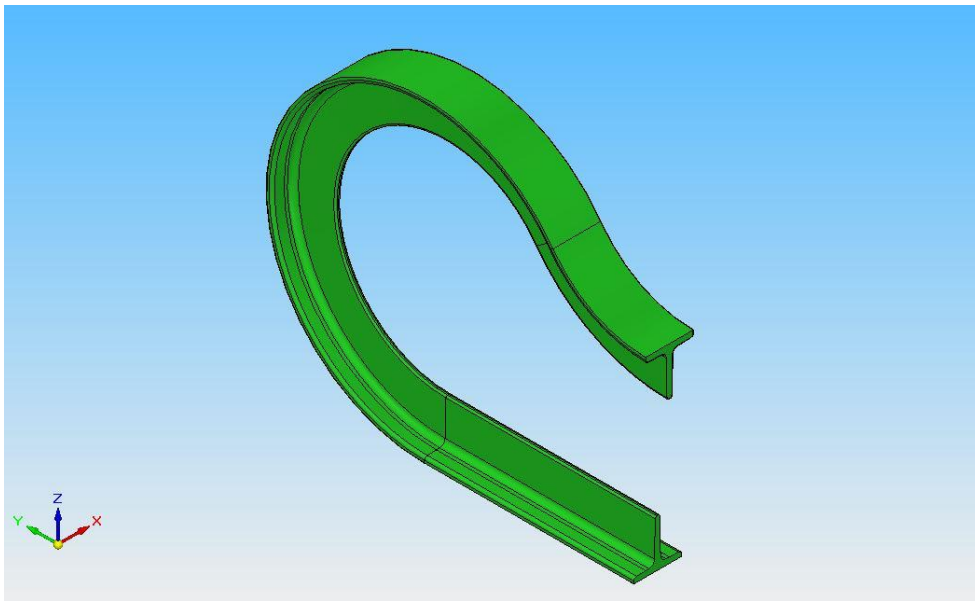


Figura 4.7 Diseño a ordenador de la pieza de la estructura

4.2 Mecanismo de fijación y apriete de la chapa

Los dos conjuntos de piezas necesarios del soporte y apriete de la chapa, serán fabricados según las indicaciones que se encuentran a continuación para cada mecanismo:

Sistema de sujeción inferior:

El diseño final puede verse en la figura 4.8. Para este mecanismo, se necesitarán las siguientes piezas:

- **Bloque base:** Es el *plano 2, incluido en el apartado “Planos”*. Esta placa o bloque tendrá la forma de un paralelepípedo rectangular, será de acero estructural, y es una de las piezas cuyas medidas no están fijas en el diseño, sin embargo, para su fabricación, se van a seguir las indicadas en el diseño, es decir, que las caras superiores e inferiores serán **cuadradas, con un lado de 70 mm**, y el **espesor** de la plancha será de **60 mm**, para asegurar un lateral lo suficientemente grande para que suelde bien en el perfil de T de la estructura, y un aguante del peso del sistema correcto. La plancha llevará en la cara superior un hueco en forma circular mecanizado para que vaya encajada mediante un **ajuste deslizante y fijador de rodamientos** la parte **exterior del rodamiento axial de rodillos** que se mencionará a continuación, por lo que el diámetro del agujero tendrá que ser igual al diámetro exterior del rodamiento de rodillos, es decir, **40 mm**, pero manteniendo un ajuste con juego. Se ha elegido **un E8**, explicado anteriormente en el diseño, por lo tanto, las dimensiones exactas con las que se ha de mecanizar dicho agujero es con un diámetro de 40 mm y unas **tolerancias** que se resultaron:

$$40E8 \left(\begin{array}{l} +0,089 \\ +0,050 \end{array} \right) = \left. \begin{array}{l} 40,089 \text{ mm} \\ 40,050 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Alojamiento}$$

- **Rodamiento axial de rodillos:** Se ha encargado a la empresa “Rodamientos Andalucía S.L.” el **número 30203** según el *catálogo de SKF [14]* calculado anteriormente. Todas sus características y demás medidas vienen incluidas en el *catálogo de rodamientos SKF [14]*. Las medidas de su diámetro interior y exterior junto a sus tolerancias, que ya se vieron anteriormente, se recuerda que son:

