



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERA DEL DISEÑO**

**GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CÁLCULO DE UN REDUCTOR  
DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE  
TRANSMISIÓN 28 Y PAR MÁXIMO A LA  
SALIDA DE 2900 NM**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*PRESENTADO POR:*

**Adrián Úbeda Todolí**

*DIRIGIDO POR:*

**José Enrique Tarancón Caro**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DOCUMENTO Nº:1**

**MEMORIA**

## ÍNDICE

1.-	OBJETO DEL PROYECTO .....	1
2.-	NECESIDADES Y CONDICIONES .....	1
2.1.-	NECESIDADES DE VELOCIDAD .....	1
2.2.-	CONDICIONES DE GEOMETRÍA .....	1
2.3.-	CONDICIONES AMBIENTALES.....	1
2.4.-	CONDICIONES DE MANTENIMIENTO Y DURACIÓN .....	1
3.-	SOLUCIONES ALTERNATIVAS .....	2
3.1.-	TRANSMISIONES POR ROZAMIENTO, CORREAS .....	2
3.1.1.-	Correas planas .....	2
3.1.2.-	Correas trapezoidales .....	3
3.2.-	TRANSMISIONES FLEXIBLES POR ENGRANAJE .....	3
3.2.1.-	Cadenas .....	3
3.2.2.-	Correas dentadas .....	3
3.3.-	TRANSMISIONES POR ENGRANAJES DIRECTOS.....	4
3.3.1.-	Transmisiones por engranajes cilíndricos .....	4
3.3.2.-	Transmisiones por engranajes cónicos .....	4
3.3.3.-	Transmisiones por engranajes cónicos desplazados .....	5
3.3.4.-	Transmisiones por tornillo sin fin .....	5
3.3.5.-	Transmisiones por engranajes cilíndricos helicoidales cruzados .....	5
4.-	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	5
4.1.-	DESCRIPCIÓN GENERAL .....	5
4.2.-	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS COMPONENTES .....	6
4.2.1.-	Descripción de los engranajes.....	6
4.2.2.-	Descripción del lubricante .....	8
4.2.3.-	Descripción de los árboles .....	8
4.2.4.-	Descripción de las chavetas .....	9
4.2.5.-	Descripción de los rodamientos .....	9
4.2.6.-	Casquillos espaciadores .....	10
4.2.7.-	Sellos radiales de aceite .....	10
4.2.8.-	Descripción de los tapones y visores de la carcasa.....	11
4.2.9.-	Carcasa.....	11
5.-	BIBLIOGRAFIA .....	12

## **1.- OBJETO DEL PROYECTO**

Este proyecto tiene como objetivo el diseño y cálculo de un reductor de velocidad que cumpla las siguientes especificaciones:

- Relación de transmisión: 28
- Par máximo a la salida: 2900 Nm
- Velocidad a la entrada del reductor: 1400 rpm

## **2.- NECESIDADES Y CONDICIONES**

### **2.1.- NECESIDADES DE VELOCIDAD**

El objetivo del reductor es proporcionar a la máquina arrastrada una velocidad óptima para su funcionamiento cuando la velocidad de la máquina motriz es superior. Esta disminución de la velocidad va unida de un aumento del par.

### **2.2.- CONDICIONES DE GEOMETRÍA**

El reductor debe ser tan compacto como sea posible para reducir en la medida de lo posible su tamaño y peso. Por otra parte, tiene que ser lo más sencillo posible para evitar complicaciones innecesarias y minimizar los costes de fabricación.

### **2.3.- CONDICIONES AMBIENTALES**

Debido a que el reductor debe estar ubicado en una nave industrial, no se espera que sea sometido a condiciones ambientales agresivas, sino que trabajará en una temperatura media ambiental de 25 °C.

Un factor a tener en cuenta será la suciedad a la que será expuesto el reductor.

### **2.4.- CONDICIONES DE MANTENIMIENTO Y DURACIÓN**

Puesto que es un elemento imprescindible para su aplicación, se deberá tener una alta fiabilidad frente a posibles averías. Los rodamientos serán sustituidos cada 45000 h.

### 3.- SOLUCIONES ALTERNATIVAS

Las necesidades de velocidad y par que exigen algunos mecanismos no se pueden satisfacer directamente por el motor. Por esta razón, los sistemas de transmisión son de gran utilidad para resolver estos problemas. En nuestro caso la máquina arrastrada funciona a una velocidad inferior a la que aporta la máquina motriz, por esta razón se empleará un sistema de transmisión.

El reductor que se va a diseñar utilizará un sistema de engranajes cilíndricos con dientes helicoidales, pero existen otros tipos de sistemas de transmisión.

#### 3.1.- TRANSMISIONES POR ROZAMIENTO, CORREAS

Este tipo de transmisión tiene un rendimiento comprendido entre el 85 y el 98 % debido al deslizamiento entre la correa y las poleas.

Las ventajas de las correas son:

- Coste reducido y bajos requerimientos en el posicionamiento de los árboles.
- Funcionamiento silencioso.
- Capacidad de absorción elástica de choques, y protección contra sobrecargas.

Los inconvenientes de las correas son:

- La relación de transmisión no es exacta y depende de la carga, existe un deslizamiento comprendido entre el 1 y el 3 %.
- Sobrecargan los cojinetes de los árboles debido a la necesidad de tensión previa.
- Duración limitada.
- Sensibilidad al ambiente.

##### 3.1.1.- Correas planas

Este tipo de transmisión se emplea entre árboles paralelos y cruzados, que cumplan que:

- En el caso de accionamientos abiertos, la relación de transmisión sea  $i \leq 6$ .
- En el caso de accionamientos con rodillos tensores, la relación de transmisión sea  $i \leq 15$ .

Se utilizan para casos de aplicaciones de velocidad elevada o situaciones en las que se requiera un paso por poleas de radio reducido. Un inconveniente es que el deslizamiento causa un rendimiento del 85% aproximadamente.

### 3.1.2.- Correas trapezoidales

Este tipo de correas tienen una capacidad de transmisión tres veces superior a las correas planas, además arrancan con más suavidad y tienen un deslizamiento casi despreciable. Se emplean entre árboles paralelos, con relaciones de transmisión  $i \leq 10$ . Para su correcto funcionamiento las velocidades deben estar entre 2 y 50 m/s. Su rendimiento puede llegar al 98 % aunque disminuirá por el deslizamiento si no se comprueba la tensión de la correa periódicamente.

## 3.2.- TRANSMISIONES FLEXIBLES POR ENGRANAJE

### 3.2.1.- Cadenas

Son utilizadas entre árboles paralelos. Pueden transmitir mayores fuerzas que las correas con menores ángulos de abrazamiento distancia entre ejes. En general su relación de transmisión es de  $i \leq 7$ , pero a poca velocidad puede llegar a  $i = 10$ . Su rendimiento es del 97 al 98 %.

Las ventajas de las cadenas son:

- Coste reducido frente a los engranajes.
- Mantienen una relación de transmisión constante.
- No necesitan cárter en ambientes agresivos.
- Pueden accionarse varias ruedas con una sola cadena.

Los inconvenientes de las cadenas son:

- Duración limitada.
- Limitaciones de potencia y velocidad máxima de funcionamiento.
- Requieren espacios grandes.
- Necesitan lubricación y protección frente al polvo.
- No trabajan elásticamente.
- Son más caras que las correas correspondientes.

### 3.2.2.- Correas dentadas

Las correas dentadas tienen unas características similares a las cadenas, pero con algunas diferencias. Su rendimiento es de hasta un 98 %. Pueden trabajar en temperaturas de hasta 80 °C.

Las ventajas de las correas dentadas frente a las cadenas son:

- Requieren menos mantenimiento y no necesitan lubricación.
- Pueden trabajar a velocidades superiores (hasta 60 m/s).

Los inconvenientes de las correas dentadas frente a las cadenas son:

- Necesitan mayor espacio.
- Son más ruidosas.
- Son menos adecuadas para cargas de impacto.
- Transmiten los problemas de vibraciones entre los ejes que conectan.

### **3.3.- TRANSMISIONES POR ENGRANAJES DIRECTOS**

Son el tipo de transmisiones más utilizado por su amplia gama de potencias, velocidades y relaciones de transmisión.

Sus ventajas principales son:

- Relación de transmisión constante e independiente de la carga.
- Elevada fiabilidad y larga duración.
- Dimensiones reducidas.
- Elevado rendimiento.
- Mantenimiento reducido.
- Alta capacidad para soportar sobrecargas.

Por otra parte, sus inconvenientes principales son:

- Coste elevado.
- Son ruidosos.
- Necesidad de un acoplamiento elástico para la absorción de choques y vibraciones, provocados por una transmisión muy rígida.

Las transmisiones por engranajes directos se pueden dividir en los siguientes grupos.

#### **3.3.1.- Transmisiones por engranajes cilíndricos**

Son utilizados entre árboles paralelos. Admiten relaciones de transmisión de hasta  $i = 8$  en cada etapa. Su rendimiento es del 96% al 99%. Pueden ser de dientes rectos o helicoidales. Es recomendable el uso de un dentado helicoidal por ser menos ruidoso.

#### **3.3.2.- Transmisiones por engranajes cónicos**

Son utilizados entre árboles que se cortan. Admiten relaciones de transmisión de hasta  $i = 6$ . Si las exigencias son muy elevadas se recurre al dentado espiral.

### **3.3.3.- Transmisiones por engranajes cónicos desplazados**

Se utilizan entre árboles cruzados cuando la distancia entre ellos es reducida, con el fin de reducir los ruidos y tener la posibilidad de prolongar los árboles de transmisión. Tienen un rendimiento inferior a los anteriormente descritos debido a que tienen un deslizamiento mayor.

### **3.3.4.- Transmisiones por tornillo sin fin**

Se utilizan entre árboles cruzados. Respecto a las relaciones de transmisión tienen un amplio rango que va desde 1 a más de 100 por etapa. El rendimiento oscila entre el 97 y el 45 %, disminuye con el aumento de la relación de transmisión.

### **3.3.5.- Transmisiones por engranajes cilíndricos helicoidales cruzados**

Se utilizan entre árboles cruzados con distancias pequeñas. Solo se utilizan para pares reducidos y con relaciones de transmisión de 1 a 5.

## **4.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

### **4.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL**

Para el diseño de nuestro reductor se ha optado por un sistema de transmisión por engranaje de contacto directo con dientes helicoidales. La elección cumple con las necesidades del proyecto de fiabilidad, alto rendimiento, alta duración, bajo mantenimiento y un volumen reducido para un precio admisible.

La elección de dientes helicoidales en lugar de dientes rectos se debe a que a pesar de que dificultan sus cálculos y tienen un coste mayor, son menos ruidosos y generan menos vibraciones.

La transmisión de nuestro engranaje se ha dividido en dos etapas por ser poco recomendables relaciones de transmisión superiores a 8 en cada etapa. No se ha optado por la utilización de 3 etapas para evitar que la relación de transmisión fuera demasiado pequeña.

Como nuestro reductor estará formado por dos etapas, contará con tres árboles de transmisión, uno de entrada otro intermedio y por último el de salida. Los tres árboles serán diseñados para que cumplan a rigidez torsional, deflexión lateral y a fatiga, en las secciones más críticas.

La unión de los árboles y los engranajes se realizará mediante el uso de chavetas de tipo perfilado, por ser la solución más sencilla y económica.

Para evitar pérdidas por fricción en el giro de los árboles se utilizarán rodamientos. En nuestro reductor serán rodamientos cónicos de una sola hilera para absorber los esfuerzos axiales que producen los engranajes de dientes helicoidales.

Para fijar axialmente todos los componentes en los árboles se utilizarán anillos de seguridad, casquillos espaciadores y cambios de sección sobre los ejes.

La lubricación del reductor se realizará por barboteo, por tanto, el reductor debe tener una cantidad de lubricante suficiente para cubrir, al menos, uno de los engranajes de cada etapa. Para evitar pérdidas de lubricante se emplearán retenes de goma en el eje de entrada y en el eje de salida. Además, se utilizarán juntas en la unión de las tapas y la carcasa.

## **4.2.- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS COMPONENTES**

### **4.2.1.- Descripción de los engranajes**

Para el diseño de los engranajes primero se debe dimensionar los ejes por rigidez torsional. Una vez conocido este valor, pasamos a calcular el diámetro primitivo del piñón y fijando el módulo normalizado se calculará el número de dientes. Para conocer el diámetro y el número de dientes de la rueda, se utilizará la relación de transmisión.

Para calcular la anchura de los engranajes se busca que el coeficiente de seguridad a flexión sea mayor que el coeficiente de seguridad por fallo superficial, debido a que el fallo del primero es catastrófico y no muestra señales, en cambio el fallo superficial es progresivo y se puede detectar por el ruido y las vibraciones. El coeficiente de seguridad que se debe cumplir es  $X = 1,5$ .

El material empleado para la fabricación de los engranajes es un acero aleado templado y revenido, en concreto, 34NiCrMo16. Las características de este acero son:

- Límite de fluencia  $S_y = 1030$  Mpa
- Límite de rotura  $S_u = 1230$  Mpa
- Dureza Brinell = 352
- Módulo de elasticidad  $E = 206000$  Mpa

#### **4.2.1.1.- Etapa 1**

La primera etapa de reducción tiene una relación de transmisión de  $i = 5,5789$  y un módulo normal  $m_n = 3$  mm. Las características de los engranajes son:

Piñón:

- Módulo normal: 3 mm

- Módulo tangencial: 3,193 mm
- Ángulo  $\alpha$ : 20°
- Ángulo  $\beta$ : 20°
- Número de dientes: 19 dientes
- Diámetro primitivo: 60,66 mm
- Diámetro de adendo: 66,66 mm
- Diámetro base: 53,16 mm
- Anchura: 26 mm

Rueda:

- Módulo normal: 3 mm
- Módulo tangencial: 3,193 mm
- Ángulo  $\alpha$ : 20°
- Ángulo  $\beta$ : 20°
- Número de dientes: 106 dientes
- Diámetro primitivo: 338,41 mm
- Diámetro de adendo: 344,41 mm
- Diámetro base: 330,91 mm
- Anchura: 26 mm

#### **4.2.1.2.- Etapa 2**

La primera etapa de reducción tiene una relación de transmisión de  $i = 4,9524$  y un módulo normal  $m_n = 4$  mm. Las características de los engranajes son:

Piñón:

- Módulo normal: 4 mm
- Módulo tangencial: 4,257 mm
- Ángulo  $\alpha$ : 20°
- Ángulo  $\beta$ : 20°
- Número de dientes: 21 dientes
- Diámetro primitivo: 89,39 mm
- Diámetro de adendo: 97,39 mm
- Diámetro base: 79,39 mm
- Anchura: 73 mm

Rueda:

- Módulo normal: 4 mm
- Módulo tangencial: 4,257 mm
- Ángulo  $\alpha$ : 20°
- Ángulo  $\beta$ : 20°

- Número de dientes: 104 dientes
- Diámetro primitivo: 442,70 mm
- Diámetro de adendo: 450,70 mm
- Diámetro base: 432,70 mm
- Anchura: 73 mm

#### 4.2.2.- Descripción del lubricante

Para lubricar los elementos móviles de nuestro reductor se utilizará un aceite mineral ISO VG 320 con temperaturas ambientes entre 10 °C y 40 °C. El aceite seleccionado tiene una viscosidad cinemática de 320 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C.

#### 4.2.3.- Descripción de los árboles

Nuestro reductor está formado por tres ejes, un eje de entrada, un eje intermedio y un eje de salida. Para el diseño de los tres ejes se comprobará que cumplan las secciones más críticas con los criterios siguientes:

- Rigidez torsional: se comprobará que no supere 1,5°/m y para una longitud de 20 veces el diámetro la deflexión no supere 1°.
- Deflexión lateral: se comprobará que la sección central de los engranajes no superará en  $0,005 \cdot m_n$  su separación y la pendiente en el árbol será menor de 0,0005 rad. Por otra parte, en los rodamientos la pendiente no superará 0,0008 rad.
- Fatiga: el coeficiente de seguridad para que el eje no falle a fatiga es de  $X = 2,5$ .

El material utilizado para la fabricación de los árboles es un acero 4140 / F-1252 de la norma UNE las características de este acero son:

- $S_{ut} = 950$  Mpa
- $S_y = 560$  Mpa
- Alargamiento en la rotura = 19%
- HB = 277
- Módulo de Young (E) =  $2,1 \cdot 10^5$  Mpa
- Módulo de elasticidad transversal (G): =  $8,1 \cdot 10^5$  Mpa

##### 4.2.3.1.- *Árbol de entrada*

El eje de entrada funciona a la velocidad de la máquina motriz que en este caso es de 1400 rpm, siendo su par de 103,57 Nm. El diámetro del eje es de 35 mm que es el que cumple todas las condiciones exigidas.

**4.2.3.2.- *Árbol intermedio***

El eje de intermedio tiene una velocidad de 250 rpm, siendo su par de 580 Nm. El diámetro del eje es de 55 mm que es el que cumple todas las condiciones exigidas.

**4.2.3.3.- *Árbol de salida***

El eje de salida funciona a la velocidad de la máquina arrastrada que en este caso es de 50 rpm, siendo su par de 2900 Nm. El diámetro del eje es de 85 mm que es el que cumple todas las condiciones exigidas.

**4.2.4.- Descripción de las chavetas**

Las chavetas encargadas de unir los engranajes con sus respectivos ejes serán chavetas normalizadas según la norma UNE 17102-1:1967. La longitud de estas chavetas será de aproximadamente 1,25 veces el diámetro del eje.

El material del que estarán fabricadas es un acero F-1140. Este material presenta las siguientes características:

- Resistencia a fluencia:  $640 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a rotura:  $850 \text{ N/mm}^2$
- Dureza Brinell: HB 248
- Alargamiento: 14 %

**4.2.5.- Descripción de los rodamientos**

Para reducir la fricción entre el árbol y la carcasa se utilizarán rodamientos. En nuestro caso los rodamientos elegidos son cónicos de una hilera, debido a las sollicitaciones axiales producidos por los engranajes cilíndricos con dientes helicoidales.

Los rodamientos que se han escogido para el eje de entrada son:

- Izquierda: 32007 X
- Derecha: 30304

Los rodamientos que se han escogido para el eje intermedio son:

- Izquierda: 33208
- Derecha: 30308

Los rodamientos que se han escogido para el eje de salida son:

- Izquierda: 32314 B
- Derecha: T7FC 085

Las características de estos rodamientos se pueden consultar en las hojas del catálogo del fabricante SKF que se encuentran en los anexos: ANEXO 13, ANEXO 14, ANEXO 15, ANEXO 16, ANEXO 17, ANEXO 18.

#### Descripción de los anillos de seguridad

Los anillos de seguridad son los encargados de limitar el desplazamiento axial de los elementos montados sobre el eje, como los engranajes y rodamientos. Los anillos de seguridad se han seleccionado del catálogo del fabricante MIKALOR en concreto los DIN 471-E.

Los anillos de seguridad seleccionados para el eje de entrada son:

- Rodamiento izquierdo: 01090320
- Rodamiento derecho: 01090195

Los anillos de seguridad seleccionados para el eje intermedio son:

- Rodamiento izquierdo: 01090355
- Rueda primera etapa: 01090419
- Rodamiento derecho: 01090355
- Los anillos de seguridad seleccionados para el eje de salida son:
- Rodamiento izquierdo: 01090494
- Rodamiento derecho: 01090566
- En el
- ANEXO 19 se puede consultar toda la información de los anillos de seguridad.

#### **4.2.6.- Casquillos espaciadores**

Su función es posicionar axialmente los distintos elementos que van montados sobre el eje. Su altura se ha dimensionado según las indicaciones que se muestran en el catálogo del fabricante de los rodamientos. Se pueden consultar en los anexos: ANEXO 13, ANEXO 14, ANEXO 15, ANEXO 16, ANEXO 17, ANEXO 18.

#### **4.2.7.- Sellos radiales de aceite**

Los sellos radiales de aceite o retenes, son los elementos que cierran los espacios entre los componentes estáticos y en movimiento ayudando a evitar fugas de lubricante. Los sellos que se han empleado han sido seleccionados del fabricante SKF con perfil de trabajo HMSA10.

Para el eje de entrada se ha seleccionado el modelo 35x47x7 HMSA10 RG.

Para el eje de salida se ha seleccionado el modelo 85x120x12 HMSA10 V.

#### **4.2.8.- Descripción de los tapones y visores de la carcasa**

Para facilitar las labores de llenado y sustitución del lubricante, se procederá a instalar un tapón de llenado, un tapón de vaciado y un visor de nivel en la carcasa de nuestro reductor.

El tapón de llenado se situará en la parte superior de la carcasa, ya que esta es la mejor ubicación para realizar la tarea de llenado. El tapón utilizado es el modelo 487016000 del fabricante TECNODIN. Se ha seleccionado del ANEXO 22.

El tapón de vaciado estará situado en la parte inferior de la carcasa para agilizar la sustitución del lubricante. El tapón de vaciado elegido incorporará un imán para comprobar si hay presencia de partículas metálicas producidas por el desgaste del reductor. El tapón utilizado es el modelo TM-1415 del fabricante TECNODIN. Se ha seleccionado del ANEXO 23.

El visor de nivel se situará en el lateral de la carcasa, quedando siempre visible. El visor utilizado es el modelo 482116000 del fabricante TECNODIN. Se ha seleccionado del ANEXO 24.

#### **4.2.9.- Carcasa**

La función principal de la carcasa es proteger los elementos que contiene como son los engranajes, los árboles y los rodamientos. Además es donde se introduce el aceite. Al ser un elemento de protección debe ser rígida y resistente. Por esta razón el material elegido para su fabricación será una fundición gris FG-25, que según la norma EN 15614:2011 presenta las siguientes características:

- Resistencia a tracción: 250 - 350 MPa
- Dureza Brinell: 180 - 250 MPa

La carcasa estará formada por el cárter, la tapa superior, la tapa lateral del eje de entrada y la tapa lateral del eje de salida. La unión se realizará mediante tornillos, empleando una junta entre las diferentes partes para garantizar la estanquidad del conjunto.

El cárter será fabricado por moldeo y posteriormente serán mecanizadas las zonas que estarán en contacto con los rodamientos.

La carcasa tendrá un acabado exterior con pintura en polvo termoendurecible a base de resinas poliésteres modificadas con resinas epoxídicas.

## 5.- BIBLIOGRAFIA

Tur Valiente, Manuel; Pedrosa Sánchez, Ana. *Grado en ingeniería mecánica: Diseño de máquinas I*. Valencia: Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales.

*Grado en ingeniería mecánica: Diseño de máquinas II*. Valencia: Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales.

Besa González, Antonio José; Valero Chuliá, Francisco José. *Diseño de máquinas*. Valencia: Editorial Universitat Politecnica de Valencia, 2016.

SKF. (s.f.). <http://www.skf.com>

Tecnodin. (s.f.). <http://www.tecnodin.com>

MIKALOR. (s.f.). <http://www.mikalor.com>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DOCUMENTO Nº:2**

# **CÁLCULOS**

# ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN.....	1
2.-	DATOS DE PARTIDA .....	1
3.-	CÁLCULO DE ENGRANAJES .....	2
3.1.-	CÁLCULO DE DIÁMETROS DE LOS EJES POR DEFLEXIÓN TORSIONAL .....	2
3.2.-	VISCOSIDAD DEL LUBRICANTE.....	2
3.3.-	DIÁMETRO DE LOS ENGRANAJES .....	2
3.3.1.-	Datos de partida para el cálculo del diámetro de los engranajes .....	2
3.3.2.-	Procedimiento .....	3
3.3.3.-	Resultados .....	5
3.4.-	ANCHURA DE LOS ENGRANAJES .....	6
3.4.1.-	Cálculo a presión superficial.....	7
3.4.2.-	Cálculo a flexión.....	11
3.4.3.-	Resultados .....	12
4.-	DISEÑO DE LOS EJES .....	15
4.1.-	DATOS GENERALES .....	15
4.2.-	ESQUEMA DEL EJE .....	16
4.2.1.-	Esquema de las fuerzas en sentido horario .....	16
4.2.2.-	Esquema de las fuerzas en sentido antihorario .....	17
4.2.3.-	Eje de entrada.....	18
4.2.4.-	Eje intermedio.....	18
4.2.5.-	Eje de salida .....	18
4.3.-	FUERZAS ACTUANTES SOBRE LOS EJES .....	19
4.3.1.-	Eje de entrada.....	19
4.3.2.-	Eje intermedio.....	20
4.3.3.-	Eje de salida .....	21
4.4.-	CÁLCULO A DEFLEXIÓN TORSIONAL.....	22
4.4.1.-	Eje de entrada.....	22
4.4.2.-	Eje intermedio.....	27
4.4.3.-	Eje de salida .....	29
4.5.-	FATIGA .....	34

4.5.1.-	Eje de entrada.....	37
4.5.2.-	Eje intermedio.....	40
4.5.3.-	Eje salida.....	44
5.-	DIMENSIONADO DE LOS RODAMIENTOS .....	48
5.1.-	CÁLCULO DE LA FUERZA EQUIVALENTE.....	48
5.2.-	CÁLCULO DE LA VIDA DEL RODAMIENTO.....	49
5.3.-	RESULTADOS .....	50
5.3.1.-	Eje de entrada.....	50
5.3.2.-	Eje intermedio.....	55
5.3.3.-	Eje de salida .....	58
5.3.4.-	Sustitución de los rodamientos .....	63

## 1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es diseñar un reductor de velocidad que cumpla unas condiciones de funcionamiento determinadas.

## 2.- DATOS DE PARTIDA

Las características que debe cumplir el reductor de velocidad son las siguientes:

- Relación de transmisión:  $28 \pm 5\%$
- Par máximo a la salida del reductor:  $2900 \text{ N}\cdot\text{m}$
- Número de etapas:  $2$
- Velocidad del eje de entrada del reductor:  $1400 \text{ r.p.m.}$
- Tipo de engranajes: Cilíndricos de dientes helicoidales

Como estimación inicial se seleccionan las siguientes relaciones de transmisión:

$$i_1 = 5,6 \qquad i_2 = 5$$

La potencia máxima del motor se puede obtener con la siguiente expresión:

$$P_{\max} = \omega_s \cdot T_{\max_s}$$

Ec. 1

Donde  $\omega_s$  se calcula con la relación de transmisión  $\omega_s = \frac{\omega_e}{i}$

Por tanto, la potencia máxima del motor es  $P_{\max} = 15184 \text{ W}$ .

Ahora ya podemos calcular la velocidad y el par torsor en cada eje empleando la Ec. 1 y la relación de transmisión:

Eje	$\omega$ (rpm)	T (N·m)
Entrada	1400	103,6
Intermedio	250	580
Salida	50	2900

Tabla 1. Velocidad y par torsor de cada eje.

### 3.- CÁLCULO DE ENGRANAJES

#### 3.1.- CÁLCULO DE DIÁMETROS DE LOS EJES POR DEFLEXIÓN TORSIONAL

Dado que el factor que determina el diámetro de los ejes en los lugares en que se localizan los engranajes es la rigidez torsional, vamos a calcular el diámetro mínimo para dos condiciones distintas. La primera es que cumplan una deflexión torsional máxima de 1,5 °/m y la segunda condición es que la deformación sea inferior a 1° en  $L=20 \cdot d$ . La expresión que utilizaremos:

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 T}{\pi G (\theta/L)_{\max}}}$$

Ec. 2

La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos en cada condición y el diámetro mínimo elegido en cada eje.

Eje	d para 1,5 °/m(mm)	d para 1°(mm)	d <sub>min</sub> (mm)
Entrada	26,558	24,621	26,558 (30)
Intermedio	40,855	43,722	43,722 (45)
Salida	61,092	74,763	74,763 (75)

Tabla 2. Diámetro mínimo por deflexión torsional de cada eje.

#### 3.2.- VISCOSIDAD DEL LUBRICANTE

Para determinar la anchura de los engranajes es necesario conocer la viscosidad cinemática del lubricante a una temperatura de 40 °C. Por esa razón se selecciona el aceite mineral ISO VG 320 con temperaturas ambientes entre 10 °C y 40 °C, pudiendo ser reemplazado una vez determinada la anchura del dentado si este aceite no fuera el adecuado. El aceite seleccionado tiene una viscosidad cinemática de 320 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C.

#### 3.3.- DIÁMETRO DE LOS ENGRANAJES

##### 3.3.1.- Datos de partida para el cálculo del diámetro de los engranajes

El diámetro de los engranajes está determinado por el diámetro del eje donde va montado el piñón, por el tamaño de la chaveta que se utiliza para transmitir el par torsor y por la distancia entre el fondo del chavetero y la circunferencia base del diente que se considere adecuada, siendo en nuestro caso igual a 2 veces el tamaño del módulo utilizado en el engranaje. A continuación, se muestra una tabla donde aparecen las dimensiones de las chavetas de cada uno de los engranajes.

	Etapa 1		Etapa 2	
	Piñón	Rueda	Piñón	Rueda
Diámetro del eje (mm)	35	55	55	85
Longitud (mm)	43,8 (44)	68,8 (69)	68,8 (69)	106
Altura (mm)	8	10	10	14
Anchura (mm)	10	16	16	22
Profundidad en cubo (mm)	3,3	4,3	4,3	5,4
Profundidad en eje (mm)	5	6	6	9

Tabla 3. Dimensiones de las chavetas

### 3.3.2.- Procedimiento

Como el reductor es de engranajes cilíndricos de dientes helicoidales hay que diferenciar el módulo normal  $m_n$  y el módulo aparente  $m_t$ . Si consideramos que el engranaje se fabrica mediante fresado el módulo normal es el que se encuentra entre los normalizados. Por tanto, para calcular el módulo aparente se utiliza la siguiente expresión:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

Ec. 3

En este caso se ha seleccionado  $\beta = 20^\circ$

El diámetro mínimo de cada uno de los piñones para evitar que la circunferencia base quede demasiado próxima al fondo del chavetero lo calculamos con la siguiente expresión:

$$d_1 = d_{eje} + 2 \cdot h_2 + 2 \cdot S_R + 2 \cdot 1,25 \cdot m_n$$

Ec. 4

Donde vamos a considerar que  $S_R = 2 \cdot m_n$

Una vez calculado el diámetro mínimo del piñón se calcula el número de dientes del piñón mediante la siguiente expresión:

$$z = \frac{m_t}{d}$$

Ec. 5

El resultado de esta ecuación lo redondeamos a un número entero y utilizando de nuevo la Ec. 5 se vuelve a calcular el diámetro para un número de dientes entero.

El siguiente paso es calcular el número de dientes de la rueda mediante la relación de transmisión:

$$z_2 = z_1 \cdot i$$

Ec. 6

El valor obtenido lo redondeamos y comprobamos que  $z_1$  y  $z_2$  no tengan divisores comunes para evitar problemas de desgaste. Si aparecen divisores comunes aumentamos o reducimos el número de dientes hasta que desaparezcan los divisores comunes.

Para terminar, calculamos el diámetro de la rueda mediante la expresión Ec. 5 y recalculamos la relación de transmisión mediante la expresión Ec. 6.

El procedimiento descrito se realiza para los distintos módulos estandarizados. Una vez realizados los cálculos comprobamos que la rueda no supere los 150 dientes y que su diámetro sea inferior a 500 mm. Por otra parte, el piñón debe de tener un mínimo de dientes para evitar que aparezca interferencia de generación en el tallado con una cremallera de corte. El número de dientes mínimo del piñón se puede calcular con la siguiente expresión:

$$z_{\min} = \frac{2 \cdot \cos \beta}{\operatorname{sen}^2 \alpha_t}$$

Ec. 7

Donde  $\alpha_t$  se obtiene de:

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

Ec. 8

Siendo  $\alpha_n = 20^\circ$

Finalmente, obtenemos que el mínimo número de dientes del piñón sean 14 dientes.

### 3.3.3.- Resultados

#### 3.3.3.1.- *Etapa 1*

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para la primera etapa del reductor:

$m_n$	$m_t$	$d_1^*$ (mm)	$z_1^*$	$z_1$	$d_1$ (mm)	$z_2^*$	$z_2$	$z_{2opt}$	$d_2$ (mm)	$i$	Valoración
0,5	0,532	44,85	84,29	84	44,70	470,4	470	470	250,08	5,5952	$Z_2 > 150$
0,6	0,639	45,50	71,26	71	45,33	397,6	398	398	254,13	5,6056	$Z_2 > 150$
0,8	0,851	46,80	54,97	55	46,82	308	308	308	262,21	5,6000	$Z_2 > 150$
1	1,064	48,10	45,20	45	47,89	252	252	252	268,17	5,6000	$Z_2 > 150$
1,25	1,330	49,73	37,38	37	49,22	207,2	207	207	275,36	5,5946	$Z_2 > 150$
1,5	1,596	51,35	32,17	32	51,08	179,2	179	179	285,73	5,5938	$Z_2 > 150$
2	2,128	54,60	25,65	26	55,34	145,6	146	145	308,61	5,5769	Si
2,5	2,660	57,85	21,74	22	58,53	123,2	123	123	327,23	5,5909	Si
3	3,193	61,10	19,14	19	60,66	106,4	106	106	338,41	5,5789	Si
4	4,257	67,60	15,88	16	68,11	89,6	90	89	378,85	5,5625	Si
5	5,321	74,10	13,93	14	74,49	78,4	78	79	420,35	5,6429	Si
6	6,385	80,60	12,62	14	89,39	78,4	78	79	504,42	5,6429	$d_2 > 500$ mm
8	8,513	93,60	10,99	14	119,19	78,4	78	79	672,56	5,6429	$d_2 > 500$ mm
10	10,642	106,60	10,02	14	148,98	78,4	78	79	840,70	5,6429	$d_2 > 500$ mm
12	12,770	119,60	9,37	14	178,78	78,4	78	79	1008,84	5,6429	$d_2 > 500$ mm
16	17,027	145,60	8,55	14	238,38	78,4	78	79	1345,12	5,6429	$d_2 > 500$ mm
20	21,284	171,60	8,06	14	297,97	78,4	78	79	1681,40	5,6429	$d_2 > 500$ mm
25	26,604	204,10	7,67	14	372,46	78,4	78	79	2101,75	5,6429	$d_2 > 500$ mm

**Tabla 4. Resumen de los posibles módulos para los engranajes de la etapa 1.**

**3.3.3.2.- Etapa 2**

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para la segunda etapa del reductor:

$m_n$	$m_t$	$d_1^*$ (mm)	$z_1^*$	$z_1$	$d_1$ (mm)	$z_2^*$	$z_2$	$z_{2opt}$	$d_2$ (mm)	$i$	Valoración
0,5	0,532	66,85	125,64	126	67,04	630	630	630	335,22	5,0000	$Z_2 > 150$
0,6	0,639	67,50	105,72	106	67,68	530	530	530	338,41	5,0000	$Z_2 > 150$
0,8	0,851	68,80	80,81	81	68,96	405	405	405	344,79	5,0000	$Z_2 > 150$
1	1,064	70,10	65,87	66	70,24	330	330	330	351,18	5,0000	$Z_2 > 150$
1,25	1,330	71,73	53,92	54	71,83	270	270	270	359,16	5,0000	$Z_2 > 150$
1,5	1,596	73,35	45,95	46	73,43	230	230	230	367,14	5,0000	$Z_2 > 150$
2	2,128	76,60	35,99	36	76,62	180	180	180	383,10	5,0000	$Z_2 > 150$
2,5	2,660	79,85	30,01	30	79,81	150	150	149	396,41	4,9667	Si
3	3,193	83,10	26,03	26	83,01	130	130	129	411,84	4,9615	Si
4	4,257	89,60	21,05	21	89,39	105	105	104	442,70	4,9524	Si
5	5,321	96,10	18,06	18	95,78	90	90	89	473,56	4,9444	Si
6	6,385	102,60	16,07	16	102,16	80	80	80	510,81	5,0000	$d_2 > 500$ mm
8	8,513	115,60	13,58	14	119,19	70	70	70	595,94	5,0000	$d_2 > 500$ mm
10	10,642	128,60	12,08	14	148,98	70	70	70	744,92	5,0000	$d_2 > 500$ mm
12	12,770	141,60	11,09	14	178,78	70	70	70	893,91	5,0000	$d_2 > 500$ mm
16	17,027	167,60	9,84	14	238,38	70	70	70	1191,88	5,0000	$d_2 > 500$ mm
20	21,284	193,60	9,10	14	297,97	70	70	70	1489,85	5,0000	$d_2 > 500$ mm
25	26,604	226,10	8,50	14	372,46	70	70	70	1862,31	5,0000	$d_2 > 500$ mm

Tabla 5. Resumen de los posibles módulos para los engranajes de la etapa 2.

**3.4.- ANCHURA DE LOS ENGRANAJES**

En el apartado anterior se han acotado los posibles módulos que se pueden utilizar. Para cada módulo aparecen los diámetros y número de dientes del piñón y la rueda correspondientes. Para la fabricación de nuestros engranajes se ha optado por utilizar acero aleado templado y revenido 34NiCrMo16. Sus características se han extraído del ANEXO 1, siendo estas:

- $S_y = 1030 \text{ N/mm}^2$
- $H_B = 352$
- $S_{HL} = 835,2 \text{ N/mm}^2$
- $S_{FL} = 336,6 \text{ N/mm}^2$

Con los datos geométricos calculados anteriormente y tomando como coeficiente de seguridad  $X = 1,5$  vamos a calcular la anchura para que cumpla dos criterios de fallo. El primero es la anchura mínima a presión superficial y el segundo a flexión. El procedimiento será estimar primero la anchura a presión superficial y luego utilizar el resultado para comprobar que el coeficiente de seguridad a flexión es mayor al previamente estimado.

Además la anchura del engranaje debe de cumplir estas dos condiciones:

- $b \leq 2 \cdot d$
- $b \gg 0,5 \cdot d$

### 3.4.1.- Cálculo a presión superficial

Para el cálculo a presión superficial vamos a utilizar la expresión desarrollada por Hertz aplicándola a engranajes cilíndricos de dientes helicoidales. Partiremos de la siguiente expresión:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d_1} \cdot \frac{1+i}{i}} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}}$$

Ec. 9

Sustituyendo en la expresión del coeficiente de seguridad:

$$X_H = \left( \frac{S_{HP}}{\sigma_H} \right)^2$$

Ec. 10

Y finalmente despejando el ancho obtenemos:

$$b = \frac{F_t}{d_1} \cdot \frac{1+i}{i} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot \left( \frac{Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta}{S_{HP}} \right)^2$$

Ec. 11

A continuación vamos a desarrollar los términos de la expresión anterior:

- $F_t$ : Fuerza tangencial. Su expresión es la siguiente:

$$F_t = \frac{T_1}{d_1/2} = \frac{T_2}{d_2/2}$$

Ec. 12

$d_1$ : Diámetro primitivo (previamente calculado).

- $i$ : Relación de transmisión de la etapa.
- $K_A$ : Coeficiente de aplicación. Este coeficiente depende del tipo de máquina motriz y de la arrastrada. En nuestro caso se ha considerado la máquina motriz sea uniforme y la arrastrada con choques moderados. Siendo por tanto el valor obtenido del ANEXO 5 igual a  $K_A = 1,5$ .

- $K_V$ : Coeficiente dinámico. Los factores de los que depende este coeficiente son:
  - Los errores en el dentado de los engranajes.
  - La velocidad tangencial.
  - Los momentos de inercia polares de la rueda y el piñón.
  - La rigidez de los dientes de los engranajes, ejes y soportes.
  - La carga transmitida.

Siempre que el sistema sea bastante rígido, el número de dientes del piñón sea menor de 50, el valor de  $\beta$  sea inferior a  $30^\circ$ , el resultado de  $\frac{V \cdot z_1}{100} \cdot \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}}$  sea menor de 10 m/s y en el caso de nuestro reductor, al tratarse de engranajes cilíndricos con dientes helicoidales, el índice de recubrimiento sea 1 o mayor que 1, se va a emplear la siguiente expresión:

$$K_V = 1 + \left( \frac{K_1}{K_A \cdot \frac{F_t}{b}} + K_2 \right) \cdot \frac{V \cdot z_1}{100} \cdot K_3 \cdot \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}}$$

Ec. 13

Donde:

- $K_1$  depende de la calidad del tallado, que en nuestro caso es  $Q_{ISO} = 5$  y se extrae del ANEXO 6
- $K_2$  para el caso de dentado helicoidal es igual a 0,0087
- $K_3$  depende de:

$$\begin{aligned} \text{Si } \frac{V \cdot z_1}{100} \cdot \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}} &\leq 0,2 \text{ m/s} & K_3 &= 2 \\ \text{Si } \frac{V \cdot z_1}{100} \cdot \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}} &> 0,2 \text{ m/s} & K_3 &= -0,357 \cdot \frac{V \cdot z_1}{100} \cdot \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}} + 2,071 \\ && K_{3 \text{ min}} &= 1 \end{aligned}$$

- $K_{H\beta}$ : coeficiente de distribución de carga longitudinal debida a presión superficial. Este coeficiente es función de  $Q_{ISO}$ , de la anchura del engranaje ( $b$ ), del diámetro del piñón ( $d_1$ ) y del tipo de ajuste. En nuestro caso el tipo de ajuste sería del tipo b, c. La expresión para calcular el coeficiente  $K_{H\beta}$  es la siguiente:

$$K_{H\beta} = H_1 + H_2 \cdot b + H_3 \cdot \left( \frac{b}{d_1} \right)^2$$

Ec. 14

Donde los valores de  $H_1, H_2$  y  $H_3$  se obtienen del ANEXO 7

- $K_{H\alpha}$ : coeficiente de distribución de carga transversal debida a presión superficial. Como nuestra  $Q_{ISO}$  es igual a 5, y por tanto inferior a 6 el valor de este coeficiente es 1.
- $Z_H$ : Coeficiente geométrico. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cdot \cos \beta}{\sin \alpha_t \cdot \cos \alpha_t}}$$

Ec. 15

$Z_E$ : Coeficiente elástico. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}}$$

Ec. 16

$Z_\epsilon$ : coeficiente de conducción. En el caso de dientes helicoidales es dependiente del valor del índice de recubrimiento:

$$\text{Si } \epsilon_\beta < 1 \rightarrow Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3} \cdot (1 - \epsilon_\beta) + \frac{\epsilon_\beta}{\epsilon_\alpha}}$$

$$\text{Si } \epsilon_\beta > 1 \rightarrow Z_\epsilon = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_\alpha}}$$

Ec. 17

Donde la relación de conducción  $\epsilon_\alpha$  se obtiene:

$$\epsilon_\alpha = \frac{1}{\pi \cdot \cos \alpha_t} \left[ \sqrt{\frac{z_1^2}{4} \sin^2 \alpha_t + y_1^2 + z_1 y_1} + \sqrt{\frac{z_2^2}{4} \sin^2 \alpha_t + y_2^2 + z_2 y_2} - \left( \frac{z_1 + z_2}{2} \right) \sin \alpha_t \right]$$

Ec. 18

- $Z_\beta$ : factor de ángulo de hélice. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Z_\beta = \frac{1}{\sqrt{\cos \beta}}$$

Ec. 19

$S_{HP}$ : Tensión de contacto máxima admisible para una probabilidad de fallo del 1% se expresa como:

$$S_{HP} = S_{HL} \cdot Z_N \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_W \cdot Z_X$$

Ec. 20

Donde:

- $S_{HL}$ : Tensión de contacto límite del material durante  $5 \cdot 10^7$  ciclos de carga.
- $Z_N$ : Coeficiente de duración. Para nuestro material y  $N_L \geq 5 \cdot 10^7$  su valor es igual a 1.
- $Z_L$ : Coeficiente de viscosidad del lubricante. Para nuestro material y nuestro lubricante se puede utilizar la siguiente expresión para calcular este coeficiente:

$$Z_L = C_{ZL} + \frac{4 \cdot (1 - C_{ZL})}{\left(1,2 + \frac{134}{v_{40}}\right)^2}$$

Ec. 21

Donde  $C_{ZL} = 0,83$  puesto que  $S_{HL} \leq 850 \text{ N/mm}^2$ 

- $Z_R$ : Coeficiente de rugosidad. Para calcular este coeficiente se utiliza la siguiente expresión:

$$Z_R = \left(\frac{3}{R_{z10}}\right)^{C_{ZR}}$$

Ec. 22

Donde  $R_{z10} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{10 \cdot (r_1 + r_2)}{r_1 \cdot r_2 \cdot \sin \alpha_t}}$ 

- $Z_V$ : Coeficiente de velocidad. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Z_V = C_{ZV} + \frac{2 \cdot (1 - C_{ZV})}{\sqrt{0,8 + \frac{32}{v}}}$$

Ec. 23

Donde  $C_{ZV} = C_{ZL} + 0,02$ 

- $Z_W$ : Coeficiente de dureza. El coeficiente del piñón es igual a 1 y puesto que el material de la rueda es el mismo que el del piñón y se trata de un acero templado, el coeficiente de dureza de la rueda es igual a 1.
- $Z_X$ : Coeficiente de tamaño. Su valor es igual a 1.