Rodamiento número 30203

$$\text{Diámetro exterior} = D = 40 \text{ mm} \begin{pmatrix} 0,000 \\ -0,011 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 40,000 \text{ mm} \\ 39,989 \text{ mm} \end{matrix}$$

$$\text{Diámetro interior} = d = 17 \text{ mm} \begin{pmatrix} 0,000 \\ -0,008 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 17,000 \text{ mm} \\ 16,992 \text{ mm} \end{matrix}$$

- **Cilindro** fabricado de **acero estructural**, de **diámetro exterior 20 mm** que será mecanizado para tener un **ajuste con apriete j6** (elegido en la fase de diseño) en el **diámetro interior de 17 mm** del rodamiento anteriormente indicado, por lo que dicho mecanizado en el cilindro tendrá una **tolerancia** que se recuerda:

$$17j6 \begin{pmatrix} +0,008 \\ -0,003 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 17,008 \text{ mm} \\ 16,997 \text{ mm} \end{matrix} \} \text{Eje}$$

El agujero tendrá a su vez una **profundidad** del mismo de **9 mm**, menor que los **12 mm de profundidad que tiene el rodamiento**. Así mismo se le realizará un roscado en los **5 mm superiores**, obteniendo una **rosca M 20 x 1** donde irán roscadas las distintas placas de soporte de la chapa. La **altura total serán 55 mm**. Dicho elemento puede verse en la figura 4.8. Sus medidas pueden verse en el *plano 3, incluido en el apartado "Planos"*.

- **Placas de sujeción de la chapa a cortar**, que serán intercambiables dependiendo del diámetro elegido para cortar la chapa, serán también de acero estructural, y tendrán diámetro exterior variable entre **50 mm** y **250 mm**, y un espesor de **10 mm**. En su centro, siguiendo las pautas del diseño final, en los **5 mm inferiores**, se le haga un agujero roscado de **rosca M 20 x 1** para unirlo así con el cilindro anterior. Su *plano es el 4, incluido en el apartado "Planos"*.

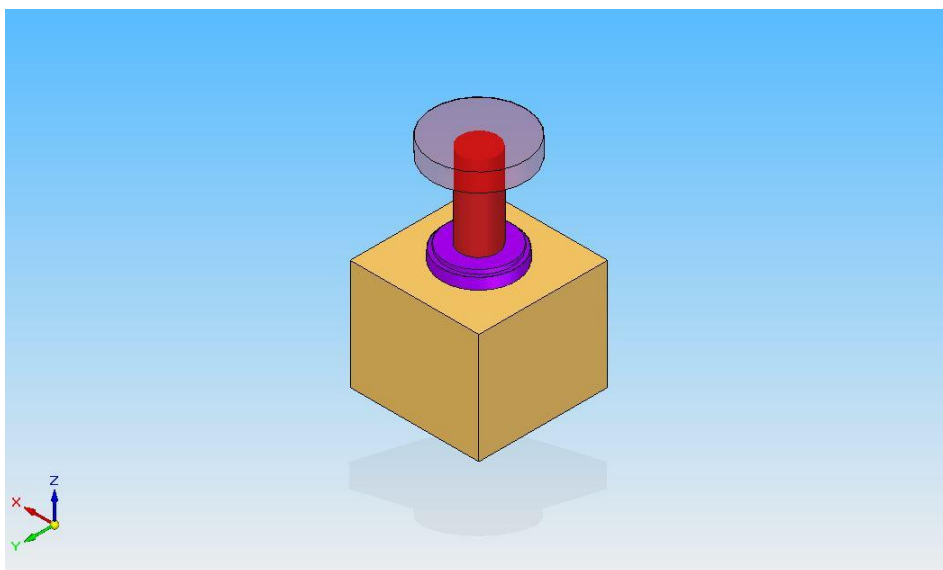


Figura 4.8 Diseño a ordenador del sistema de sujeción inferior

Sistema de sujeción superior:

El diseño final puede verse en la figura 4.9. Para este otro mecanismo que conforma la parte superior del soporte, se necesitarán las piezas siguientes:

- **Manivela de accionamiento manual:** se buscará disponibilidad de la misma ya que la forma exacta no será un criterio que influya en la tarea a realizar. En figura 4.9 donde se ve la misma se ha hecho un diseño estándar. El único requerimiento que tendrá es que pueda ser soldable en su parte final para unirla así al resto del mecanismo. Se ha realizado unos planos, que no será necesario seguir con exactitud, como se ha mencionado anteriormente. Estos planos serán incluidos al final, siendo numerados como *planos adicionales 1 y 2*.
- **Cilindro roscado:** Este elemento será otro cilindro de acero estructural, que irá **soldado en su parte superior a la manivela** y en sus **9 mm inferiores** será **mecanizado** a otros **17 mm** para realizar el **mismo ajuste con apriete j6** (elegido previamente en la fase de diseño) con las mismas medidas que en la sujeción inferior. Este cilindro, sin embargo, tendrá el resto de su superficie roscada con **rosca M 20 x 1**. Su **longitud total** será de **150 mm**. Su *plano es el 5, incluido en el apartado "Planos"*.
- **Cilindro hueco: roscado en su interior,** que contendrá al tornillo. El **diámetro exterior** será de **40 mm** y el interior irá roscado a una **rosca M 20 x 1**. La **longitud** será de **90 mm**. Su *plano es el 6, incluido en el apartado "Planos"*.
- **Rodamiento axial de rodillos:** Mismo modelo que el anterior (**número 30203** según el *catálogo de SKF [14]*), por lo tanto, también se ha encargado a la empresa "*Rodamientos Andalucía S.L.*".
- **Placa de sujeción de la chapa a cortar:** Diámetro de **50 mm**, con un **hueco cilíndrico** mecanizado de **40 mm** y **profundidad 5 mm** para que encaje mediante un **ajuste con apriete M7**, la parte exterior del rodamiento. Su *plano es el 7, incluido en el apartado "Planos"*. Es **espesor total** de la placa será de **10 mm**. Para el ajuste M7, las medidas de dicho hueco son:

$$40M7 \left(\begin{array}{l} 0,000 \\ -0,025 \end{array} \right) = \left. \begin{array}{l} 40,000 \text{ mm} \\ 39,975 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Alojamiento}$$

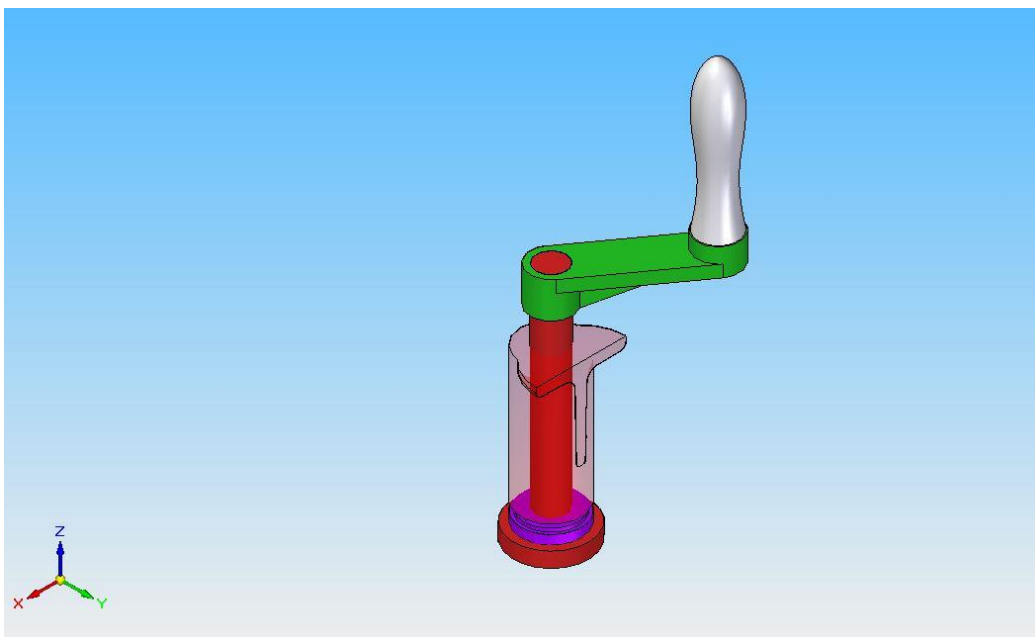


Figura 4.9 Diseño a ordenador del sistema de sujeción inferior

4.3 Estructura de soporte para ejes de corte

Para la estructura de soporte de los ejes de corte, se fabricarán varios bloques de acero estructural, que se situarán en posición vertical siguiendo el esquema que se mostró en el diseño, fijados mediante una **unión atornillada** entre ellos, por las cogidas laterales de las que disponen. La unión de ambos conjuntos de piezas con la base será una **unión soldada**.

Recordar que el mecanismo de corte emplea en cada eje dos **rodamientos radiales de bolas, modelo 6204 2RS**, y se ha seleccionado en la fase de diseño un **ajuste de tolerancia N7** para las cogidas del rodamiento, que será tomado como definitivo. Teniendo el rodamiento un **diámetro exterior de 47 mm con tolerancias** $\left(\begin{matrix} +0,000 \text{ mm} \\ -0,011 \text{ mm} \end{matrix} \right)$, las medidas del alojamiento se eligieron como un **alojamiento forzado duro**, con dimensiones:

$$47N7 \left(\begin{matrix} -0,008 \\ -0,033 \end{matrix} \right) = \left. \begin{matrix} 46,992 \text{ mm} \\ 39,967 \text{ mm} \end{matrix} \right\} \text{Alojamiento}$$

Las dimensiones y geometría detalladas de dichas piezas se pueden observar en el apartado “**Planos**” en los **planos 8, 9, 10, 11 y 12**.

En el **plano 13 se muestra el sistema de corte completo**, elaborado por *Carlos Daza Pelegrina*, procedente del “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por *Carlos Daza Pelegrina* [21].

El diseño final puede verse en la figura 4.10 mostrada a continuación.

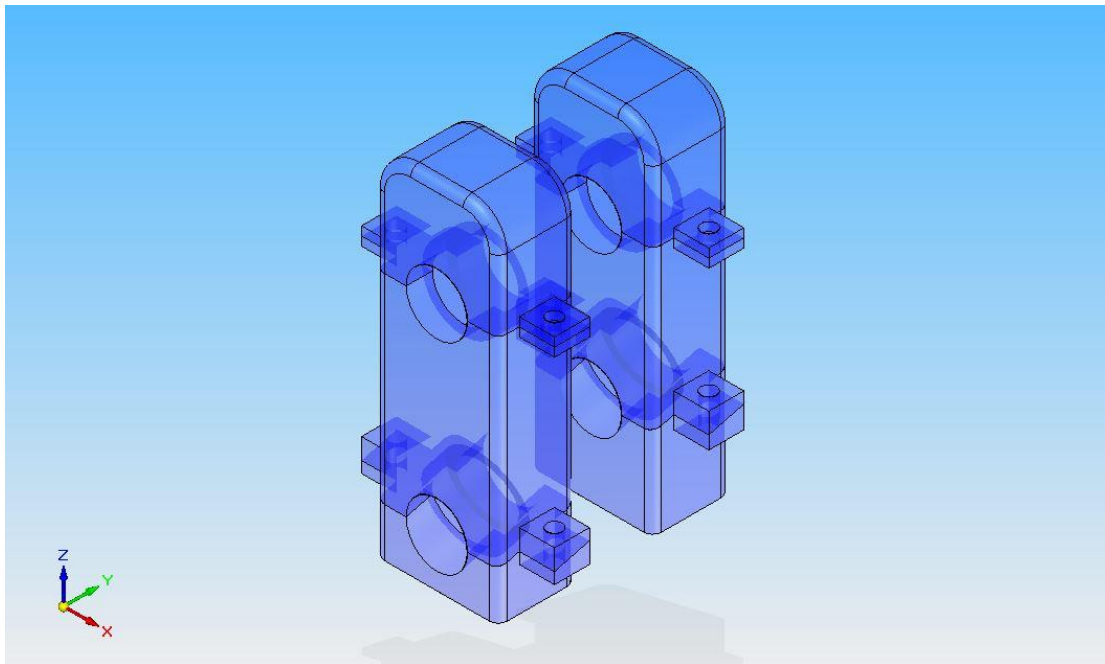


Figura 4.10 Diseño a ordenador del elemento de soporte del sistema de corte

Como parte del resultado final, se pueden observar los planos detallados de cada elemento del sistema de corte: ambas cuchillas, ejes y engranajes, en los **planos 14, 15, 16, 17 y 18 incluidos en “Planos”**, y el diseño final en 3D se puede observar en la figura 4.11.