### 3.4.2.- Cálculo a flexión

Para el cálculo a flexión emplearemos el modelo de Lewis modificado, para poder aplicarlo al caso de dentado helicoidal, al que le añadiremos unos factores correctores. La expresión es la siguiente:

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot Y_{Fa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_{sa} \cdot Y_\beta \cdot Y_B \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}$$

Ec. 24

Una vez calculada la tensión a flexión con la anchura calculada en el apartado anterior, calculamos el coeficiente de seguridad el cual debe ser superior al coeficiente de seguridad deseado. La expresión para el cálculo del coeficiente de seguridad es:

$$X_F = \frac{S_{FP}}{\sigma_F}$$

Ec. 25

A continuación vamos a detallar los términos de la ecuación anterior:

- $Y_{Fa}$ : Coeficiente de forma para la carga aplicada en el extremo. Para nuestro caso se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Y_{Fa} = 38,18 \cdot z_v^{-1,29} + 2,11$$

Ec. 26

siendo  $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$

- $Y_\varepsilon$ : coeficiente de conducción. Su valor se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \left( \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} \right)$$

Ec. 27

- $Y_{sa}$ : coeficiente de concentración de tensiones en la base del diente. Para nuestro caso se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Y_{sa} = 0,96 + 0,54 \cdot \log z_v$$

Ec. 28

- $Y_\beta$ : factor de inclinación. Como nuestro ángulo de inclinación es  $20^\circ$  la expresión para nuestro caso es:

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \cdot \left( \frac{\beta}{120^\circ} \right)$$

Ec. 29

- $Y_B$ : factor de espesor de aro. Se calcula con la siguiente expresión.

$$Y_B = 1,6 \cdot \ln \left( 2,242 \cdot \frac{h_t}{S_R} \right)$$

Ec. 30

- $K_{F\beta}$ : coeficiente de distribución de carga longitudinal debida a flexión. Para su cálculo emplearemos la siguiente expresión:

$$K_{F\beta} = (K_{H\beta})^{N_F}$$

Ec. 31

$$\text{Con } N_F = \frac{1}{1 + \frac{h}{b} + \left(\frac{h}{b}\right)^2}$$

- $K_{F\alpha}$ : coeficiente de distribución de carga transversal debida a flexión. Como nuestra  $Q_{ISO}$  es igual a 5, y por tanto inferior a 6 el valor de este coeficiente es 1.

Los valores de  $K_A$ ,  $K_V$ ,  $F_t$  y  $m_n$  han sido calculados ya anteriormente.

### 3.4.3.- Resultados

#### 3.4.3.1.- Etapa 1

$m_n$	$m_t$	$z_1$	$d_1$ (mm)	$z_{2opt}$	$d_2$ (mm)	$i$	$b$	Valoración
2	2,128	26	55,34	145	308,61	5,5769	31	Válido
2,5	2,660	22	58,53	123	327,23	5,5909	27	Válido
3	3,193	19	60,66	106	338,41	5,5789	26	Válido
4	4,257	16	68,11	89	378,85	5,5625	22	Válido
5	5,321	14	74,49	79	420,35	5,6429	19	Válido

Tabla 6. Valoración del ancho de la primera etapa.

Los resultados de los cálculos se muestran en la siguiente hoja de cálculo proporcionada por el Departamento de Ingeniería Mecánica para el módulo elegido  $m_n = 3$ :



<p><b>Datos generales</b></p> <p>X 1,5 Pot 15184 W i 4,952381 ω<sub>piñón</sub> 250 rpm 26,18 rad/s m<sub>n</sub> 4 mm β 20° 0,3491 rad α<sub>s</sub> 20° 0,3491 rad d<sub>1</sub> 89,390933 mm</p>	<p><b>Geometría dentado</b></p> <p>α<sub>t</sub> 21,17° 0,3695 rad β<sub>b</sub> 18,75° 0,3272 rad m<sub>t</sub> 4,26 b<sub>hel</sub> 89,390933 mm h<sub>t</sub> 9,000 mm altura diente h<sub>2</sub> 4,3 mm h chavetero cubo S<sub>R</sub> 7,90 mm S<sub>R</sub>/h<sub>t</sub> 0,88</p>	<p><b>Resultados eje por Torsión</b></p> <p>G 7,92E+10 N/m<sup>2</sup> T 580,00 N·m 1,5 41,1 mm 1° en 20-d 44,0 mm d 44,0 mm d<sub>1</sub> 93,6 mm estimado</p>																																																																																																																													
<p><b>Datos eje</b></p> <p>E eje 2,06E+11 N/m<sup>2</sup> v<sub>eje</sub> 0,3 θ/L<sub>max</sub> 1,5 %/m 0,0262 rad/m d<sub>eje</sub> 55 mm</p>	<p><b>Datos generales</b></p> <p>Z<sub>1</sub> 21 dientes d<sub>1</sub> real 89,39 mm Z<sub>2</sub> 104 dientes d<sub>2</sub> real 442,70 mm Z<sub>1v</sub> 25,31 dientes Dc 266,04 mm r 125,34 dientes Par (T) 580,00 N/m F<sub>tanq</sub> 12976,71 N V<sub>z</sub>/100R 0,241 m/s V<sub>tanq</sub> 1,17 m/s i real= 4,9524</p>	<p><b>Interferencia dentado helicoidal</b></p> <p>Z<sub>lim</sub> 14,41</p>																																																																																																																													
<p><b>Datos Engranajes</b></p> <p>Nº Material piñón = 7 Ac. aleado templado y revenido E1 2,06E+05 N/mm<sup>2</sup> v1 0,3 Nº Material rueda = 7 Ac. aleado templado y revenido E2 2,06E+05 N/mm<sup>2</sup> v2 0,3 min max HBr1 352 O.K. 200 360 HBr2 352 O.K. 200 360 SHL1 835,2 N/mm<sup>2</sup> SFL1 336,6 N/mm<sup>2</sup> SHL2 835,2 N/mm<sup>2</sup> SFL2 336,6 N/mm<sup>2</sup> Sy1 1030 N/mm<sup>2</sup> Sy2 1030 N/mm<sup>2</sup> v<sub>ap</sub> 320 mm<sup>2</sup>/s Qiso 5 K<sub>i</sub> r 7,5 K<sub>i</sub> h 6,7 Rz1 1,4 ηm Rz2 1,4 ηm Rz 1,4 ηm K<sub>s</sub> 1,5</p>	<p><b>Coef. a fallo superficial</b></p> <p>ZH 2,37 ZE 189,81 (N/mm<sup>2</sup>)<sup>0,5</sup> Zε 1,03</p> <p><b>Coeficientes de tensión a flexión</b></p> <p>Yfa1 2,70 Yfa2 2,19 εα 1,66 Yε 0,70 Ysa1 1,72 Ysa2 2,09 Yβ 1,50</p> <p><b>Coef. de funcionamiento</b></p> <p>K<sub>σF</sub> 0,0193 K<sub>σH</sub> 0,0087 K<sub>σ</sub> 1,99 K<sub>Hσ</sub> 1,00 K<sub>Fσ</sub> 1,00</p> <p><b>Cálculos previos material</b></p> <p>pr 13,4 Rz<sub>01</sub> 3,00 2,01 CZL1 0,83 CZL2 0,83 CZV1 0,85 CZV2 0,85 CZR1 0,15 CZR2 0,15 R<sub>10</sub> 1,27</p> <p><b>Material a fallo superficial</b></p> <p>ZN 1,000 ZL1 1,090 ZL2 1,090 ZV1 0,907 ZV2 0,907 ZR1 1,138 ZR1 1,138 ZW 1 1,069 1 SHP1 938,54 SHP2 938,54 N/mm<sup>2</sup> bH= 96,0875 Z<sub>ε</sub><sup>2</sup> K<sub>Hσ</sub> K<sub>v</sub> mm PIÑÓN</p> <p><b>Material a flexión</b> 0,7346 0,7346</p> <p>YσT 1,000 YσT1 2,100 YσT2 0,000 0,894 YσT1 0,000 YσT2 0,000 1,035 YσT1 1,097 YσT2 1,097 YX1 1,000 YX2 1,000 SFP1 692,90 N/mm<sup>2</sup> SFP2 802,23 N/mm<sup>2</sup></p>																																																																																																																														
<p><b>Datos para Khβ</b></p> <p>Ajuste b,c H1 1,100 H2 1,15E-04 H3 0,180</p> <p><b>Otros coeficientes</b></p> <p><b>Coef YσT</b></p> <p>A1 0 A2 0 B1 0 B2 0</p> <p><b>Coef YσF</b></p> <p>Ref1 1,12 Ref2 1,12 A1 1,674 A2 1,674 B1 -0,529 B2 -0,529 exp1 0,1 exp2 0,1</p> <p><b>Coef Yx</b></p> <p>A1 1,03 A2 1,03 B1 -0,006 B2 -0,006 Cte1 0,85 Cte2 0,85</p>	<p><b>Anchura a fallo superficial</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>bH0</th> <th>ε<sub>β</sub></th> <th>Zε</th> <th>Khβ</th> <th>K<sub>F</sub>F/b</th> <th>K<sub>vα</sub></th> <th>K<sub>vβ</sub></th> <th>K<sub>v</sub></th> <th>bH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>89,39</td><td>2,43</td><td>0,78</td><td>1,290</td><td>217,75</td><td>1,026</td><td>1,019</td><td>1,019</td><td>76,26</td></tr> <tr><td>76,26</td><td>2,08</td><td>0,78</td><td>1,240</td><td>255,26</td><td>1,023</td><td>1,017</td><td>1,017</td><td>73,11</td></tr> <tr><td>73,11</td><td>1,99</td><td>0,78</td><td>1,229</td><td>266,23</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,43</td></tr> <tr><td>72,43</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,227</td><td>268,73</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,29</td></tr> <tr><td>72,29</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,27</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,26</td></tr> <tr><td>72,26</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,38</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,25</td></tr> <tr><td>72,25</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,41</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,25</td></tr> <tr><td>72,25</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,41</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,25</td></tr> <tr><td>72,25</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,41</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,25</td></tr> <tr><td>72,25</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,41</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,25</td></tr> <tr><td>72,25</td><td>1,97</td><td>0,78</td><td>1,226</td><td>269,41</td><td>1,023</td><td>1,016</td><td>1,016</td><td>72,25</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Coeficiente de seguridad a flexión</b> X<sub>seguridad</sub> = 1,50</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N<sub>F</sub></th> <th>K<sub>Fβ</sub></th> <th>Y<sub>β</sub></th> <th>σ<sub>F</sub> piñón</th> <th>σ<sub>F</sub> rueda</th> <th>X<sub>F</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,8771</td> <td>1,196</td> <td>0,83</td> <td>333,77 N/mm<sup>2</sup></td> <td>219,13 N/mm<sup>2</sup></td> <td>2,08 O.K.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>X<sub>F</sub></td> <td>2,08</td> <td>3,66</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>d1 89,4 mm bmin 22,3 mm bmax 178,8 mm b= 73 mm</p>	bH0	ε <sub>β</sub>	Zε	Khβ	K <sub>F</sub> F/b	K <sub>vα</sub>	K <sub>vβ</sub>	K <sub>v</sub>	bH	89,39	2,43	0,78	1,290	217,75	1,026	1,019	1,019	76,26	76,26	2,08	0,78	1,240	255,26	1,023	1,017	1,017	73,11	73,11	1,99	0,78	1,229	266,23	1,023	1,016	1,016	72,43	72,43	1,97	0,78	1,227	268,73	1,023	1,016	1,016	72,29	72,29	1,97	0,78	1,226	269,27	1,023	1,016	1,016	72,26	72,26	1,97	0,78	1,226	269,38	1,023	1,016	1,016	72,25	72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25	72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25	72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25	72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25	72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25	N <sub>F</sub>	K <sub>Fβ</sub>	Y <sub>β</sub>	σ <sub>F</sub> piñón	σ <sub>F</sub> rueda	X <sub>F</sub>	0,8771	1,196	0,83	333,77 N/mm <sup>2</sup>	219,13 N/mm <sup>2</sup>	2,08 O.K.			X <sub>F</sub>	2,08	3,66	
bH0	ε <sub>β</sub>	Zε	Khβ	K <sub>F</sub> F/b	K <sub>vα</sub>	K <sub>vβ</sub>	K <sub>v</sub>	bH																																																																																																																							
89,39	2,43	0,78	1,290	217,75	1,026	1,019	1,019	76,26																																																																																																																							
76,26	2,08	0,78	1,240	255,26	1,023	1,017	1,017	73,11																																																																																																																							
73,11	1,99	0,78	1,229	266,23	1,023	1,016	1,016	72,43																																																																																																																							
72,43	1,97	0,78	1,227	268,73	1,023	1,016	1,016	72,29																																																																																																																							
72,29	1,97	0,78	1,226	269,27	1,023	1,016	1,016	72,26																																																																																																																							
72,26	1,97	0,78	1,226	269,38	1,023	1,016	1,016	72,25																																																																																																																							
72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25																																																																																																																							
72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25																																																																																																																							
72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25																																																																																																																							
72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25																																																																																																																							
72,25	1,97	0,78	1,226	269,41	1,023	1,016	1,016	72,25																																																																																																																							
N <sub>F</sub>	K <sub>Fβ</sub>	Y <sub>β</sub>	σ <sub>F</sub> piñón	σ <sub>F</sub> rueda	X <sub>F</sub>																																																																																																																										
0,8771	1,196	0,83	333,77 N/mm <sup>2</sup>	219,13 N/mm <sup>2</sup>	2,08 O.K.																																																																																																																										
		X <sub>F</sub>	2,08	3,66																																																																																																																											

Tabla 9. Resultados del cálculo del ancho de la segunda etapa.

## 4.- DISEÑO DE LOS EJES

### 4.1.- DATOS GENERALES

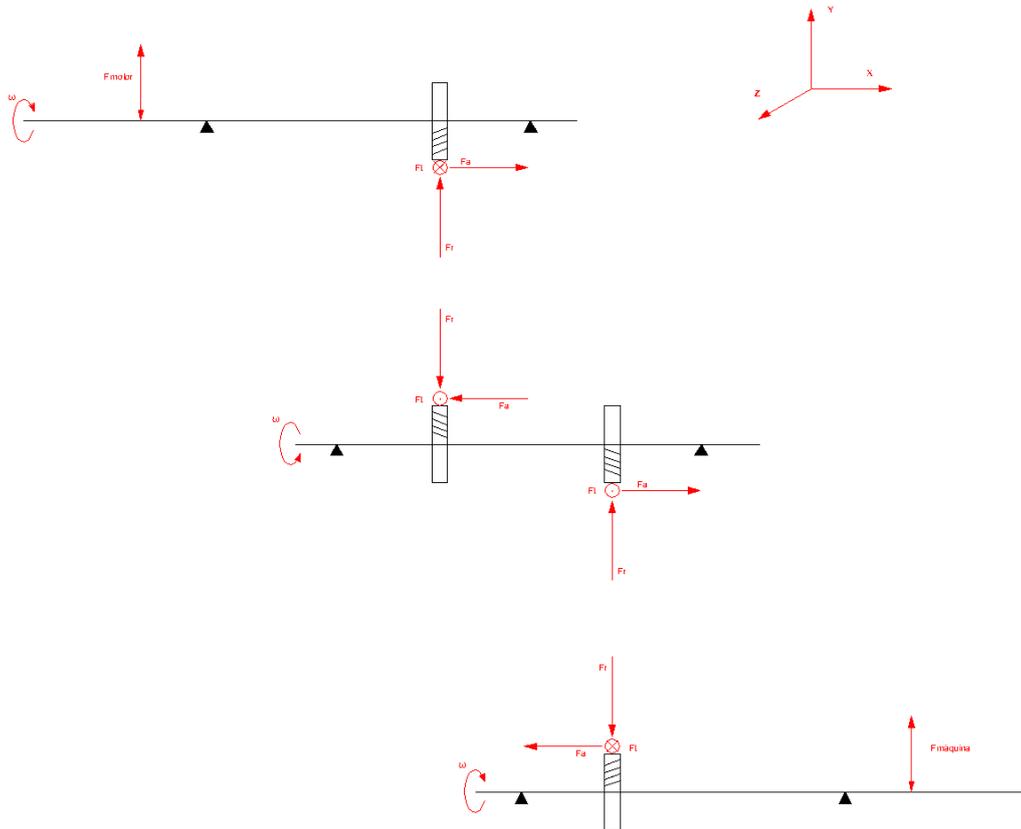
El material utilizado para la fabricación de los ejes será un acero 4140 / F-1252 de la norma UNE, normalizado, sus datos se muestran en el ANEXO 4.

Las características de este acero son:

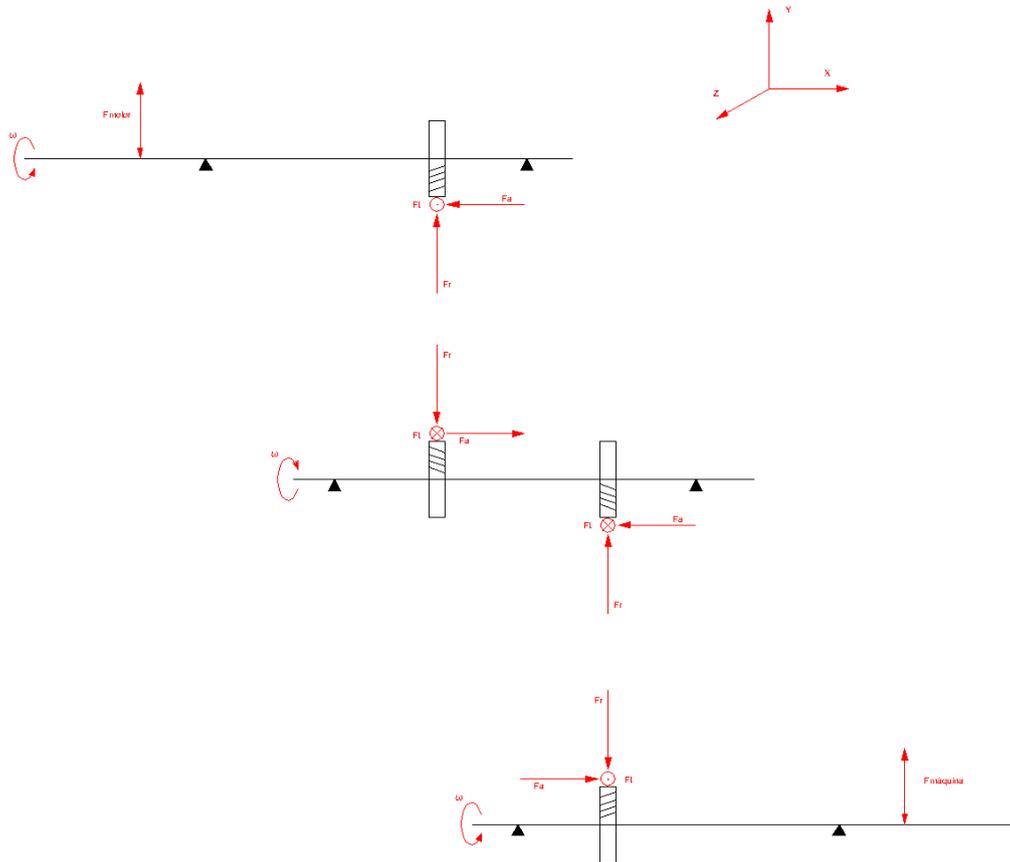
- $S_{ut} = 950 \text{ Mpa}$
- $S_y = 560 \text{ Mpa}$
- Alargamiento en la rotura = 19%
- $HB = 277$
- Módulo de Young (E) =  $2,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$
- Módulo de elasticidad transversal (G): =  $8,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$

## 4.2.- ESQUEMA DEL EJE

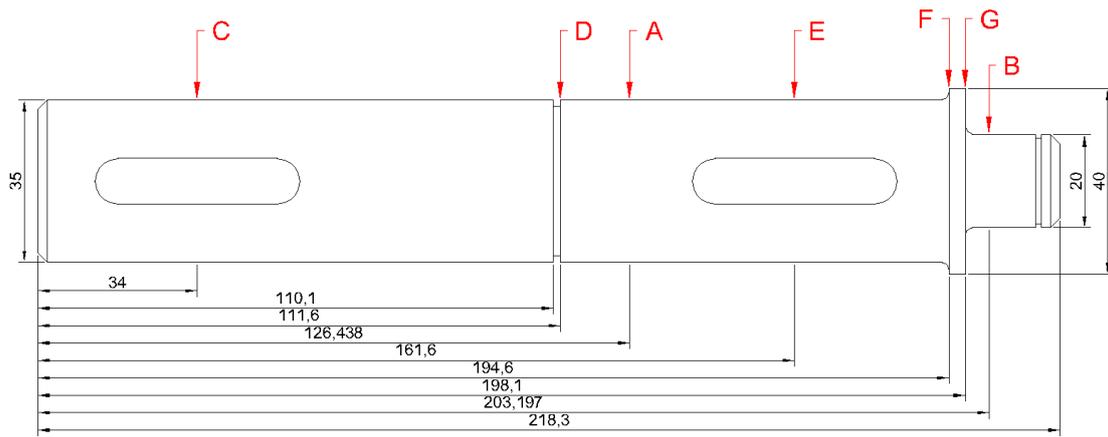
### 4.2.1.- Esquema de las fuerzas en sentido horario



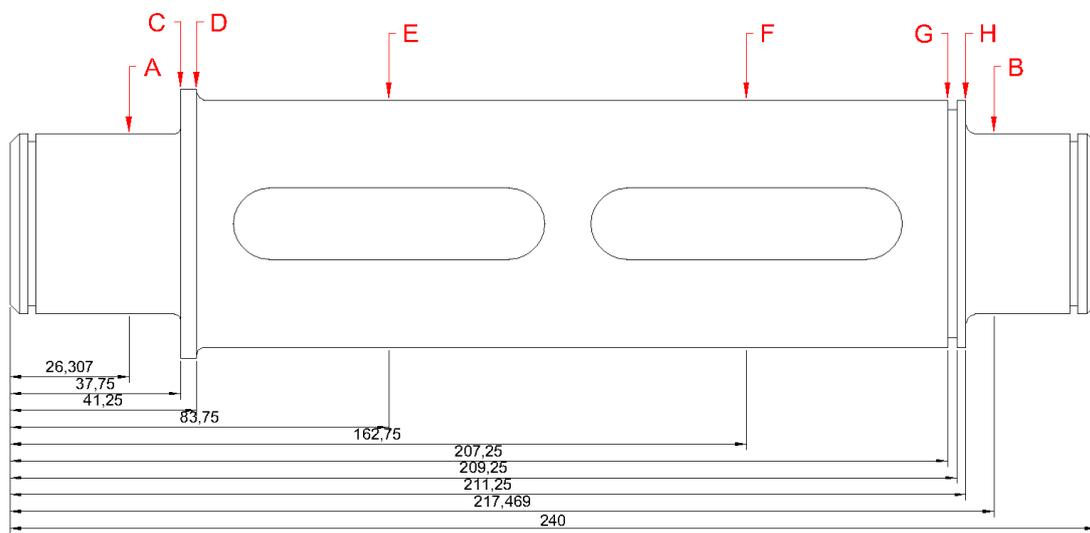
4.2.2.- Esquema de las fuerzas en sentido antihorario



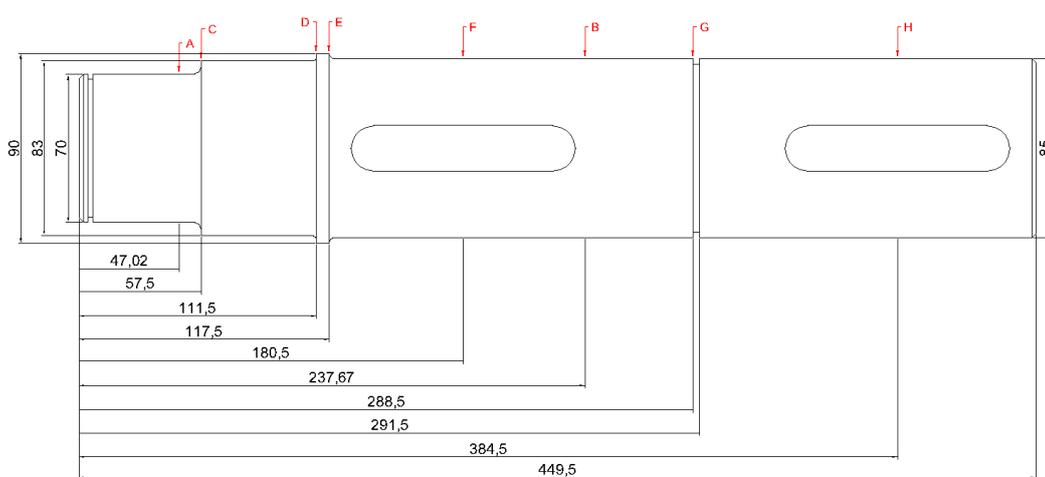
4.2.3.- Eje de entrada



4.2.4.- Eje intermedio



4.2.5.- Eje de salida



### 4.3.- FUERZAS ACTUANTES SOBRE LOS EJES

#### 4.3.1.- Eje de entrada

En el eje hay que considerar el par torsor que aparece entre la sección C y E que es igual a:

$$T = 103,57 \text{ Nm}$$

Por otra parte, hay que considerar diversas fuerzas, las originadas por la máquina actuante en la sección C, las que aparecen en el engranaje en la sección E, y además, las reacciones que aparecen en los rodamientos en las secciones A y B.

Las fuerzas que introduce la máquina actuante no son conocidas pero se pueden aproximar con la siguiente expresión:

$$F_r = \frac{T_e}{2 \cdot d_e} = \frac{103,57}{2 \cdot 0,035} = \pm 1479,59 \text{ N}$$

Las fuerzas que actúan sobre el engranaje para el sentido horario son:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{103,57}{\frac{0,06066}{2}} = -3414,92 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 3414,92 \cdot \tan 21,17 = 1322,70 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 3414,92 \cdot \tan 20 = 1242,93 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{\text{piñón}_1} = -37,7 \text{ Nm}$$

Las fuerzas que actúan sobre el engranaje para el sentido antihorario son:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{103,57}{\frac{0,06066}{2}} = 3414,92 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 3414,92 \cdot \tan 21,17 = 1322,70 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 3414,92 \cdot \tan 20 = -1242,93 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{\text{piñón}_1} = 37,7 \text{ Nm}$$

**4.3.2.- Eje intermedio**

El par torsor que aparece entre la sección E y F que es igual a:

$$T = 580 \text{ Nm}$$

Las fuerzas que aparecen en el eje intermedio son las que introducen los engranajes. En la sección E, aparecen las fuerzas provocadas por la rueda de la primera etapa, y en la sección F, las introducidas por el piñón de la segunda etapa.

Para el caso del sentido horario:

Las fuerzas que actúan sobre la sección E se determinan como:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{580}{\frac{0,33841}{2}} = 3427,81 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 3427,81 \cdot \tan 21,17 = -1327,69 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 3427,81 \cdot \tan 20 = -1247,62 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{\text{piñón}_1} = -211,10 \text{ Nm}$$

Las fuerzas que actúan sobre la sección F se determinan como:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{580}{\frac{0,08939}{2}} = 12976,71 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 12976,71 \cdot \tan 21,17 = 5026,26 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 12976,71 \cdot \tan 20 = 4723,14 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$-M = F_a \cdot r_{\text{piñón}_1} = -211,10 \text{ Nm}$$

Para el caso del sentido antihorario:

Las fuerzas que actúan sobre la sección E se determinan como:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{580}{\frac{0,33841}{2}} = -3427,81 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 3427,81 \cdot \tan 21,17 = -1327,69 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 3427,81 \cdot \tan 20 = 1247,62 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{piñón_1} = 211,10 \text{ Nm}$$

Las fuerzas que actúan sobre la sección F se determinan como:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{580}{\frac{0,08939}{2}} = -12976,71 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 12976,71 \cdot \tan 21,17 = 5026,26 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 12976,71 \cdot \tan 20 = -4723,14 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{piñón_1} = 211,10 \text{ Nm}$$

#### 4.3.3.- Eje de salida

En el eje hay que considerar el par torsor que aparece entre la sección F y H que es igual a:

$$T = 1400 \text{ Nm}$$

Por otra parte, hay que considerar diversas fuerzas, las originadas por la máquina arrastrada en la sección H, las que aparecen en el engranaje en la sección F, y además, las reacciones que aparecen en los rodamientos en las secciones A y B.

Las fuerzas que introduce la máquina arrastrada no son conocidas pero se pueden aproximar con la siguiente expresión:

$$F_r = \frac{T_e}{2 \cdot d_e} = \frac{1400}{2 \cdot 0,08} = \pm 17059 \text{ N}$$

Las fuerzas que actúan sobre el engranaje para el sentido horario son:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{1400}{\frac{0,4427}{2}} = -13101,48 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 13101,48 \cdot \tan 21,17 = -5074,58 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 13101,48 \cdot \tan 20 = -4768,55 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{piñón_1} = -1055,51 \text{ Nm}$$

Las fuerzas que actúan sobre el engranaje para el sentido antihorario son:

$$F_t = \frac{T_e}{\frac{d_1}{2}} = \frac{1400}{\frac{0,4427}{2}} = 13101,48 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_t = 13101,48 \cdot \tan 21,17 = -5074,58 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 13101,48 \cdot \tan 20 = 4768,55 \text{ N}$$

Y el momento producido por la fuerza axial es:

$$M = F_a \cdot r_{\text{piñón}_1} = 1055,51 \text{ Nm}$$

#### 4.4.- CÁLCULO A DEFLEXIÓN TORSIONAL

La deflexión lateral de los ejes se debe limitar y comprobar que su valor este dentro de sus límites. Las condiciones que se deben comprobar son:

- En ejes con engranajes cilíndricos de dientes helicoidales es conveniente una separación menor de  $0,05 \cdot m_n$ .
- Para los engranajes cilíndricos la pendiente ha de ser menor de 0,0005 rad.
- Para los rodamientos rígidos de bolas la pendiente ha de ser menor de 0,002 rad.
- Para los rodamientos de rodillos cilíndricos la pendiente ha de ser menor de 0,001 rad.
- Para los rodamientos de rodillos cónicos la pendiente ha de ser menor de 0,0008 rad.

Los cálculos para comprobar la deflexión lateral se realizarán con la ayuda de una hoja de cálculo.

##### 4.4.1.- Eje de entrada

En el eje de entrada tenemos cuatro casos distintos. Se estudiará para cada sentido de rotación dos casos, uno para cada dirección de la fuerza introducida por la máquina motriz. En cada uno de los casos se realizarán dos análisis, uno para cada plano, que se combinarán para obtener los esfuerzos totales que soporta el eje.

Para el sentido horario y la fuerza del motor en sentido positivo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		1850,60						
Reacc en B(N)		1564,32						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	1,054E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	7,707E-06
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	1,362E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	1,237E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	-3414,92	0,00	-65,07	-65,07	-9,42E-06	-2,065E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	-13,45	-13,45	7,43E-05	-6,909E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	-7,97	-7,97	7,58E-05	-4,280E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	8,81E-05	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	8,81E-05	1,330E-06

Plano XZ								
Reacc en A(N)		-3487,09						
Reacc en B(N)		684,80						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,07E-04	6,411E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	1479,59	0,00	0,00	0,00	-6,07E-04	4,348E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	-112,60	-112,60	-3,30E-04	4,345E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	-114,82	-114,82	-3,19E-04	3,859E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	-136,77	-136,77	-1,98E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	1322,70	-37,70	-66,18	-28,49	3,27E-05	-2,435E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	-5,89	-5,89	6,94E-05	-6,190E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	-3,49	-3,49	7,00E-05	-3,750E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	7,54E-05	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	7,54E-05	1,138E-06

Total						
Reacc en A(N)		3947,73				
Reacc en B(N)		1707,64				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	6,12E-04	6,497E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	6,12E-04	4,416E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	112,60	112,60	3,40E-04	4,553E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	114,82	114,82	3,29E-04	4,052E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	136,77	136,77	2,15E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	92,81	71,03	3,40E-05	3,193E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	14,68	14,68	1,02E-04	9,276E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	8,70	8,70	1,03E-04	5,690E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	1,16E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	1,16E-04	1,751E-06

Para el sentido horario y la fuerza del motor en sentido negativo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		1850,60						
Reacc en B(N)		1564,32						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	1,054E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	7,707E-06
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	1,362E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	1,237E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34E-05	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	-3414,92	0,00	-65,07	-65,07	-9,42E-06	-2,065E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	-13,45	-13,45	7,43E-05	-6,909E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	-7,97	-7,97	7,58E-05	-4,280E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	8,81E-05	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	8,81E-05	1,330E-06

Plano XZ								
Reacc en A(N)		3035,72						
Reacc en B(N)		-2878,83						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	6,64E-04	-7,137E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	-1479,59	0,00	0,00	0,00	6,64E-04	-4,879E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	112,60	112,60	3,87E-04	-5,283E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	114,82	114,82	3,76E-04	-4,711E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	136,77	136,77	2,55E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	1322,70	-37,70	82,05	119,75	6,68E-06	4,243E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	24,75	24,75	-1,47E-04	1,363E-06
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	14,67	14,67	-1,50E-04	8,419E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,73E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,73E-04	-2,609E-06

Total						
Reacc en A(N)		3555,33				
Reacc en B(N)		3276,39				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	6,69E-04	7,214E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	6,69E-04	4,940E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	112,60	112,60	3,96E-04	5,456E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	114,82	114,82	3,85E-04	4,870E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	136,77	136,77	2,69E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	104,72	136,29	1,15E-05	4,719E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	28,17	28,17	1,65E-04	1,528E-06
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	16,70	16,70	1,68E-04	9,445E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	1,94E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	1,94E-04	2,928E-06

Para el sentido antihorario y la fuerza del motor en sentido positivo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		-1850,60						
Reacc en B(N)		-1564,32						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-1,054E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-7,707E-06
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-1,362E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-1,237E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	3414,92	0,00	65,07	65,07	9,42E-06	2,065E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	13,45	13,45	-7,43E-05	6,909E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	7,97	7,97	-7,58E-05	4,280E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,81E-05	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,81E-05	-1,330E-06

Plano XZ								
Reacc en A(N)		-4469,31						
Reacc en B(N)		1667,02						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,99E-04	6,320E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	1479,59	0,00	0,00	0,00	-5,99E-04	4,282E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	-112,60	-112,60	-3,22E-04	4,228E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	-114,82	-114,82	-3,11E-04	3,752E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	-136,77	-136,77	-1,91E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	1322,70	37,70	-31,65	-69,34	6,14E-07	-2,643E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	-14,33	-14,33	8,99E-05	-8,278E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	-8,50	-8,50	9,14E-05	-5,104E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05E-04	1,578E-06

Total						
Reacc en A(N)		4837,30				
Reacc en B(N)		2286,05				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	6,05E-04	6,407E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	6,05E-04	4,351E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	112,60	112,60	3,33E-04	4,442E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	114,82	114,82	3,22E-04	3,951E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	136,77	136,77	2,08E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	72,36	95,09	9,44E-06	3,354E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	19,65	19,65	1,17E-04	1,078E-06
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	11,65	11,65	1,19E-04	6,661E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	1,37E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	1,37E-04	2,064E-06

Para el sentido antihorario y la fuerza del motor en sentido negativo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		-1850,60						
Reacc en B(N)		-1564,32						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-1,054E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-7,707E-06
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-1,362E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	-1,237E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	8,34E-05	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	3414,92	0,00	65,07	65,07	9,42E-06	2,065E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	13,45	13,45	-7,43E-05	6,909E-07
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	7,97	7,97	-7,58E-05	4,280E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,81E-05	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,81E-05	-1,330E-06

Plano XZ								
Reacc en A(N)		2053,51						
Reacc en B(N)		-1896,62						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	6,71E-04	-7,227E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	-1479,59	0,00	0,00	0,00	6,71E-04	-4,945E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	0,00	0,00	112,60	112,60	3,94E-04	-5,400E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	0,00	0,00	114,82	114,82	3,83E-04	-4,817E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	0,00	0,00	136,77	136,77	2,63E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	1322,70	37,70	116,59	78,89	-2,54E-05	4,035E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	0,00	0,00	16,31	16,31	-1,27E-04	1,154E-06
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	0,00	0,00	9,67	9,67	-1,29E-04	7,066E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,44E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,44E-04	-2,169E-06

Total						
Reacc en A(N)		2764,35				
Reacc en B(N)		2458,50				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,03500	0,00	0,00	6,76E-04	7,304E-05
2 CHAVETERO	0,034	0,03500	0,00	0,00	6,76E-04	5,005E-05
3 RANURA	0,1101	0,03500	112,60	112,60	4,03E-04	5,569E-06
4 RANURA	0,1116	0,03500	114,82	114,82	3,92E-04	4,973E-06
5 ROD A	0,126438	0,03500	136,77	136,77	2,75E-04	0,000E+00
6 CHAVETERO	0,1616	0,03500	133,52	102,27	2,71E-05	4,533E-06
7 CAMBIO SECCIÓN	0,1946	0,04000	21,14	21,14	1,47E-04	1,345E-06
8 CAMBIO SECCIÓN	0,1981	0,02000	12,53	12,53	1,49E-04	8,261E-07
9 ROD B	0,203197	0,02000	0,00	0,00	1,68E-04	0,000E+00
10 FIN	0,2183	0,02000	0,00	0,00	1,68E-04	2,544E-06

Todos los casos cumplen con los requisitos establecidos.

**4.4.2.- Eje intermedio**

En el eje intermedio habrá que estudiar dos casos distintos, uno para cada sentido de rotación. En cada uno de los casos se realizarán dos análisis, uno para cada plano, que se combinarán para obtener los esfuerzos totales que soporta el eje.

Para el sentido horario:

Plano XY								
Reacc en A(N)		-6112,28						
Reacc en B(N)		-10292,24						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diámetro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09E-04	-8,130E-06
2 ROD A	0,026307	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,03775	0,06000	0,00	0,00	69,94	69,94	2,94E-04	3,478E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,04125	0,05500	0,00	0,00	91,34	91,34	2,92E-04	4,503E-06
5 CHAVETERO	0,08375	0,05500	3427,81	0,00	351,11	351,11	1,92E-04	1,520E-05
6 CHAVETERO	0,16275	0,05500	12976,71	0,00	563,18	563,18	-1,91E-04	1,642E-05
7 RANURA	0,20725	0,05500	0,00	0,00	105,18	105,18	-3,48E-04	3,622E-06
8 RANURA	0,20925	0,05500	0,00	0,00	84,59	84,59	-3,50E-04	2,923E-06
9 CAMBIO SECCIÓN	0,21125	0,04000	0,00	0,00	64,01	64,01	-3,52E-04	2,220E-06
10 ROD B	0,217469	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,60E-04	0,000E+00
11	0,24	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,60E-04	-8,101E-06

Plano XZ								
Reacc en A(N)		1698,62						
Reacc en B(N)		-5397,18						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diámetro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16E-05	-8,319E-07
2 ROD A	0,026307	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,03775	0,06000	0,00	0,00	-19,44	-19,44	3,58E-05	3,779E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,04125	0,05500	0,00	0,00	-25,38	-25,38	3,64E-05	5,044E-07
5 CHAVETERO	0,08375	0,05500	-1327,69	-211,10	-97,57	113,53	6,41E-05	2,526E-06
6 CHAVETERO	0,16275	0,05500	5026,26	-211,10	84,23	295,33	-1,87E-05	4,159E-06
7 RANURA	0,20725	0,05500	0,00	0,00	55,15	55,15	-1,01E-04	1,068E-06
8 RANURA	0,20925	0,05500	0,00	0,00	44,36	44,36	-1,02E-04	8,641E-07
9 CAMBIO SECCIÓN	0,21125	0,04000	0,00	0,00	33,57	33,57	-1,03E-04	6,584E-07
10 ROD B	0,217469	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,07E-04	0,000E+00
11 FIN	0,24	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,07E-04	-2,415E-06

Total						
Reacc en A(N)		6343,92				
Reacc en B(N)		11621,52				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diámetro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,04000	0,00	0,00	3,11E-04	8,172E-06
2 ROD A	0,026307	0,04000	0,00	0,00	3,11E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,03775	0,06000	72,59	72,59	2,96E-04	3,499E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,04125	0,05500	94,80	94,80	2,94E-04	4,532E-06
5 CHAVETERO	0,08375	0,05500	364,41	369,01	2,03E-04	1,541E-05
6 CHAVETERO	0,16275	0,05500	569,44	635,92	1,92E-04	1,694E-05
7 RANURA	0,20725	0,05500	118,76	118,76	3,63E-04	3,776E-06
8 RANURA	0,20925	0,05500	95,52	95,52	3,65E-04	3,048E-06
9 CAMBIO SECCIÓN	0,21125	0,04000	72,27	72,27	3,67E-04	2,316E-06
10 ROD B	0,217469	0,04000	0,00	0,00	3,75E-04	0,000E+00
11 FIN	0,24	0,04000	0,00	0,00	3,75E-04	8,454E-06

Para el sentido antihorario:

Plano XY								
Reacc en A(N)		6112,28						
Reacc en B(N)		10292,24						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,09E-04	8,130E-06
2 ROD A	0,026307	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,09E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,03775	0,06000	0,00	0,00	-69,94	-69,94	-2,94E-04	-3,478E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,04125	0,05500	0,00	0,00	-91,34	-91,34	-2,92E-04	-4,503E-06
5 CHAVETERO	0,08375	0,05500	-3427,81	0,00	-351,11	-351,11	-1,92E-04	-1,520E-05
6 CHAVETERO	0,16275	0,05500	-12976,71	0,00	-563,18	-563,18	1,91E-04	-1,642E-05
7 RANURA	0,20725	0,05500	0,00	0,00	-105,18	-105,18	3,48E-04	-3,622E-06
8 RANURA	0,20925	0,05500	0,00	0,00	-84,59	-84,59	3,50E-04	-2,923E-06
9 CAMBIO SECCIÓN	0,21125	0,04000	0,00	0,00	-64,01	-64,01	3,52E-04	-2,220E-06
10 ROD B	0,217469	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60E-04	0,000E+00
11 FIN	0,24	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60E-04	8,101E-06

Plano XZ								
Reacc en A(N)		-2718,64						
Reacc en B(N)		-979,93						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	7,94E-05	-2,088E-06
2 ROD A	0,026307	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	7,94E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,03775	0,06000	0,00	0,00	31,11	31,11	7,26E-05	8,826E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,04125	0,05500	0,00	0,00	40,62	40,62	7,17E-05	1,135E-06
5 CHAVETERO	0,08375	0,05500	-1327,69	211,10	156,17	-54,94	2,74E-05	3,425E-06
6 CHAVETERO	0,16275	0,05500	5026,26	211,10	264,72	53,62	-6,05E-05	3,879E-06
7 RANURA	0,20725	0,05500	0,00	0,00	10,01	10,01	-7,55E-05	7,773E-07
8 RANURA	0,20925	0,05500	0,00	0,00	8,05	8,05	-7,57E-05	6,261E-07
9 CAMBIO SECCIÓN	0,21125	0,04000	0,00	0,00	6,09	6,09	-7,58E-05	4,746E-07
10 ROD B	0,217469	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,66E-05	0,000E+00
11 FIN	0,24	0,04000	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,66E-05	-1,725E-06

Total						
Reacc en A(N)		6689,61				
Reacc en B(N)		10338,78				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,04000	0,00	0,00	3,19E-04	8,394E-06
2 ROD A	0,026307	0,04000	0,00	0,00	3,19E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,03775	0,06000	76,55	76,55	3,03E-04	3,589E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,04125	0,05500	99,96	99,96	3,00E-04	4,644E-06
5 CHAVETERO	0,08375	0,05500	384,27	355,38	1,94E-04	1,558E-05
6 CHAVETERO	0,16275	0,05500	622,30	565,73	2,00E-04	1,687E-05
7 RANURA	0,20725	0,05500	105,65	105,65	3,57E-04	3,704E-06
8 RANURA	0,20925	0,05500	84,97	84,97	3,59E-04	2,989E-06
9 CAMBIO SECCIÓN	0,21125	0,04000	64,30	64,30	3,60E-04	2,271E-06
10 ROD B	0,217469	0,04000	0,00	0,00	3,68E-04	0,000E+00
11 FIN	0,24	0,04000	0,00	0,00	3,68E-04	8,283E-06

Se comprueba que las deformaciones y deflexión del eje no son excesivas.