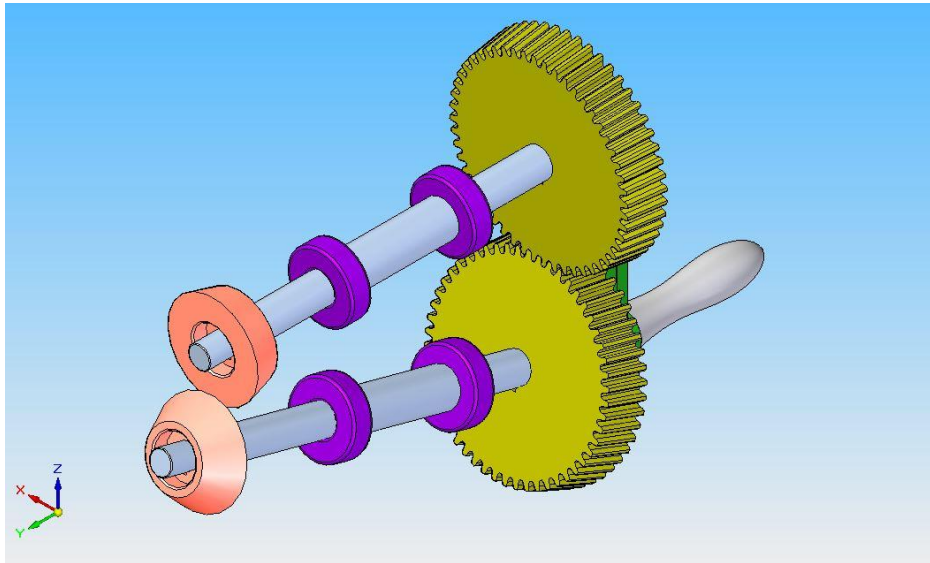


Figura 4.11 Diseño a ordenador del conjunto final del sistema de corte procedente de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina^[21]

4.4 Mecanismo de ajuste del diámetro a cortar

Este sistema estaba formado por las dos barras huecas de sección cuadrada que se disponen en el taller de mecanizado de la E.T.S.I.

A la barra exterior habrá que practicarle una abertura a la que se le soldará una tuerca que lleve tornillo que se encargará de la fijación de una barra respecto a la otra.

Habría también que añadirle la escala a la barra interior, bien mediante la adhesión a la misma de una escala en la zona exacta, mecanizado, o bien mediante el trazado de la misma en la propia barra con pintura especial.

El proceso de montaje sería soldar la tuerca de apriete a la barra móvil tras realizarle el taladro, para posteriormente introducir la barra fija en el interior de la móvil. Después de esto se encajarán ambos extremos de la barra fija en los bloques que llevarán las patas, y se soldarán, y una vez fijada la estructura se llevará a cabo la adición de la guía de medición a la barra fija. Por último, se añadirá un pequeño marcador en la barra móvil que será el que nos indique qué medida de diámetro vamos a cortar.

El diseño final de este mecanismo se muestra en la figura 4.12, así como sus dimensiones, que pueden verse directamente en los *planos 19 y 20, incluidos en el apartado “Planos”*.

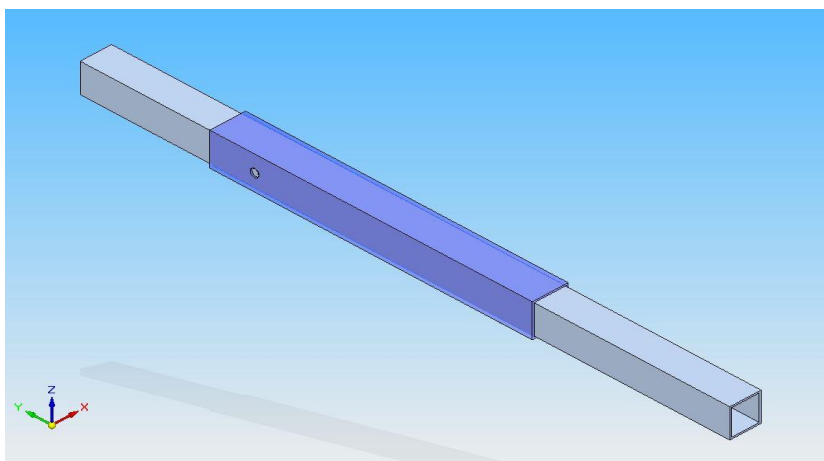
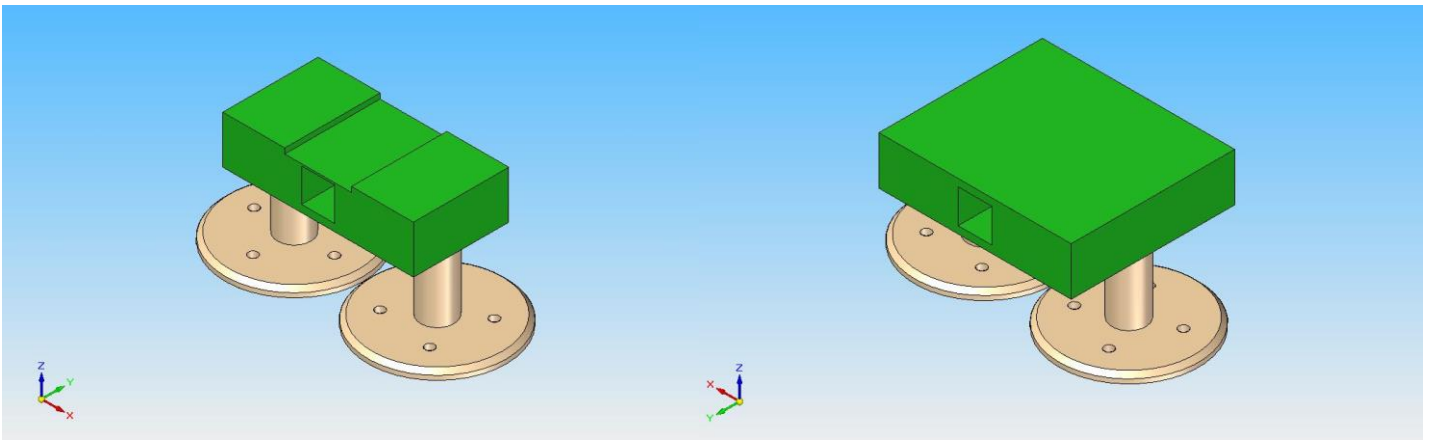