**4.4.3.- Eje de salida**

En el eje de entrada tenemos cuatro casos distintos. Se estudiará para cada sentido de rotación dos casos, uno para cada dirección de la fuerza introducida por la máquina arrastrada. En cada uno de los casos se realizarán dos análisis, uno para cada plano, que se combinarán para obtener los esfuerzos totales que soporta el eje.

Para el sentido horario y la fuerza del máquina arrastrada en sentido positivo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		3928,87						
Reacc en B(N)		9172,61						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,99E-05	1,878E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,99E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	-41,17	-41,17	-3,91E-05	-4,155E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	-253,33	-253,33	-2,28E-05	-2,191E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	-276,91	-276,91	-2,28E-05	-2,328E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	-13101,48	0,00	-524,43	-524,43	2,41E-05	-2,440E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	2,641E-06
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	2,797E-06
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	7,629E-06
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	1,101E-05

Plano XY								
Reacc en A(N)		20195,53						
Reacc en B(N)		-32179,77						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,07E-04	9,750E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,07E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	-211,65	-211,65	-2,03E-04	-2,158E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	-1302,21	-1302,21	-1,19E-04	-1,140E-05
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	-1423,38	-1423,38	-1,19E-04	-1,212E-05
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	-5074,58	-1055,51	-2695,70	-1640,19	1,22E-04	-1,282E-05
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	-2504,70	-2504,70	3,42E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	-1637,65	-1637,65	5,38E-04	2,270E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	-1586,47	-1586,47	5,47E-04	2,433E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	17058,82	0,00	0,00	0,00	6,84E-04	8,366E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	6,84E-04	1,281E-04

Total						
Reacc en A(N)		20574,15				
Reacc en B(N)		33461,54				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	2,11E-04	9,930E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	2,11E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08000	215,62	215,62	2,07E-04	2,197E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,09000	1326,62	1326,62	1,21E-04	1,161E-05
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	1450,07	1450,07	1,21E-04	1,234E-05
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	2746,24	1721,99	1,24E-04	1,305E-05
7 ROD B	0,237673	0,08500	2504,70	2504,70	3,46E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	1637,65	1637,65	5,40E-04	2,285E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	1586,47	1586,47	5,49E-04	2,449E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	6,86E-04	8,401E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	6,86E-04	1,286E-04

Para el sentido horario y la fuerza del máquina arrastrada en sentido negativo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		3928,87						
Reacc en B(N)		9172,61						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,99E-05	1,878E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,99E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	-41,17	-41,17	-3,91E-05	-4,155E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	-253,33	-253,33	-2,28E-05	-2,191E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	-276,91	-276,91	-2,28E-05	-2,328E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	-13101,48	0,00	-524,43	-524,43	2,41E-05	-2,440E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	2,641E-06
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	2,797E-06
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	7,629E-06
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20E-05	1,101E-05

Plano XY								
Reacc en A(N)		-6079,38						
Reacc en B(N)		28212,79						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	8,63E-05	-4,058E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	8,63E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	63,71	63,71	8,50E-05	8,998E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	392,00	392,00	5,98E-05	4,971E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	428,48	428,48	5,98E-05	5,330E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	-5074,58	-1055,51	811,48	1866,99	-1,28E-05	7,047E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	2504,70	2504,70	-2,45E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	1637,65	1637,65	-4,41E-04	-1,777E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	1586,47	1586,47	-4,50E-04	-1,911E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	-17058,82	0,00	0,00	0,00	-5,87E-04	-6,943E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,87E-04	-1,076E-04

Total						
Reacc en A(N)		7238,44				
Reacc en B(N)		29666,45				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	9,51E-05	4,471E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	9,51E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08000	75,86	75,86	9,35E-05	9,911E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,09000	466,73	466,73	6,40E-05	5,433E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	510,16	510,16	6,40E-05	5,817E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	966,19	1939,25	2,73E-05	7,457E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	2504,70	2504,70	2,50E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	1637,65	1637,65	4,44E-04	1,797E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	1586,47	1586,47	4,53E-04	1,931E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	5,89E-04	6,984E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	5,89E-04	1,081E-04

Para el sentido antihorario y la fuerza del máquina arrastrada en sentido positivo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		-3928,87						
Reacc en B(N)		-9172,61						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,99E-05	-1,878E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,99E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	41,17	41,17	3,91E-05	4,155E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	253,33	253,33	2,28E-05	2,191E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	276,91	276,91	2,28E-05	2,28E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	13101,48	0,00	524,43	524,43	-2,41E-05	2,440E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-2,641E-06
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-2,797E-06
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-7,629E-06
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-1,101E-05

Plano XY								
Reacc en A(N)		9122,92						
Reacc en B(N)		-21107,16						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,17E-04	5,513E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,17E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	-95,61	-95,61	-1,15E-04	-1,222E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	-588,25	-588,25	-7,75E-05	-6,669E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	-642,98	-642,98	-7,75E-05	-7,134E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	-5074,58	1055,51	-1217,73	-2273,24	3,14E-05	-8,937E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	-2504,70	-2504,70	2,85E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	-1637,65	-1637,65	4,81E-04	1,982E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	-1586,47	-1586,47	4,90E-04	2,127E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	17058,82	0,00	0,00	0,00	6,27E-04	7,534E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	6,27E-04	1,161E-04

Total						
Reacc en A(N)		9932,96				
Reacc en B(N)		23014,10				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	1,24E-04	5,824E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	1,24E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08000	104,10	104,10	1,22E-04	1,290E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,09000	640,48	640,48	8,08E-05	7,020E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	700,07	700,07	8,08E-05	7,504E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	1325,85	2332,95	3,96E-05	9,264E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	2504,70	2504,70	2,90E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	1637,65	1637,65	4,84E-04	1,999E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	1586,47	1586,47	4,93E-04	2,146E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	6,29E-04	7,572E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	6,29E-04	1,166E-04

Para el sentido antihorario y la fuerza del máquina arrastrada en sentido negativo la deflexión lateral es:

Plano XY								
Reacc en A(N)		-3928,87						
Reacc en B(N)		-9172,61						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,99E-05	-1,878E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	3,99E-05	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	41,17	41,17	3,91E-05	4,155E-07
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	253,33	253,33	2,28E-05	2,191E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	276,91	276,91	2,28E-05	2,328E-06
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	13101,48	0,00	524,43	524,43	-2,41E-05	2,440E-06
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-2,641E-06
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-2,797E-06
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-7,629E-06
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20E-05	-1,101E-05

Plano XY								
Reacc en A(N)		-17152,00						
Reacc en B(N)		39285,41						
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Fuerza en Sección (N)	Momento en Sección (N-m)	Diagrama de momentos		Deformación	
					anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76E-04	-8,296E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08300	0,00	0,00	179,75	179,75	1,73E-04	1,836E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,90000	0,00	0,00	1105,96	1105,96	1,02E-04	9,702E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	0,00	0,00	1208,87	1208,87	1,02E-04	1,031E-05
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	-5074,58	1055,51	2289,45	1233,94	-1,03E-04	1,093E-05
7 ROD B	0,237673	0,08500	0,00	0,00	2504,70	2504,70	-3,02E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	0,00	0,00	1637,65	1637,65	-4,97E-04	-2,065E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	0,00	0,00	1586,47	1586,47	-5,06E-04	-2,216E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	-17058,82	0,00	0,00	0,00	-6,43E-04	-7,775E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,43E-04	-1,196E-04

Total						
Reacc en A(N)		17596,23				
Reacc en B(N)		40342,04				
Sección (i)	Cotas de Secciones (m)	Diametro entre i e i+1 (m)	Diagrama de momentos		Deformación	
			anterior (N-m)	posterior (N-m)	angular (rad)	Deflexión (m)
1 INICIO	0	0,07000	0,00	0,00	1,81E-04	8,506E-06
2 ROD A	0,04702	0,07000	0,00	0,00	1,81E-04	0,000E+00
3 CAMBIO SECCIÓN	0,0575	0,08000	184,41	184,41	1,77E-04	1,882E-06
4 CAMBIO SECCIÓN	0,1115	0,09000	1134,60	1134,60	1,04E-04	9,946E-06
5 CAMBIO SECCIÓN	0,1175	0,08500	1240,18	1240,18	1,04E-04	1,057E-05
6 CHAVETERO	0,1805	0,08500	2348,74	1340,75	1,06E-04	1,120E-05
7 ROD B	0,237673	0,08500	2504,70	2504,70	3,06E-04	0,000E+00
8 RANURA	0,2885	0,08500	1637,65	1637,65	5,00E-04	2,082E-05
9 RANURA	0,2915	0,08500	1586,47	1586,47	5,09E-04	2,234E-05
10 CHAVETERO	0,3845	0,08500	0,00	0,00	6,46E-04	7,813E-05
11 FIN	0,4495	0,08500	0,00	0,00	6,46E-04	1,201E-04

Todos los casos cumplen con los requisitos establecidos.

#### 4.5.- FATIGA

El cálculo a fatiga se va a realizar en todas las secciones críticas del eje. Teniendo en cuenta, que en aquellas zonas donde actúa el par torsor se tomará el diámetro del cálculo a rigidez torsional y se comprobará que el coeficiente de seguridad a fatiga es superior al especificado. En cambio, en las zonas donde no existe par torsor, se tendrá que determinar el diámetro mínimo por fatiga.

Para el cálculo de los diámetros se tendrá en cuenta que:

- Su diseño será a vida infinita. Siendo para el acero igual o mayor a  $10^6$  ciclos.
- Se empleará el criterio de Soderberg para la consideración de las tensiones medias.
- Se empleará el criterio de Máxima Tensión Tangencial para el estudio del problema estático equivalente.

Por tanto, sabiendo que en el eje no aparecen esfuerzos axiales, para el cálculo del diámetro en cada una de las secciones de los ejes se va a emplear la siguiente expresión:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot X}{\pi \cdot S_y} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} M_a\right)^2 + \left(T_m + \frac{S_{sy}}{S_{se}} T_a\right)^2}}$$

Ec. 32

Teniendo en cuenta además que en los ejes únicamente aparecen momentos flectores que producen tensiones alternantes debido al giro del eje y momentos torsores medios, la expresión Ec. 32 se puede simplificar, quedando de la siguiente manera:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot X}{\pi \cdot S_y} \sqrt{\left(\frac{S_y}{S_e} M_a\right)^2 + T_m^2}}$$

Ec. 33

Como el límite de fatiga en cada sección ( $S_e$ ) será función de la geometría del eje se empleará un proceso iterativo para resolver la expresión anterior.

En las secciones donde no actúa el par torsor la expresión anterior se puede reducir más todavía, quedando así:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot X \cdot M_a}{\pi \cdot S_e}}$$

Ec. 34

En cambio, en las secciones donde actúa el par torsor el diámetro esta previamente definido por la rigidez torsional. Por tanto, se deberá calcular el coeficiente de seguridad y comprobar que es superior al especificado. La expresión queda de la siguiente manera:

$$X = \frac{\pi \cdot S_y \cdot d^3}{32 \cdot \sqrt{\left(\frac{S_y}{S_e} M_a\right)^2 + T_m^2}}$$

Ec. 35

El siguiente paso será determinar los valores de  $M_a$  y  $T_m$  en cada una de las secciones de los ejes, así como el valor de  $S_e$ . El valor de  $S_e$  se puede obtener con la siguiente expresión:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot \frac{1}{K_f} \cdot S'_e$$

Ec. 36

A continuación se muestra como calcular cada coeficiente:

- $K_a$ : Factor de superficie. Para su cálculo se empleara la siguiente expresión:

$$K_a = a \cdot S_u^b$$

Ec. 37

Donde  $S_u$  es el límite de rotura a tracción mínimo esperado del material y los valores de a y b dependen del tipo de acabado superficial y se extraen del ANEXO 8. En nuestro caso, al ser el eje mecanizado la expresión quedara así:

$$K_a = 4,51 \cdot 0,950^{-0,265} = 0,733$$

Ec. 38

- $K_b$ : Factor de tamaño. El factor de tamaño para el cálculo de ejes se puede calcular con la siguiente expresión:

$$K_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$K_b = 0,859 - 0,000837 \cdot d \quad 51 \leq d \leq 254 \text{ mm}$$

Ec. 39

- $K_c$ : Factor de tipo de carga. Como la carga actuante en el eje es a flexión,  $K_c = 1$ .
- $K_d$ : Factor de temperatura. Puesto que hemos estimado que la temperatura de trabajo del eje en el interior del reductor es 50 °C. de la siguiente tabla obtenemos que  $K_d = 1,01$ .

- $K_e$ : Factor de confiabilidad. Su valor depende del nivel de confianza, en nuestro caso tenemos una confiabilidad del 95%. Como podemos observar en el ANEXO 9, su valor es:

$$K_e = 0,868$$

- $K_f$ : Factor del límite de fatiga por entalla. Este factor se puede determinar con la siguiente expresión:

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1)$$

Ec. 40

Donde el factor de sensibilidad a la entalla ( $q$ ) se puede calcular con la siguiente expresión:

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\rho}}$$

Ec. 41

En la siguiente expresión tenemos dos incógnitas:

- $\alpha$ : Constante del material. Se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\alpha = 0,025 \cdot \left( \frac{2070 \text{ Mpa}}{S_u} \right) \text{ mm} \quad \text{aceros con } S_u \geq 550 \text{ MPa}$$

Ec. 42

En nuestro caso  $\alpha = 0,0545$

- $\rho$ : Radio de acuerdo en el cambio de sección.

Debido a la utilización de chavetas se introduce un concentrador de tensiones en estas secciones. En la siguiente tabla se muestran los valores de  $K_f$  a utilizar en los cálculos a fátiga.

Acero	Chaveta	Tipo patín (bañera)		Tipo perfilado	
		Flexión	Torsión	Flexión	Torsión
	Recocido (< 200 BHN)	1.3	1.3	1.6	1.3
	Templado (> 200 BHN)	1.6	1.6	2.0	1.6

Considerando la utilización de chavetas de tipo perfilado y con un material con dureza superior a 200, el valor de  $K_f$  será igual a 2.

- $S'_e$ : Límite de fatiga del material. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$S'_e = 0,5 \cdot S_u$$

Ec. 43

Siendo en nuestro caso,  $S'_e = 475 \text{ MPa}$

**4.5.1.- Eje de entrada**

Se van a estudiar las secciones C, D, E, F, G.

- Sección C

Vamos a estudiar la sección del punto medio del chavetero, por tanto,  $K_f$  será igual a 2. Esta sección está sometida al par torsor. A continuación, vamos a comprobar que el diámetro necesario para que el eje no falle a fatiga sea inferior al previamente calculado por rigidez torsional.

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
0	103,57	35,00	2	129,64	0,85	16,76
0	103,57	16,76	2	140,27	0,92	16,76

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es de 16,76 mm inferior a 35 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección D

Esta sección corresponde a una entalla en el eje para un anillo de seguridad, por tanto  $K_f$  será 2,2. Esta sección está sometida a momento torsor y flector. Se comprobará que el diámetro sea superior a 35 mm.

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
114,82	103,57	35,00	2,2	117,85	0,85	29,34
114,82	103,57	29,34	2,2	120,10	0,87	29,16
114,82	103,57	29,16	2,2	120,18	0,87	29,15
114,82	103,57	29,15	2,2	120,18	0,87	29,15

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 35 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección E

La sección E pertenece al punto medio del chavetero del piñón. Por ser un chavetero, el valor de  $K_f$  será igual a 2. Esta sección soporta el mayor momento flector combinado con el momento torsor. Se comprobará que el diámetro a fatiga sea inferior a 35 mm :

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
136,29	103,57	35,00	2	129,64	0,85	30,07
136,29	103,57	30,07	2	131,76	0,86	29,91
136,29	103,57	29,91	2	131,84	0,86	29,90
136,29	103,57	29,90	2	131,84	0,86	29,90

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 35 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección F

En esta sección aparece un cambio de diámetro para restringir el desplazamiento axial del engranaje, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	40
r (mm)	1,5
q	0,965
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
28,17	0,00	35,00	0,043	1,143	2,15	2,11	122,90	0,85	18,00
28,17	0,00	18,00	0,083	2,222	1,85	1,82	152,95	0,91	16,74
28,17	0,00	16,74	0,090	2,390	1,85	1,82	154,14	0,92	16,70
28,17	0,00	16,70	0,090	2,396	1,85	1,82	154,19	0,92	16,69
28,17	0,00	16,69	0,090	2,396	1,85	1,82	154,19	0,92	16,69

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 35 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección G

En esta sección aparece un cambio de sección, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	40
r (mm)	1,5
q	0,965
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
16,70	0,00	20,00	0,075	2,000	1,90	1,87	147,33	0,90	14,24
16,70	0,00	14,24	0,105	2,809	1,95	1,92	148,94	0,94	14,19
16,70	0,00	14,19	0,106	2,820	1,95	1,92	149,00	0,94	14,18
16,70	0,00	14,18	0,106	2,820	1,95	1,92	149,00	0,94	14,18

El diámetro mínimo es 14,18 mm. Vamos a seleccionar un diámetro de 20 mm para encontrar rodamientos normalizados.

#### 4.5.2.- Eje intermedio

Se van a estudiar las secciones C, D, E, F, G, H.

- Sección C

En esta sección aparece un cambio de sección, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	60
r (mm)	1,5
q	0,965
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
76,55	0,00	40,00	0,038	1,500	2,30	2,25	113,38	0,84	25,81
76,55	0,00	25,81	0,058	2,325	2,05	2,01	133,06	0,88	24,47
76,55	0,00	24,47	0,061	2,452	2,05	2,01	133,82	0,88	24,42
76,55	0,00	24,42	0,061	2,457	2,05	2,01	133,85	0,88	24,42

El diámetro mínimo es 24,42 mm. Vamos a seleccionar un diámetro de 40 mm para encontrar rodamientos normalizados.

- Sección D

En esta sección aparece un cambio de diámetro para restringir el desplazamiento axial del engranaje, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	60
r (mm)	1,5
q	0,965
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
99,96	0,00	55,00	0,027	1,091	2,20	2,16	114,99	0,81	28,08
99,96	0,00	28,08	0,053	2,137	1,95	1,92	138,50	0,87	26,39
99,96	0,00	26,39	0,057	2,274	1,95	1,92	139,42	0,88	26,33
99,96	0,00	26,33	0,057	2,279	1,95	1,92	139,46	0,88	26,33

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 55 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección E

La sección E pertenece al punto medio del chavetero de la rueda. Por ser un chavetero, el valor de  $K_f$  será igual a 2. Esta sección soporta el momento flector combinado con el momento torsor. Se comprobará que el diámetro a fatiga sea inferior a 55 mm :

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
384,27	580,00	55,00	2	124,07	0,81	43,65
384,27	580,00	43,65	2	126,61	0,83	43,39
384,27	580,00	43,39	2	126,69	0,83	43,38
384,27	580,00	43,38	2	126,70	0,83	43,38

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es de 43,38 mm inferior a 55 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección F

La sección F pertenece al punto medio del chavetero del piñón. Por ser un chavetero, el valor de  $K_f$  será igual a 2. Esta sección soporta el mayor momento flector combinado con el momento torsor. Se comprobará que el diámetro a fatiga sea inferior a 55 mm :

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
635,92	580,00	55,00	2	124,07	0,81	51,07
635,92	580,00	51,07	2	124,57	0,82	51,00
635,92	580,00	51,00	2	124,52	0,82	51,00

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es de 51 mm inferior a 55 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección G

Esta sección corresponde a una entalla en el eje para una arandela elástica, por tanto  $K_f$  será 2,2. Esta sección está sometida a momento torsor y flector. Se comprobará que el diámetro sea superior a 55 mm.

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
118,76	0,00	55,00	2,2	112,79	0,81	29,93
118,76	0,00	29,93	2,2	119,84	0,86	29,33
118,76	0,00	29,33	2,2	120,10	0,87	29,31
118,76	0,00	29,31	2,2	120,11	0,87	29,31

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 55 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección H

En esta sección aparece un cambio de sección, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	55
r (mm)	2
q	0,973
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
72,27	0,00	40,00	0,050	1,375	2,00	1,97	129,52	0,84	24,22
72,27	0,00	24,22	0,083	2,271	1,80	1,78	151,62	0,88	22,98
72,27	0,00	22,98	0,087	2,393	1,80	1,78	152,47	0,89	22,94
72,27	0,00	22,94	0,087	2,398	1,80	1,78	152,50	0,89	22,94

El diámetro mínimo es 22,94 mm. Vamos a seleccionar un diámetro de 40 mm para encontrar rodamientos normalizados.

### 4.5.3.- Eje salida

Se van a estudiar las secciones C, D, E, F, G, H.

- Sección C

En esta sección aparece un cambio de sección, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_v$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	83
r (mm)	3
q	0,982
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
215,62	0,00	70,00	0,043	1,186	2,05	2,03	120,27	0,80	35,74
215,62	0,00	35,74	0,084	2,322	1,80	1,79	144,87	0,85	33,59
215,62	0,00	33,59	0,089	2,471	1,80	1,79	145,84	0,85	33,52
215,62	0,00	33,52	0,090	2,476	1,80	1,79	145,87	0,85	33,51
215,62	0,00	33,51	0,090	2,477	1,80	1,79	145,87	0,85	33,51

El diámetro mínimo es 33,51 mm. Vamos a seleccionar un diámetro de 70 mm para encontrar rodamientos normalizados.

- Sección D

En esta sección aparece un cambio de sección, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_v$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	90
r (mm)	1,5
q	0,965
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
1326,62	0,00	83,00	0,018	1,084	2,60	2,54	94,73	0,79	70,91
1326,62	0,00	70,91	0,021	1,269	2,60	2,54	95,94	0,80	70,61
1326,62	0,00	70,61	0,021	1,275	2,60	2,54	95,97	0,80	70,61

El diámetro mínimo es 70,61 mm. Vamos a seleccionar un diámetro de 83 mm para encontrar rodamientos normalizados.

- Sección E

En esta sección aparece un cambio de diámetro para restringir el desplazamiento axial del engranaje, por tanto, el valor de  $K_f$  se obtendrá del ANEXO 10. En esta sección únicamente aparece momento flector:

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_v$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

D (mm)	90
r (mm)	1,5
q	0,965
$\alpha$	0,0545

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	$d^*$ (mm)	$r/d^*$	$D/d^*$	$K_t$	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
1450,07	0,00	85,00	0,018	1,059	2,40	2,35	102,29	0,79	71,20
1450,07	0,00	71,20	0,021	1,264	2,50	2,45	99,69	0,80	71,82
1450,07	0,00	71,82	0,021	1,253	2,50	2,45	99,63	0,80	71,83
1450,07	0,00	71,83	0,021	1,253	2,50	2,45	99,63	0,80	71,83

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 85 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección F

La sección F pertenece al punto medio del chavetero de la rueda. Por ser un chavetero, el valor de  $K_f$  será igual a 2. Esta sección soporta el momento flector combinado con el momento torsor. Se comprobará que el diámetro a fatiga sea inferior a 85 mm :

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
2746,24	2900,00	85,00	2	120,23	0,79	84,17
2746,24	2900,00	84,17	2	120,34	0,79	84,15
2746,24	2900,00	84,15	2	120,34	0,79	84,15

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es de 84,15 mm inferior a 85 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección G

Esta sección corresponde a una entalla en el eje para una arandela elástica, por tanto  $K_f$  será 2,2. Esta sección está sometida a momento torsor y flector. Se comprobará que el diámetro sea superior a 80 mm.

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
1637,65	2900,00	85,00	2,2	109,30	0,79	73,91
1637,65	2900,00	73,91	2,2	110,59	0,80	73,65
1637,65	2900,00	73,65	2,2	110,62	0,80	73,64
1637,65	2900,00	73,64	2,2	110,62	0,80	73,64

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es inferior a 85 mm, por tanto esta sección no fallará.

- Sección H

Vamos a estudiar la sección del punto medio del chavetero, por tanto,  $K_f$  será igual a 2. Esta sección está sometida al par torsor. A continuación, vamos a comprobar que el diámetro necesario para que el eje no falle a fatiga sea inferior al previamente calculado por rigidez torsional.

Material	42CrMo4
$S_u$ (Mpa)	950
$S_e'$ (Mpa)	475
$S_y$ (Mpa)	560
X	2,5

$K_a$	0,733
$k_c$	1,00
$k_d$	1,01
$k_e$	0,868

Flector (Nm)	Torsor (Nm)	d (mm)	$K_f$	$S_e$	$K_b$	$d_{i+1}$ (mm)
0,00	2900,00	85,00	2	120,23	0,79	50,90
0,00	2900,00	50,90	2	124,55	0,82	50,90

El diámetro mínimo para que no rompa a fatiga es de 50,90 mm inferior a 85 mm, por tanto esta sección no fallará.

## 5.- DIMENSIONADO DE LOS RODAMIENTOS

Para las características del uso de nuestro reductor, la vida de los rodamientos se estimará para que sea superior a 45000 h.

Los rodamientos utilizados se han seleccionado del catálogo del fabricante SKF.

### 5.1.- CÁLCULO DE LA FUERZA EQUIVALENTE

El cálculo de la fuerza equivalente depende del tipo de rodamiento que se elija. En nuestro caso, los rodamientos seleccionados son rodamientos de rodillos cónicos. Este tipo de rodamientos permite transmitir carga axial, y en nuestro caso, al tratarse de engranajes de dientes helicoidales, es necesario tener en cuenta la fuerza axial.

La expresión que utilizaremos para el cálculo de la fuerza equivalente es:

$$\text{Si } \frac{F_a}{F_r} < e \Rightarrow F_{eq} = F_r$$

$$\text{Si } \frac{F_a}{F_r} > e \Rightarrow F_{eq} = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Ec. 44

Los valores de e y de Y son valores que se encuentran en el catálogo del fabricante.

En los rodillos cónicos la aplicación de una carga radial genera un empuje axial que se debe tener en cuenta cuando van montados por parejas, como en nuestro caso. La expresión que define este empuje axial es:

$$0,5 \cdot \frac{F_r}{Y}$$

Ec. 45

El empuje que se provoca en los rodamientos, plantea dos casos distintos. Siendo la dirección de la fuerza axial exterior,  $F_h$ , hacia el rodamiento A:

- Si  $0,5 \cdot \frac{F_{rA}}{Y_A} \leq F_h + 0,5 \cdot \frac{F_{rB}}{Y_B}$ 
  - $F_{a,A} = F_h + 0,5 \cdot \frac{F_{rB}}{Y_B}$
  - $F_{a,B} = 0,5 \cdot \frac{F_{rB}}{Y_B}$
- Si  $0,5 \cdot \frac{F_{rA}}{Y_A} > F_h + 0,5 \cdot \frac{F_{rB}}{Y_B}$ 
  - $F_{a,A} = 0,5 \cdot \frac{F_{rA}}{Y_A}$

$$- F_{a,B} = -F_h + 0,5 \cdot \frac{F_{rA}}{Y_A}$$

Ec. 46

## 5.2.- CÁLCULO DE LA VIDA DEL RODAMIENTO

El cálculo de la vida de los rodamientos se realizará con la siguiente expresión:

$$L = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10}$$

Ec. 47

Donde:

- $L_{10}$ : Cálculo de la vida de un rodamiento con una probabilidad de fallo del 10%. A este valor se le aplican unos factores de corrección para reducir la probabilidad de fallo. Este valor se puede calcular con la siguiente expresión:

$$L_{10} = 10^6 \left( \frac{C}{F} \right)^q$$

Ec. 48

Donde:

- C: Capacidad de carga dinámica básica. Este valor es proporcionado por el fabricante.
- F: Fuerza equivalente.
- q: para nuestros rodamientos al ser de rodillos, tendrán contacto lineal, por tanto, su valor es igual a,  $q=10/3$ .
- $a_1$ : Factor de fiabilidad. El valor de este factor se puede extraer del ANEXO 11. Para nuestro caso su valor será igual a 0,25, puesto que vamos a exigir una fiabilidad de un 99%.
- $a_{ISO}$ : Factor por condiciones de trabajo. Este factor depende de la relación contaminación-carga y de la relación de viscosidades. Se puede extraer del ANEXO 12.

La relación contaminación-carga,  $\eta_c(P_u/F)$  depende de la fuerza equivalente, de valor  $P_u$  y del factor de contaminación  $\eta_c$  que en nuestro caso es igual a 0,5.

Para el cálculo de la relación de viscosidades,  $\kappa=v/v_1$ , primero hay que determinar la temperatura de trabajo, que en nuestro caso será 60°C. Una vez determinada la temperatura de trabajo, podemos extraer el valor de  $v$  del ANEXO 2. El valor de la viscosidad relativa  $v_1$  viene determinado por:

$$v_1 = \frac{45000}{\sqrt{d_m \cdot n^{1,667}}} \text{ para } n < 1000 \text{ rpm}$$

$$v_1 = \frac{4500}{\sqrt{d_m \cdot n}} \text{ para } n \geq 1000 \text{ rpm}$$

Ec. 49

### 5.3.- RESULTADOS

#### 5.3.1.- Eje de entrada

En el eje de entrada como ya se ha visto en el dimensionado de los ejes, hay que tener en cuenta cuatro posibles casos, uno para cada dirección de la fuerza transmitida por la máquina motriz en cada sentido de giro.

##### 5.3.1.1.- Rodamiento A

Las especificaciones del rodamiento A las podemos encontrar en el ANEXO 13

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina motriz en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	35
n (rpm)	1400
a <sub>1</sub>	0,25
η <sub>c</sub>	0,5
v <sub>60°C</sub> (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	31306
D (mm)	62
C (KN)	52,3
P <sub>u</sub> (KN)	5,85
e	0,46
Y	1,3

F <sub>h</sub> (N)	1242,93
F <sub>r</sub> (N)	3947,73
F <sub>a</sub> (N)	1669,84
F <sub>eq</sub> (N)	3947,73

d <sub>m</sub> (mm)	48,5
v <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> /s)	17,269
k	6,370
Contaminación - carga	0,741
a <sub>ISO</sub>	16
L <sub>10</sub> (rpm)	5501922605

L (h)	261996
-------	--------

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina motriz en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	35
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	31306
D (mm)	62
C (KN)	52,3
$P_u$ (KN)	5,85
e	0,46
Y	1,3

$F_h$ (N)	1242,93
$F_r$ (N)	3555,33
$F_a$ (N)	2062,03
$F_{eq}$ (N)	4102,77

$d_m$ (mm)	48,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	17,269
$\kappa$	6,370
Contaminación - carga	0,713
$a_{ISO}$	15
$L_{10}$ (rpm)	4838924790

L (h)	216023
-------	--------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina motriz en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	35
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	31306
D (mm)	62
C (KN)	52,3
$P_u$ (KN)	5,85
e	0,46
Y	1,3

$F_h$ (N)	1242,93
$F_r$ (N)	4837,30
$F_a$ (N)	1860,50
$F_{eq}$ (N)	4837,30

$d_m$ (mm)	48,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	17,269
$\kappa$	6,370
Contaminación - carga	0,605
$a_{ISO}$	8,5
$L_{10}$ (rpm)	2794660910

L (h)	70698
-------	-------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina motriz en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	35
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	31306
D (mm)	62
C (KN)	52,3
$P_u$ (KN)	5,85
e	0,46
Y	1,3

$F_h$ (N)	1242,93
$F_r$ (N)	2764,35
$F_a$ (N)	1857,56
$F_{eq}$ (N)	3520,56

$d_m$ (mm)	48,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	17,269
$\kappa$	6,370
Contaminación - carga	0,831
$a_{ISO}$	20
$L_{10}$ (rpm)	8059317675

L (h)	479721
-------	--------

Todos los casos cumplen la condición de funcionamiento de 45000 h.

**5.3.1.2.- Rodamiento B**

Las especificaciones del rodamiento B las podemos encontrar en el ANEXO 14

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina motriz en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	20
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	32205
D (mm)	52
C (KN)	41,9
$P_u$ (KN)	3,55
e	0,3
Y	2

$F_r$ (N)	1707,64
$F_a$ (N)	426,91
$F_{eq}$ (N)	1707,64

$d_m$ (mm)	36
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	20,045
$\kappa$	5,488
Contaminación - carga	1,039
$a_{ISO}$	37
$L_{10}$ (rpm)	42926168798

L (h)	4726989
-------	---------

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina motriz en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	20
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	32205
D (mm)	52
C (KN)	41,9
$P_u$ (KN)	3,55
e	0,3
Y	2

$F_r$ (N)	3276,39
$F_a$ (N)	819,10
$F_{eq}$ (N)	3276,39

$d_m$ (mm)	36
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	20,045
$\kappa$	5,488
Contaminación - carga	0,542
$a_{ISO}$	6,5
$L_{10}$ (rpm)	4890946886

L (h)	94617
-------	-------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina motriz en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	20
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	32205
D (mm)	52
C (KN)	41,9
$P_u$ (KN)	3,55
e	0,3
Y	2

$F_r$ (N)	2286,05
$F_a$ (N)	617,57
$F_{eq}$ (N)	2286,05

$d_m$ (mm)	36
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	20,045
k	5,488
Contaminación - carga	0,776
$a_{ISO}$	17
$L_{10}$ (rpm)	16233979587

L (h)	821362
-------	--------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina motriz en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	20
n (rpm)	1400
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	32205
D (mm)	52
C (KN)	41,9
$P_u$ (KN)	3,55
e	0,3
Y	2

$F_r$ (N)	2458,50
$F_a$ (N)	614,63
$F_{eq}$ (N)	2458,50

$d_m$ (mm)	36
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	20,045
k	5,488
Contaminación - carga	0,722
$a_{ISO}$	15
$L_{10}$ (rpm)	12739238128

L (h)	568716
-------	--------

Todos los casos cumplen la condición de funcionamiento de 45000 h.

### 5.3.2.- Eje intermedio

En los rodamientos del eje intermedio se estudiarán dos casos, uno para cada sentido de giro.

#### 5.3.2.1.- Rodamiento A

Las especificaciones del rodamiento A las podemos encontrar en el ANEXO 15.

Para el sentido horario:

d (mm)	40
n (rpm)	250
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^{\circ}\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	33208
D (mm)	80
C (KN)	128
$P_u$ (KN)	15
e	0,35
Y	1,7

$F_h$ (N)	3475,51
$F_r$ (N)	6343,92
$F_a$ (N)	6893,61
$F_{eq}$ (N)	14256,70

$d_m$ (mm)	60
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	58,271
k	1,888
Contaminación - carga	0,526
$a_{ISO}$	3
$L_{10}$ (rpm)	1504191221

L (h)	75210
-------	-------

Para el sentido antihorario:

d (mm)	40
n (rpm)	250
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	33208
D (mm)	80
C (KN)	128
$P_u$ (KN)	15
e	0,35
Y	1,7

$F_h$ (N)	3475,51
$F_r$ (N)	6689,61
$F_a$ (N)	6516,33
$F_{eq}$ (N)	13753,61

$d_m$ (mm)	60
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	58,271
$\kappa$	1,888
Contaminación - carga	0,545
$a_{ISO}$	3,3
$L_{10}$ (rpm)	1695550411

L (h)	93255
-------	-------

El rodamiento A cumple con la condición de funcionamiento de 45000 h.

### 5.3.2.2.- Rodamiento B

Las especificaciones del rodamiento A las podemos encontrar en el ANEXO 16

Para el sentido horario:

d (mm)	40
n (rpm)	250
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30308
D (mm)	90
C (KN)	106
$P_u$ (KN)	10,8
e	0,35
Y	1,7

$F_r$ (N)	11621,52
$F_a$ (N)	3418,09
$F_{eq}$ (N)	11621,52

$d_m$ (mm)	65
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	55,985
$\kappa$	1,965
Contaminación - carga	0,465
$a_{ISO}$	2,6
$L_{10}$ (rpm)	1585415509

L (h)	68701
-------	-------

Para el sentido antihorario:

d (mm)	40
n (rpm)	250
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30308
D (mm)	90
C (KN)	106
$P_u$ (KN)	10,8
e	0,35
Y	1,7

$F_r$ (N)	10338,78
$F_a$ (N)	3040,82
$F_{eq}$ (N)	10338,78

$d_m$ (mm)	65
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	55,985
k	1,965
Contaminación - carga	0,522
$a_{ISO}$	3,2
$L_{10}$ (rpm)	2341289020

L (h)	124869
-------	--------

El rodamiento B cumple con la condición de funcionamiento de 45000 h.

### 5.3.3.- Eje de salida

En el eje de salida, como ya se ha visto en el dimensionado de los ejes, hay que tener en cuenta cuatro posibles casos, uno para cada dirección de la fuerza transmitida por la máquina arrastrada en cada sentido de giro.

#### 5.3.3.1.- Rodamiento A

Las especificaciones del rodamiento A las podemos encontrar en el ANEXO 17.

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina motriz en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	70
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30313
D (mm)	150
C (KN)	346
$P_u$ (KN)	45
e	0,54
Y	1,1

$F_h$ (N)	4768,55
$F_r$ (N)	20574,15
$F_a$ (N)	26782,72
$F_{eq}$ (N)	37690,65

$d_m$ (mm)	110
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	164,598
$\kappa$	0,668
Contaminación - carga	0,597
$a_{ISO}$	0,8
$L_{10}$ (rpm)	1619850364

L (h)	107990
-------	--------

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina motriz en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	70
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30313
D (mm)	150
C (KN)	346
$P_u$ (KN)	45
e	0,54
Y	1,1

$F_h$ (N)	4768,55
$F_r$ (N)	7238,44
$F_a$ (N)	24285,95
$F_{eq}$ (N)	29609,92

$d_m$ (mm)	110
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	164,598
$\kappa$	0,668
Contaminación - carga	0,760
$a_{ISO}$	1
$L_{10}$ (rpm)	3620728976

L (h)	301727
-------	--------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina motriz en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	70
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30313
D (mm)	150
C (KN)	346
$P_u$ (KN)	45
e	0,54
Y	1,1

$F_h$ (N)	4768,55
$F_r$ (N)	9932,96
$F_a$ (N)	19909,41
$F_{eq}$ (N)	25873,53

$d_m$ (mm)	110
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	164,598
$\kappa$	0,668
Contaminación - carga	0,870
$a_{ISO}$	1,3
$L_{10}$ (rpm)	5676336005

L (h)	614936
-------	--------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina motriz en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	70
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30313
D (mm)	150
C (KN)	346
$P_u$ (KN)	45
e	0,54
Y	1,1

$F_h$ (N)	4768,55
$F_r$ (N)	17596,23
$F_a$ (N)	31309,37
$F_{eq}$ (N)	41478,79

$d_m$ (mm)	110
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	164,598
$\kappa$	0,668
Contaminación - carga	0,542
$a_{ISO}$	0,75
$L_{10}$ (rpm)	1177154099

L (h)	73572
-------	-------

Todos los casos cumplen la condición de funcionamiento de 45000 h.

**5.3.3.2.- Rodamiento B**

Las especificaciones del rodamiento B las podemos encontrar en el ANEXO 18.

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina arrastrada en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	85
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30316
D (mm)	170
C (KN)	333
$P_u$ (KN)	43
e	0,79
Y	0,76

$F_r$ (N)	33461,54
$F_a$ (N)	22014,17
$F_{eq}$ (N)	33461,54

$d_m$ (mm)	127,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	152,885
$\kappa$	0,719
Contaminación - carga	0,643
$a_{ISO}$	0,95
$L_{10}$ (rpm)	2119960765

L (h)	167830
-------	--------

Para el sentido horario y la fuerza de la máquina arrastrada en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	85
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30316
D (mm)	170
C (KN)	333
$P_u$ (KN)	43
e	0,79
Y	0,76

$F_r$ (N)	29666,45
$F_a$ (N)	19517,40
$F_{eq}$ (N)	29666,45

$d_m$ (mm)	127,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	152,885
$\kappa$	0,719
Contaminación - carga	0,725
$a_{ISO}$	1,2
$L_{10}$ (rpm)	3166615191

L (h)	316662
-------	--------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina arrastrada en sentido positivo la deflexión lateral es:

d (mm)	85
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30316
D (mm)	170
C (KN)	333
$P_u$ (KN)	43
e	0,79
Y	0,76

$F_r$ (N)	23014,10
$F_a$ (N)	15140,86
$F_{eq}$ (N)	23014,10

$d_m$ (mm)	127,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	152,885
$\kappa$	0,719
Contaminación - carga	0,934
$a_{ISO}$	1,5
$L_{10}$ (rpm)	7381887631

L (h)	922736
-------	--------

Para el sentido antihorario y la fuerza de la máquina arrastrada en sentido negativo la deflexión lateral es:

d (mm)	85
n (rpm)	50
$a_1$	0,25
$\eta_c$	0,5
$v_{60^\circ\text{C}}$ (mm <sup>2</sup> /s)	110
q	3,33

Cod.	30316
D (mm)	170
C (KN)	333
$P_u$ (KN)	43
e	0,79
Y	0,76

$F_r$ (N)	40342,04
$F_a$ (N)	26540,82
$F_{eq}$ (N)	40342,04

$d_m$ (mm)	127,5
$v_1$ (mm <sup>2</sup> /s)	152,885
$\kappa$	0,719
Contaminación - carga	0,533
$a_{ISO}$	0,8
$L_{10}$ (rpm)	1136635648

L (h)	75776
-------	-------

Todos los casos cumplen la condición de funcionamiento de 45000 h.