Figura 4.12 Diseño a ordenador del sistema de ajuste del diámetro a cortar

4.5 Base y apoyos

El anclaje estará compuesto por **cuatro patas** previamente seleccionadas y disponibles en el taller de mecanizado. Éstas irán soldadas a **dos bloques** en su cara inferior, que tendrán a su vez, en su cara interior (respecto a la máquina) un hueco cada uno de forma cuadrada en el que irán encajadas mediante un **apriete** la barra fija de la máquina, además, dichas uniones serán **posteriormente soldadas** para evitar una posible rotura o fallo porque se salgan de su posición las barras. Las dimensiones de las patas pueden verse posteriormente en el apartado “**Planos**”, en el **plano 21**; y los dos bloques en los que encaja cada extremo de la barra fija pueden verse en los **planos 22 y 23**. En las figuras 4.13 y 4.14 se visualizan el conjunto de las patas y los bloques principales finales diseñados a ordenador.

Nota: bloque 1: lado sobre el que desliza el arco de la estructura; bloque 2: bloque que soporta el mecanismo de corte.



Figuras 4.13 y 4.14 Diseño a ordenador del conjunto de elementos de anclaje (1 y 2)

Destacar, que también se podría estudiar en un futuro la fabricación de algunas de las piezas mediante métodos alternativos. Un ejemplo podría ser fabricación por impresión 3D, una vez que se empleen materiales que tengan mejores propiedades mecánicas que el ABS o el PLA, o de piezas que no estén sometidas a cargas, como las manivelas o parte de las mismas, o piezas auxiliares de tamaño reducido, como los elementos del sistema de control auxiliar que se estableció en el conjunto de la sujeción superior para comprobar que el diámetro elegido no se saliera de la chapa.

Para acabar, en el **plano 24, incluido en el apartado “Planos”**, se observa el conjunto global con sus dimensiones generales.

5 TRABAJOS FUTUROS

Dada la falta de tiempo para la obtención de todas las piezas y el proceso de construcción de la máquina, al ya disponer del diseño completo y del método de elaboración y fabricación de todas las piezas, que puede llevarse a cabo en los mismos laboratorios, en el taller de mecanizado, así como el sistema de montaje, se ha decidido dejar estas tareas para un futuro trabajo de fabricación y montaje siguiendo estos documentos a modos de instrucciones y guía con planos.

Todas las piezas que necesitaban encargarse a fabricantes, ya han sido encargadas y se dispone de ellas. Véase en este conjunto de elementos, los rodamientos, las cuchillas y los engranajes.

Así mismo, quedan también disponibles en el taller de mecanizado, las piezas ya terminadas seleccionadas para la máquina, como son las patas y las barras de perfil cuadrado hueco.

Por último, todas las piezas restantes, están pendientes de ser fabricadas y montadas con las indicaciones de este documento, siendo las piezas bases y las materias primas fácilmente obtenibles, así como son sencillos los procesos que se tienen que llevar a cabo para obtener las piezas finales a partir de ellas.