**5.3.4.- Sustitución de los rodamientos**

Puesto que todos los rodamientos superan los 45000 h de vida pero no superan el doble de esta, serán sustituidos todos cada 45000 h.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DOCUMENTO Nº:3**

**ANEXOS**

## ÍNDICE

1.- ANEXO 1: MATERIALES PARA ENGRANAJES .....	1
2.- ANEXO 2: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS .....	2
3.- ANEXO 3: VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE LOS ACEITES CON LA TEMPERATURA .....	3
4.- ANEXO 4: DIMENSIONES NORMALIZADAS PARA CHAVETAS CUADRADAS .....	4
5.- ANEXO 5: COEFICIENTES DE APLICACIÓN $K_A$ .....	4
6.- ANEXO 6: COEFICIENTE $K_1$ EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DEL TALLADO ( $Q_{ISO}$ ) PARA $K_V$ .....	5
7.- ANEXO 7: COEFICIENTES $H_1, H_2$ Y $H_3$ PARA $K_{H\beta}$ .....	5
8.- ANEXO 8: DEFINICIÓN DEL FACTOR DE ACABADO SUPERFICIAL PARA ACEROS.....	6
9.- ANEXO 9: FACTOR DE CORRECCIÓN DEL LÍMITE DE FATIGA POR CONFIABILIDAD.....	6
10.- ANEXO 10: FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE TENSIONES $K_t$ .....	7
11.- ANEXO 11: FACTOR DE FIABILIDAD $a_1$ .....	8
12.- ANEXO 12: FACTOR $a_{ISO}$ PARA RODAMIENTOS RADIALES DE RODILLOS .....	9
13.- ANEXO 13: RODAMIENTO A DEL EJE DE ENTRADA.....	10
14.- ANEXO 14: RODAMIENTO B DEL EJE DE ENTRADA .....	11
15.- ANEXO 15: RODAMIENTO A DEL EJE INTERMEDIO .....	12
16.- ANEXO 16: RODAMIENTO B DEL EJE INTERMEDIO .....	13
17.- ANEXO 17: RODAMIENTO A DEL EJE DE SALIDA .....	14
18.- ANEXO 18: RODAMIENTO B DEL EJE DE SALIDA .....	15
19.- ANEXO 19: ANILLOS DE EJE .....	16
20.- ANEXO 20: SELLO RADIAL EJE DE ENTRADA.....	17
21.- ANEXO 21: SELLO RADIAL EJE DE SALIDA .....	18
22.- ANEXO 22: TAPÓN DE LLENADO.....	19
23.- ANEXO 23: TAPÓN DE VACIADO .....	20
24.- ANEXO 24: VISOR NIVEL DE ACEITE.....	21

**1.- ANEXO 1: MATERIALES PARA ENGRANAJES**

MATERIAL (tabla iso 6336-5)	Denominación	$S_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$S_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	Dureza superficial
		min - max	min - max	
Fundiciones grises (GG) UNE EN 1561:2012	GJL-200 GJL-250 GJL-350	200 - 300 250 - 350 350 - 450	- - -	HB (150-230) HB (170-250) HB (210-275) HB 150-275
Fundiciones maleables de corazón negro (GTS) UNE EN 1562:2012	GJMB-500-5 GJMB-550-4 GJMB-600-3 GJMB-650-2	500 - 550 - 600 - 650 -	300 - 340 - 390 - 430 -	HB (165-215) HB (180-230) HB (195-245) HB (210-260) HB 135-250
Fundiciones con grafito esferoidal (nodular o dúctil) (GGG) UNE-EN1563:2012	GJS-400-15 GJS-600-3 GJS-800-2	400 - 600 - 800 -	250 - 380 - 480 -	HB (150-180) HB (210-250) HB (260-300) HB 175-300
Acero moldeado no aleado (St cast) UNE-EN10293:2006	GE240 GE300	450 - 600 520 - 670	240 - 300 -	HB 140 - HV 152 HB 175 - HV 200 HB 140-210
Acero no aleado forjado (St)	C25 C35 C45	400 580 680	280 380 430	HB 140 - HV 141 HB 180 - HV 182 HB 207 - HV 210 HB 110-210
Acero no aleado forjado, templado y revenido (V) UNE- EN10083-2:2008	C25 C35	570 600 - 750	430 430 - 520	HB 168 - HV 170 HB 212 - HV 216 HV 135-210 HV 115-215
Aceros aleados templados y revenidos (V) UNE-EN10083-3:2008	20NiCrMoS2-2 20MnCr5 34CrMo4 42CrMo4 34NiCrMo16	850 980 1000 - 1200 1100 - 1300 1230 - 1420	580 735 800 950 1030	HB 255 - HV 267 HB 302 - HV 317 HB 310 - HV 326 HB 321 - HV 337 HB 352 - HV 368 HV 200 - 390
Acero moldeado no aleado templado (V cast)				HV 130-215
Acero moldeado aleado templado (V cast)	G35CrMo4 G42CrMo4	750-980 800-1025	650 700	HB 290 - HV 305 HB 305 - HV 320 HV 200-360
Acero forjado de cementación. (Eh) UNE- EN10084:2010	20MnCr5 20NiCrMoS2-2 F1522 15 NiCr13 (F-1540) 14NiCrMo13 F 1560	980 850 950 1300	735 600 750 1100	HV 720 HV 600 HV 700 HV 740 HV 600-800
Acero forjado o moldeado, endurecido superficialmente a la llama o por inducción (IF)	C45 37Cr4 F-1201 42CrMo4	1034 1150 1300	786  1200	HB 525 - HV 560 HV 550 - 610 HB 515 - HV 615 HV 485-615
Acero forjado de nitruración(NT), acero templado de nitruración(NV), acero de nitruración (NT)UNE- EN10085:2001	42CrMo4 24CrMo13-6 F 1711 31CrMoV9 F 1721 41 CrAlMo7-10 F 1741 34CrAlNi7-10	1450 1100 1000 950 - 1150 900-1100	 900 800 750 680	 HV 700 HV 700 HV 850 - 950 HV 850 - 950 NT HV 650-900 NV HV 450-650
Acero forjado de nitrocarburoización (NV)				HV 300-650

## ANEXO 1

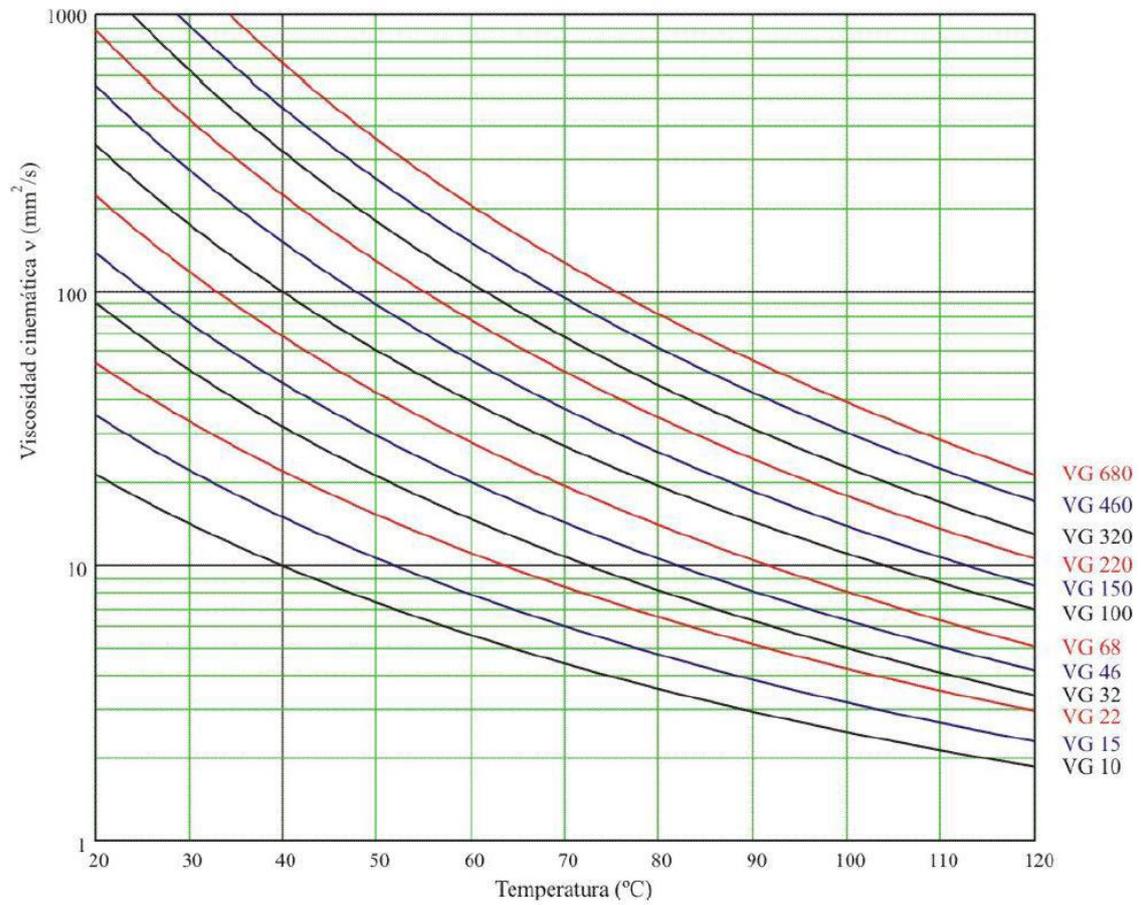
## 2.- ANEXO 2: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS

Designación EN 10027-1 AISI / UNE (antigua)	Composición							Tratamiento		Propiedades mecánicas			
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Otros	Tipo	Temp (°C)	Su MPa	Sy MPa	ε %	Dureza HB
<b>MOLDEADOS</b>													
GC25 / F-8104	0.25		0.55							440	225	22	150
GC35 / F-8106	0.35		0.65							510	255	18	155
GC45 / F-8108	0.45		0.65							580	295	15	195
<b>NO ALEADOS (Mn &lt; 1%)</b>													
C25 1025 / F-1120	0.25		0.55					N T + R	900 870 + 480	490 570	310 430	22 28	150 168
C35 1035 / F-1130	0.35		0.65					LC N T + R	900 840 + 430	585 680 730	375 420 520	29 28 15	190 183 212
C45 1045 / F-1140	0.45		0.65					N Rec T + R	870 790 825 + 450	660 600 850	390 360 640	20 23 14	197 180 248
C60 1060	0.6		0.75					N T + R	870 815 + 430	760 1000	410 790	6	225 315
<b>ALEACIÓN INFERIOR AL 5%</b>													
20MnCr5 5120 / F-150 D	0.2		1.25	1.15				N C + T + R	900 880 + 860 + 150	680 980	400 735	23 14	207 302
20NiCrMoS2-2 8620 / F-1522	0.2		0.8	0.55	0.2	0.55		LF N C + T + R	1100/850 900 910 + 845 + 150	650 600 850	320 340 580	22 26 19	192 174 255
41Cr4 5140 / F-1202	0.41		0.75	1.05				LF N T + R	1050/850 870 840 + 540	770 760 970	520 470 840	23 18	229 227 293
42CrMo4 4140 / F-1252	0.42		0.75	1.05	0.22			N Rec LF T + R	900 830 1100/850 840 + 540	950 650 1030 1120	560 420 720 1040	19 25 15 14	277 192 311 321
34CrNiMo6 4340 / F-128	0.34		0.65	1.5	0.22	1.5		LF N T + R	1150/900 870 840 + 540	1300 1280 1210	860 860 1100	12 14	401 388 352
51CrV4 6150	0.51		0.9	1.05			V 0.17	LF N T + R	1100/850 860 840 + 540	950 940 1200	630 615 1155	21 14	285 277 352
55Cr3 5160 / F-1431	0.55		0.85	0.85				LF N T + R	1050/850 900 840 + 540	1000 950 1200	680 600 1100	15 16 14	302 285 352
<b>ALEACIÓN SUPERIOR AL 5%</b>													
X10CrNi18-8 304	0.1	<0.8	<2	18-20		8-10		Recoc	1100	510	206	40	160
X5CrNiMo17-12-2 316	0.05	<0.8	<2	16-18	2-3	10_11		Recoc	1100	510	206	40	150
X6CrNiTi18-10 321	0.06	<1	<2	17-19		9_10 Ti				540	245	45	

. N normalizado, T templado, R revenido, Rec recocido, LF laminado forjado, C cementado.

## ANEXO 2

### 3.- ANEXO 3: VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE LOS ACEITES CON LA TEMPERATURA



ANEXO 3

### 4.- ANEXO 4: DIMENSIONES NORMALIZADAS PARA CHAVETAS CUADRADAS

Diámetros del eje $d$		Sección de la chaveta $b \times h$	Chavatero											
			Ancho $b$					Profundidad				Chaflán $P_1$		
			Tolerancia					Eje $h_1$		Cubo $h_2$				
			Nominal	Clase de ajuste del enchavetado				Eje y cubo P 9	Nominal	Tolerancia	Nominal	Tolerancia	Mínimo	Máximo
Libre		Normal		Ajustado										
más de	hasta		Eje H 9	Cubo D 10	Eje N 9	Cubo Js 9								
6	8	2 × 2	2	+ 0,025	+ 0,060	- 0,004	± 0,0125	- 0,006	1,2		1		0,08	0,16
8	10	3 × 3	3	0	+ 0,020	- 0,029		- 0,031	1,8	+ 0,1	1,4	+ 0,1	0,08	0,16
10	12	4 × 4	4						2,5		1,8		0,08	0,16
12	17	5 × 5	5	+ 0,030	+ 0,078	0	± 0,015	- 0,012	3		2,3		0,16	0,25
17	22	6 × 6	6	0	+ 0,030	- 0,030		- 0,042	3,5		2,8		0,16	0,25
22	30	8 × 7	8	+ 0,036	+ 0,098	0	± 0,018	- 0,015	4		3,3		0,16	0,25
30	38	10 × 8	10	0	+ 0,040	- 0,036		- 0,051	5		3,3		0,25	0,40
38	44	12 × 8	12						5		3,3		0,25	0,40
44	50	14 × 9	14	+ 0,043	+ 0,120	0	± 0,0215	0,018	5,5		3,8		0,25	0,40
50	58	16 × 10	16	0	+ 0,050	- 0,043		0,061	6		4,3		0,25	0,40
58	65	18 × 11	18						7	+ 0,2	4,4	+ 0,2	0,25	0,40
65	75	20 × 12	20						7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22 × 14	22	+ 0,052	- 0,149	0	± 0,026	- 0,022	9		5,4		0,40	0,60
85	95	25 × 14	25	0	+ 0,065	- 0,052		- 0,074	9		5,4		0,40	0,60
95	110	28 × 16	28						10		6,4		0,40	0,60
110	130	32 × 18	32						11		7,4		0,40	0,60
130	150	36 × 20	36						12		8,4		0,70	1,00
150	170	40 × 22	40	+ 0,062	+ 0,180	0	± 0,031	- 0,076	13		9,4		0,70	1,00
170	200	45 × 25	45	0	+ 0,080	- 0,062		- 0,088	15		10,4		0,70	1,00
200	230	50 × 28	50						17		11,4		0,70	1,00
230	260	56 × 32	56						20	+ 0,3	12,3	+ 0,3	0,70	1,00
260	290	63 × 32	63	+ 0,074	+ 0,220	0	± 0,037	- 0,032	20	0	12,4	0	1,20	1,60
290	330	70 × 36	70	0	- 0,100	- 0,074		- 0,106	22		14,4		1,20	1,60
330	380	80 × 40	80						25		15,4		2,00	2,50
380	440	90 × 45	90	+ 0,087	+ 0,260	0	± 0,0435	- 0,037	28		17,4		2,00	2,50
400	500	100 × 50	100	0	+ 0,120	- 0,087		- 0,124	31		19,5		2,00	2,50

ANEXO 4

### 5.- ANEXO 5: COEFICIENTES DE APLICACIÓN $K_A$

Características de la máquina motriz	Características de la máquina arrastrada			
	Uniforme	Choques ligeros	Choques moderados	Choques fuertes
Uniforme	1,00	1,25	1,50	1,75
Choques ligeros	1,10	1,35	1,60	1,85
Choques moderados	1,25	1,50	1,75	2,00
Choques fuertes	1,50	1,75	2,00	2,25 o mayor

ANEXO 5

## 6.- ANEXO 6: COEFICIENTE $K_1$ EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DEL TALLADO ( $Q_{ISO}$ ) PARA $K_V$

$Q_{ISO}$	10	9	8	7	6	5	4	3
$K_1$ rectos	76,6	52,8	39,1	26,8	14,9	7,5	3,9	2,1
$K_1$ helic.	68,2	47,0	34,8	23,9	13,3	6,7	3,5	1,9

----- Mecanizado basto -----

Mecanizado medio

Mecanizado preciso

----- Rectificado -----

--- Velocidad alta ---

----- ( $V < 7$  m/s) ----- ( $V < 10$  m/s) ----- ( $V < 20$  m/s) ----- ( $V > 30$  m/s) -----

----- Automóviles -----

----- Camiones -----

----- Mecánica general -----

--- Mecánica de baja precisión ---

## ANEXO 6

## 7.- ANEXO 7: COEFICIENTES $H_1, H_2$ Y $H_3$ PARA $K_{H\beta}$

$Q_{ISO}$	Ajuste	Dentados no endurecidos superficialmente			Aceros endurecidos superficialmente / dentados cementados rectificados		
		$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$
5	a	1.135	$2.3 \cdot 10^{-4}$	0.18	1.09	$1.99 \cdot 10^{-4}$	0.26
5	b, c	1.10	$1.15 \cdot 10^{-4}$	0.18	1.05	$1.0 \cdot 10^{-4}$	0.26
6	a	1.15	$3.0 \cdot 10^{-4}$	0.18	1.09	$3.3 \cdot 10^{-4}$	0.26
6	b, c	1.11	$1.5 \cdot 10^{-4}$	0.18	1.05	$1.6 \cdot 10^{-4}$	0.26
7	a	1.17	$4.7 \cdot 10^{-4}$	0.18	-	-	-
7	b, c	1.12	$2.3 \cdot 10^{-4}$	0.18	-	-	-
8	a	1.23	$6.1 \cdot 10^{-4}$	0.18	-	-	-
8	b, c	1.15	$3.1 \cdot 10^{-4}$	0.18	-	-	-

## ANEXO 7

### 8.- ANEXO 8: DEFINICIÓN DEL FACTOR DE ACABADO SUPERFICIAL PARA ACEROS

ACABADO SUPERFICIAL	Factor a (MPa)	Exponente b
Rectificado	1.58	-0.085
Mecanizado o laminado en frío	4.51	-0.265
Laminado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272.0	-0.995

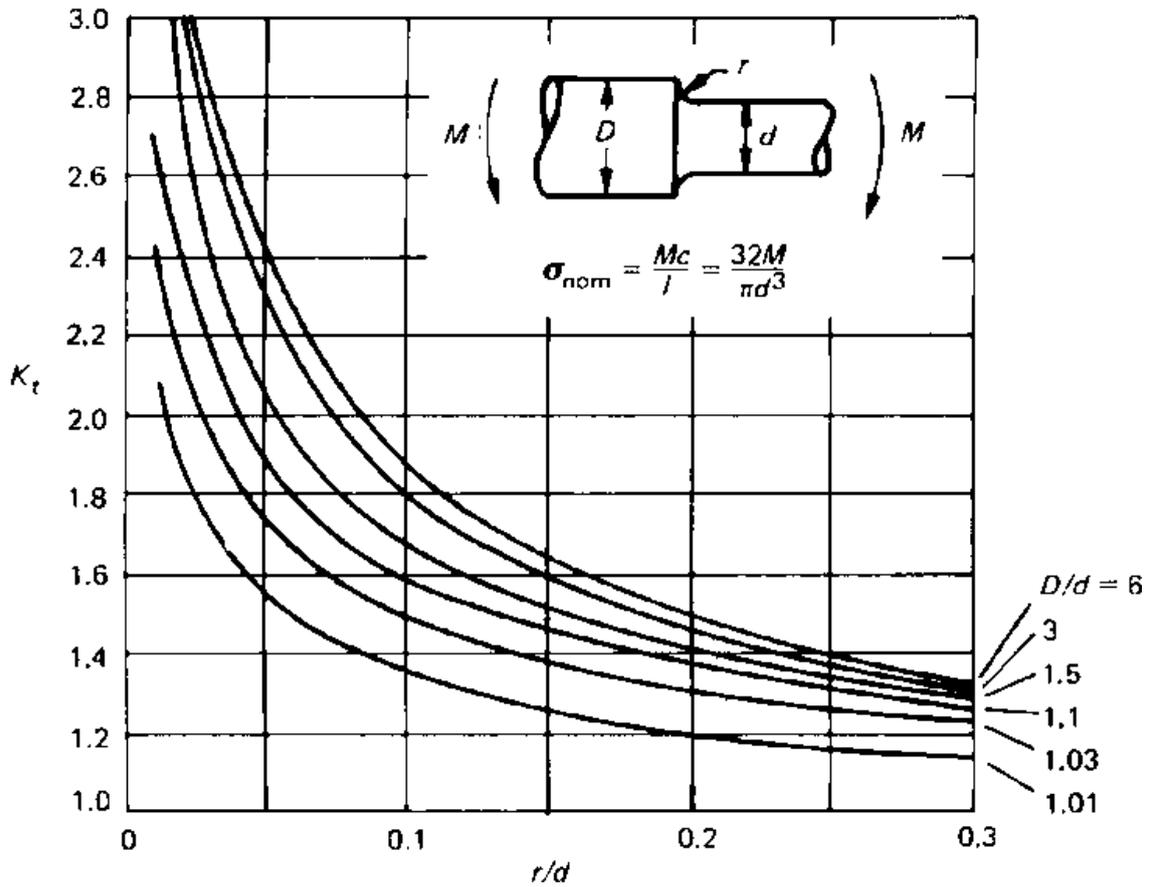
ANEXO 8

### 9.- ANEXO 9: FACTOR DE CORRECCIÓN DEL LÍMITE DE FATIGA POR CONFIABILIDAD

Confiabilidad	0.5	0.9	0.95	0.99	0.999	0.9999	0.99999	0.999999
Factor de corrección	1.0	0.897	0.868	0.814	0.753	0.702	0.659	0.620