6 CONCLUSIONES

Se ha comenzado el proceso de la vida de la máquina, que englobaría desde su concepción hasta que se desmonta, sin embargo, no se ha podido completar la **fase preparatoria** de la máquina, que engloba:

- Concepción
- Diseño
- Fabricación
- Montaje
- Puesta a punto

Dejando completadas las dos primeras partes, y una guía de la segunda y la tercera, además de disponer ya de algunas piezas.

Tras esta fase, iría su fase de **operación y mantenimiento**, y, por último, su **desmantelamiento**.

Las conclusiones, teniendo en cuenta que se ha subdividido el diseño de la máquina de corte de chapa en forma circular con diámetros variables en seis bloques, son, para cada bloque:

- Sistema de sujeción de la chapa:

El desarrollo del diseño de este sistema, compuesto por dos mecanismos, el de sujeción superior y el de sujeción inferior, ha ido evolucionando, desde un diseño más complejo, a un diseño más simple y funcional. Dado el pequeño tamaño que tendrán las chapas a cortar, no se ha visto necesario realizar un diseño complejo, sino uno sencillo y fácil de montar, asegurando que se cumple el cometido encomendado sin ningún tipo de fallo. La sujeción superior ha pasado de, tener un sistema para acompañar el movimiento (mediante el cual, con algunas modificaciones, podría haberse realizado un sistema que ayudase a alimentar el corte), a tener un diseño más sencillo, que, aun no acompañando el movimiento con la manivela superior, se ha garantizado una firme sujeción y a su vez, un giro libre de la chapa sobre el eje de giro de la máquina.

La sujeción inferior, ha pasado de ser también móvil, a ser fija, dado que los ejes que portan las cuchillas de corte son fijos, y no se van a mover, se decidió implementar un diseño sencillo y fijo de la sujeción inferior para garantizar así que en todo momento la chapa está a la altura necesaria para un correcto corte, sin necesidad de que el operario ajustase milimétricamente la altura a la que se encuentra la chapa, por lo que el resultado ha sido favorable, favoreciendo la labor del operario al eliminar su responsabilidad de que se llevase a cabo un corte adecuado.

- Sistema de apoyo y anclaje:

El sistema de apoyo y anclaje ha sido realizado a partir de dos grandes bloques, con patas que se disponían en el taller de mecanizado, por lo que no ha sido difícil, una vez realizado el resto de diseños, ajustar las medidas para un correcto apoyo, por lo que este sistema no ha tenido mayor complicación.

- Sistema de variabilidad del diámetro de chapa a cortar:

Este mecanismo fue uno de los primeros en definirse ya que se buscaron las barras necesarias entre las disponibles en los talleres de la E.T.S.I., con lo cual la dificultad de su diseño final recaía en que aguantase las solicitudes a las que se veía sometido. Los resultados del cálculo de esfuerzos realizado fueron muy favorables, por lo que se obtendrá un buen resultado como conclusión.

- Arco de la estructura:

El diseño de este elemento ha sido similar al de las máquinas que cumplen el mismo cometido ya existentes, con la única dificultad de que tendrá que ser encargado el perfil de T y posteriormente trabajado para que tome la forma exacta, por lo que, será posible que dicho trabajo tenga que realizarse también por profesionales externos.

- Sistema de sujeción del mecanismo de corte:

Este sistema ha sido el último en elaborarse debido a la necesidad de que estuviera previamente definido el sistema de corte final, pero una vez disponible el mismo, se ha seguido las medidas para elaborar un sistema de sujeción que garantice la estabilidad del mecanismo de corte sin que se produzca desplazamiento axial de los rodamientos de los ejes de corte.

- Sistema de corte de chapa. Este último conjunto ha sido elaborado en el "*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*", por Carlos Daza Pelegrina [21].

En general, se pueden catalogar las conclusiones de este trabajo como positivas. Ante unos parámetros de diseño determinados, se ha podido llegar al diseño completo de todos los sistemas necesarios para que la máquina de corte de chapa realice su cometido eficazmente. Dado que no se ha llegado a fabricar, proceso en el cual se determinaría si se seguiría al 100% las especificaciones de este documento o se realizarían cambios, se desconoce si el diseño realizado es el más óptimo o el más eficiente, dentro de lo que a maquinaria manual se refiere.

7 PLANOS

Este apartado incluye todos los planos necesarios de las piezas que han sido diseñadas a lo largo de este documento, junto a las demás del conjunto global de la máquina, diseñadas en “*Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*”, por Carlos Daza Pelegrina [21]. Se muestra a continuación el índice de los mismos:

Plano 1 Plano de la estructura de la máquina.

Plano 2 Planos de base del sistema de sujeción inferior

Plano 3 Plano de cilindro mecanizado y roscado de la sujeción inferior

Plano 4 Plano de placa de sujeción inferior de la chapa

Plano 5 Plano del cilindro roscado de la sujeción superior

Plano 6 Plano del cilindro hueco roscado de la sujeción superior

Plano 7 Plano de placa de sujeción superior de la chapa

Planos 8, 9, 10, 11 y 12 Planos de las piezas del soporte de los ejes de corte

Plano 13 Plano de la cuchilla inferior → Plano 1 de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Plano 14 Plano 2 de la cuchilla superior → Plano 2 de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Plano 15 Plano del engranaje (dos engranajes iguales) → Plano 3 de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Plano 16 Plano del eje inferior → Plano 4 de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Plano 17 Plano del eje superior → Plano 5 de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Plano 18 Plano general del sistema de corte y de sus elementos → Plano 9 de “Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa”, por Carlos Daza Pelegrina [21]

Plano 19 Plano de la barra fija

Plano 20 Plano de la barra móvil

Plano 21 Plano de una pata de la máquina

Plano 22 Plano del bloque 1 del conjunto del anclaje

Plano 23 Plano del bloque 2 del conjunto del anclaje

Plano 24 Plano de conjunto final con dimensiones generales

Plano adicional 1 Plano manivela modelo

Plano adicional 2 Plano agarre manivela modelo

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kalpakjian, Manufacturing Engineering and Technology, 1992.
- [2] Groover, Introducción a los procesos de manufactura, 2011
- [3] Procesos de conformado. [Online]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/procesos-de-conformado/> [Accessed October 2016]
- [4] <https://images.google.com/>
- [5] Apuntes de asignaturas 'Ingeniería de fabricación I' e 'Ingeniería de fabricación II' G.I.T.I.
- [6] Apuntes de 'Sistemas integrados de fabricación II' M.I.I.
- [7] Boljanovic, Sheet Metal Forming Process and Die Design, 2004
- [8] Prontuario UAHE 2001. [Online]. Available: http://www.hierrossantander.com/hierros_prontuario/archivo/03-PERFILES%20COMERCIALES.pdf [Accessed November 2016]
- [9] Prontuario de deformación y esfuerzos en vigas. [Online]. Available: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/vigasdef.pdf [Accessed November 2016]
- [10] Accurate Alloys, Inc. Metal Shearing. [Online]. Available: <http://www.accuratealloys.com/metal-shearing.html> [Accessed December 2016]
- [11] Propiedades tecnológicas de los materiales y durabilidad. Gobierno de España. Capítulo VI - Instrucción de Acero Estructural (EAE). [Online]. Available: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/74151FA3-AF41-4C52-AE2B-68F966363AE2/103508/06.pdf> [Accessed December 2016]
- [12] Steel Standards. (Equivalencia entre denominaciones). [Online]. Available: <http://www.mpmetal.com/steelstandard.php> [Accessed December 2016]
- [13] HSLA Steels. Wikipedia. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/High-strength_low-alloy_steel [Accessed December 2016]
- [14] Catálogo de rodamientos SKF. [Online]. Available: <http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/product-tables/index.html> [Accessed January 2017]
- [15] Svenska AB, RODAMIENTOS, un manual para escuelas, 1962
- [16] Montaje de Rodamientos. FAG. Publicación WL 80 100/3 SB
- [17] Vídeo empresa OK GÉP. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=VoSxALSLAfE> [Accessed July 2016]

-
- [18] Cizalla IDK 1. [Online]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/sahinler-metal-makina-end-as/product-84693-1150465.html> [Accessed July 2016]
- [19] Cizalla Metalkraft KS 1. [Online]. Available: http://www.maquinariamadrid.com/a_cizalla-circular-marca-metalkraft-modelo-ks--_3820.html [Accessed July 2016]
- [20] Cizalla fija y móvil. [Online]. Available: [http://www.master-machines.com/folding_bending_notching_cutting_machines.htm#circle cutting machine](http://www.master-machines.com/folding_bending_notching_cutting_machines.htm#circle%20cutting%20machine) [Accessed July 2016]
- [21] "Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa" (T.F.G. Autor: Carlos Daza Pelegrina)