ANEXO 9

### 10.- ANEXO 10: FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE TENSIONES $K_t$



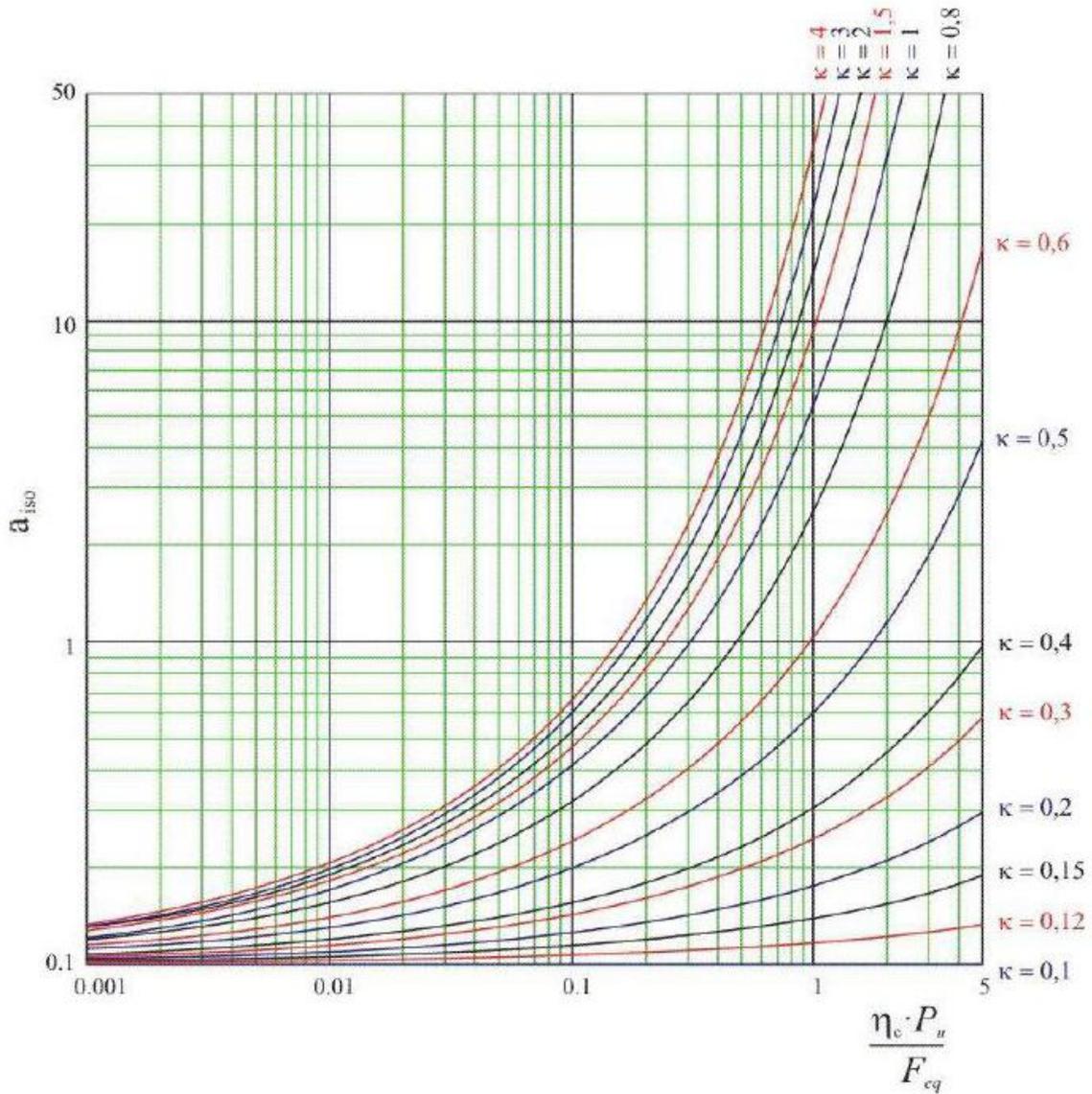
ANEXO 10

**11.- ANEXO 11: FACTOR DE FIABILIDAD  $a_1$** 

Fiabilidad %	$a_1$
90	1
95	0.64
96	0.55
97	0.47
98	0.37
99	0.25
99.2	0.22
99.4	0.19
99.6	0.16
99.8	0.12
99.9	0.093
99.92	0.087
99.94	0.080
99.95	0.077

ANEXO 11

## 12.- ANEXO 12: FACTOR $a_{ISO}$ PARA RODAMIENTOS RADIALES DE RODILLOS



ANEXO 12

# 13.- ANEXO 13: RODAMIENTO A DEL EJE DE ENTRADA

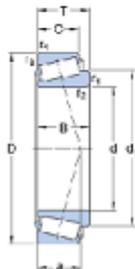
**SKF**

**32007 X**  
SKF Explorer

---

Series de dimensiones 4CC

**Dimensiones**

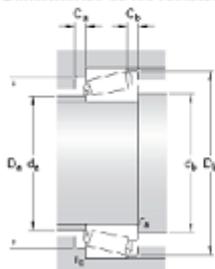


d	35	mm
D	62	mm
T	18	mm
d <sub>1</sub>	≈ 49.6	mm
B	18	mm
C	14	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 1	mm

**Dimensions**

a	14.838	mm
---	--------	----

**Dimensiones de los resaltes**



d <sub>a</sub>	max. 41	mm
d <sub>b</sub>	min. 42	mm
D <sub>a</sub>	min. 54	mm
D <sub>a</sub>	max. 56	mm
D <sub>b</sub>	min. 69	mm
C <sub>a</sub>	min. 4	mm
C <sub>b</sub>	min. 4	mm
r <sub>a</sub>	max. 1	mm
r <sub>b</sub>	max. 1	mm

**Datos del cálculo**

Capacidad de carga dinámica básica	C	52.3	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	64	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	5.85	kN
Velocidad de referencia		8500	r/min
Velocidad límite		10000	r/min
Factor de cálculo	e	0.46	
Factor de cálculo	Y	1.3	
Factor de cálculo	Y <sub>0</sub>	0.7	

**Masa**

Rodamiento de masa	0.23	kg
--------------------	------	----

ANEXO 13

# 14.- ANEXO 14: RODAMIENTO B DEL EJE DE ENTRADA

**30304**  
SKF Explorer

---

Series de dimensiones 2FB

**Dimensiones**

d	20	mm
D	52	mm
T	16.25	mm
d <sub>1</sub>	≈ 34.4	mm
B	15	mm
C	13	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.5	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 1.5	mm

**Dimensions**

a	11.153	mm
---	--------	----

**Dimensiones de los resaltes**

d <sub>a</sub>	max. 28	mm
d <sub>b</sub>	min. 27.5	mm
D <sub>a</sub>	min. 44	mm
D <sub>d</sub>	max. 45.5	mm
D <sub>b</sub>	min. 47	mm
C <sub>a</sub>	min. 2	mm
C <sub>b</sub>	min. 3	mm
r <sub>a</sub>	max. 1.5	mm
r <sub>b</sub>	max. 1.5	mm

**Datos del cálculo**

Capacidad de carga dinámica básica	C	41.9	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	32.5	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	3.55	kN
Velocidad de referencia		12000	r/min
Velocidad límite		14000	r/min
Factor de cálculo	e	0.3	
Factor de cálculo	Y	2	
Factor de cálculo	Y <sub>0</sub>	1.1	

**Masa**

Rodamiento de masa	0.17	kg
--------------------	------	----

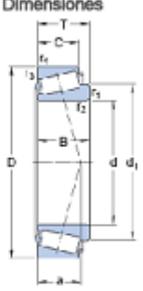
# 15.- ANEXO 15: RODAMIENTO A DEL EJE INTERMEDIO

**33208**  
SKF Explorer

---

Series de dimensiones 2DE

**Dimensiones**



d	40	mm
D	80	mm
T	32	mm
d <sub>1</sub>	≈ 59.75	mm
B	32	mm
C	25	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.5	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 1.5	mm

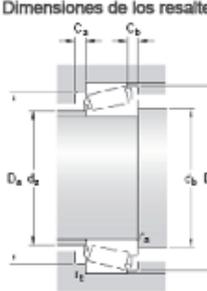
---

**Dimensions**

a	20.557	mm
---	--------	----

---

**Dimensiones de los resaltes**



d <sub>a</sub>	max. 47	mm
d <sub>b</sub>	min. 48.5	mm
D <sub>a</sub>	min. 67	mm
D <sub>a</sub>	max. 72.5	mm
D <sub>b</sub>	min. 76	mm
C <sub>a</sub>	min. 5	mm
C <sub>b</sub>	min. 7	mm
r <sub>a</sub>	max. 1.5	mm
r <sub>b</sub>	max. 1.5	mm

---

**Datos del cálculo**

Capacidad de carga dinámica básica	C	128	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	132	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	15	kN
Velocidad de referencia		6300	r/min
Velocidad límite		8500	r/min
Factor de cálculo	e	0.35	
Factor de cálculo	Y	1.7	
Factor de cálculo	Y <sub>0</sub>	0.9	

---

**Masa**

Rodamiento de masa	0.73	kg
--------------------	------	----

## 16.- ANEXO 16: RODAMIENTO B DEL EJE INTERMEDIO

**SKF**

**30308**  
SKF Explorer

---

Series de dimensiones 2FB

---

**Dimensiones**



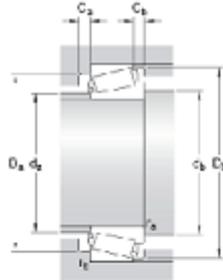
d	40	mm
D	90	mm
T	25.25	mm
d <sub>1</sub>	≈ 62.55	mm
B	23	mm
C	20	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 2	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 1.5	mm

**Dimensions**

a	19.031	mm
---	--------	----

---

**Dimensiones de los resaltes**



d <sub>a</sub>	max. 53	mm
d <sub>b</sub>	min. 49.5	mm
D <sub>a</sub>	min. 77	mm
D <sub>s</sub>	max. 82	mm
D <sub>b</sub>	min. 82	mm
C <sub>a</sub>	min. 3	mm
C <sub>b</sub>	min. 5	mm
r <sub>a</sub>	max. 2	mm
r <sub>b</sub>	max. 1.5	mm

---

**Datos del cálculo**

Capacidad de carga dinámica básica	C	106	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	95	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	10.8	kN
Velocidad de referencia		6300	r/min
Velocidad límite		8000	r/min
Factor de cálculo	e	0.35	
Factor de cálculo	Y	1.7	
Factor de cálculo	Y <sub>0</sub>	0.9	

---

**Masa**

Rodamiento de masa	0.73	kg
--------------------	------	----

## 17.- ANEXO 17: RODAMIENTO A DEL EJE DE SALIDA

**SKF**

**32314 B**

SKF Explorer

Series de dimensiones

5GD

Dimensiones

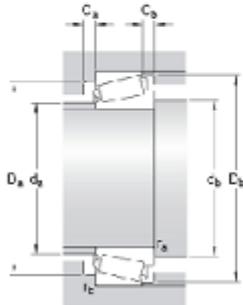


d	70	mm
D	150	mm
T	54	mm
$d_1$	≈ 113.3	mm
B	51	mm
C	42	mm
$r_{1,2}$	min. 3	mm
$r_{3,4}$	min. 2.5	mm

Dimensions

a	43.52	mm
---	-------	----

Dimensiones de los resaltes



$d_a$	max. 85	mm
$d_b$	min. 83	mm
$D_a$	min. 115	mm
$D_a$	max. 139.5	mm
$D_b$	min. 141	mm
$C_a$	min. 7	mm
$C_b$	min. 12	mm
$r_a$	max. 3	mm
$r_b$	max. 2.5	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	346	kN
Capacidad de carga estática básica	$C_0$	400	kN
Carga límite de fatiga	$P_u$	45	kN
Velocidad de referencia		3400	r/min
Velocidad límite		4300	r/min
Factor de cálculo	e	0.54	
Factor de cálculo	Y	1.1	
Factor de cálculo	$Y_0$	0.6	

Masa

Rodamiento de masa		4.56	kg
--------------------	--	------	----

## 18.- ANEXO 18: RODAMIENTO B DEL EJE DE SALIDA

**SKF**

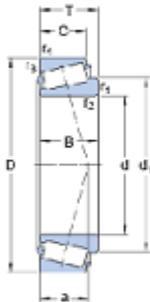
**T7FC 085**

SKF Explorer

Series de dimensiones

7FC

Dimensiones

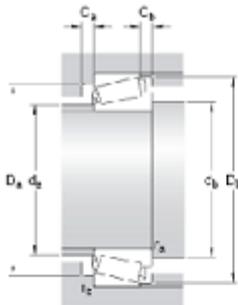


d	85	mm
D	170	mm
T	48	mm
d <sub>1</sub>	≈ 132.8	mm
B	45	mm
C	33	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 4	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 4	mm

Dimensions

a	53.827	mm
---	--------	----

Dimensiones de los resaltes



d <sub>a</sub>	max. 100	mm
d <sub>b</sub>	min. 100.5	mm
D <sub>a</sub>	min. 131	mm
D <sub>a</sub>	max. 156	mm
D <sub>b</sub>	min. 161	mm
C <sub>a</sub>	min. 6	mm
C <sub>b</sub>	min. 15	mm
r <sub>a</sub>	max. 4	mm
r <sub>b</sub>	max. 4	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	333	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	380	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	43	kN
Velocidad de referencia		2800	r/min
Velocidad límite		3800	r/min
Factor de cálculo	e	0.79	
Factor de cálculo	Y	0.76	
Factor de cálculo	Y <sub>0</sub>	0.4	

Masa

Rodamiento de masa		4.85	kg
--------------------	--	------	----

# 19.- ANEXO 19: ANILLOS DE EJE

**Anillo de Seguridad para Ejes DIN 471-E**

Diámetro nom.	Referencia DIN 471-E	s	a máx.	b=	d <sub>1</sub>	Recubrimiento	d <sub>2</sub> min.	Envase	Embalaje		
3	01090013	0,4	-0,05	1,9	0,8	2,7	+0,04/-0,15	A	1	1000	64000
4	01090021	0,4	-0,05	2,2	0,9	3,7	+0,04/-0,15	F	1	5000	160000
5	01090030	0,6	-0,05	2,5	1,1	4,7	+0,04/-0,15	F	1	2500	160000
6	01090048	0,7	-0,05	2,7	1,3	5,6	+0,04/-0,15	F	1,2	2500	80000
7	01090056	0,8	-0,05	3,1	1,4	6,5	+0,06/-0,18	F	1,2	1500	48000
8	01090064	0,8	-0,05	3,2	1,5	7,4	+0,06/-0,18	F	1,2	4000	32000
9	01090072	1	-0,06	3,3	1,7	8,4	+0,06/-0,18	F	1,2	2000	32000
10	01090080	1	-0,06	3,3	1,8	9,3	+0,10/-0,36	F	1,2	1500	24000
11	01090099	1	-0,06	3,3	1,8	10,2	+0,10/-0,36	F	1,5	1500	12000
12	01090101	1	-0,06	3,3	1,8	11	+0,10/-0,36	F	1,5	1000	16000
13	01090128	1	-0,06	3,4	2	11,9	+0,10/-0,36	F	1,7	1000	16000
14	01090136	1	-0,06	3,5	2,1	12,9	+0,10/-0,36	F	1,7	1000	8000
15	01090144	1	-0,06	3,6	2,2	13,8	+0,10/-0,36	F	1,7	1000	8000
16	01090152	1	-0,06	3,7	2,2	14,7	+0,10/-0,36	F	1,7	1000	8000
17	01090160	1	-0,06	3,8	2,3	15,7	+0,10/-0,36	F	1,7	1000	8000
18	01090179	1,2	-0,06	3,9	2,4	16,5	+0,10/-0,36	F	1,7	1000	8000
19	01090187	1,2	-0,06	3,9	2,5	17,5	+0,10/-0,36	F	2	1000	8000
20	01090196	1,2	-0,06	4	2,6	18,5	+0,13/-0,42	F	2	1000	8000
21	01090208	1,2	-0,06	4,1	2,7	19,5	+0,13/-0,42	F	2	1000	8000
22	01090216	1,2	-0,06	4,2	2,8	20,5	+0,13/-0,42	F	2	500	4000
24	01090232	1,2	-0,06	4,4	3	22,2	+0,21/-0,42	F	2	500	4000
25	01090240	1,2	-0,06	4,4	3	23,2	+0,21/-0,42	F	2	500	4000
26	01090259	1,2	-0,06	4,5	3,1	24,2	+0,21/-0,42	F	2	500	4000
27	01090489	1,2	-0,06	4,6	3,1	24,9	+0,21/-0,42	F	2	500	2000
28	01090267	1,5	-0,06	4,7	3,2	25,9	+0,21/-0,42	F	2	250	2000
29	01090275	1,5	-0,06	4,8	3,4	26,9	+0,21/-0,42	F	2	250	2000
30	01090283	1,5	-0,06	5	3,5	27,9	+0,21/-0,42	F	2	250	2000
32	01090304	1,5	-0,06	5,2	3,6	29,6	+0,21/-0,42	F	2,5	250	2000
33	01090873	1,5	-0,06	5,2	3,7	30,5	+0,25/-0,5	F	2,5	250	2000
34	01090512	1,5	-0,06	5,4	3,8	31,5	+0,25/-0,5	F	2,5	250	2000
35	01090320	1,5	-0,06	5,6	3,9	32,2	+0,25/-0,5	F	2,5	250	2000
36	01090339	1,75	-0,06	5,6	4	33,2	+0,25/-0,5	A	2,5	100	1600
38	01090347	1,75	-0,06	5,8	4,2	35,2	+0,25/-0,5	A	2,5	100	800
40	01090355	1,75	-0,06	6	4,4	36,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
42	01090363	1,75	-0,06	6,5	4,5	38,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	1600
44	01090881	1,75	-0,06	6,6	4,6	40,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
45	01090371	1,75	-0,06	6,7	4,7	41,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
46	01090857	1,75	-0,06	6,7	4,8	42,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
47	01090855	1,75	-0,06	6,8	4,9	43,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
48	01090380	1,75	-0,06	6,9	5	44,5	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
50	01090398	2	-0,07	6,9	5,1	45,8	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800

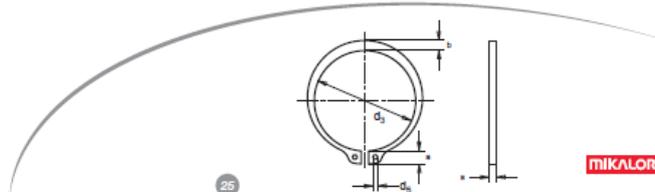
\* Para medidas superiores a Ø200, consultar.

**Anillo de Seguridad para Ejes DIN 471-E**

Diámetro nom.	Referencia DIN 471-E	s	a máx.	b=	d <sub>1</sub>	Recubrimiento	d <sub>2</sub> min.	Envase	Embalaje		
52	01090400	2	-0,07	7	5,2	47,8	+0,39/-0,9	A	2,5	100	800
55	01090419	2	-0,07	7,2	5,4	50,8	+0,46/-1,1	A	2,5	100	800
56	01090427	2	-0,07	7,3	5,5	51,8	+0,46/-1,1	A	2,5	100	400
58	01090435	2	-0,07	7,3	5,6	53,8	+0,46/-1,1	A	2,5	100	400
60	01090443	2	-0,07	7,4	5,8	55,8	+0,46/-1,1	A	2,5	100	800
62	01090451	2	-0,07	7,5	6	57,8	+0,46/-1,1	A	2,5	100	400
63	01090460	2	-0,07	7,6	6,2	58,8	+0,46/-1,1	A	2,5	100	400
65	01090478	2,5	-0,07	7,8	6,3	60,8	+0,46/-1,1	A	3	75	300
68	01090486	2,5	-0,07	8	6,5	63,5	+0,46/-1,1	A	3	75	300
70	01090494	2,5	-0,07	8,1	6,6	65,5	+0,46/-1,1	A	3	75	300
72	01090507	2,5	-0,07	8,2	6,8	67,5	+0,46/-1,1	A	3	75	600
75	01090515	2,5	-0,07	8,4	7	70,5	+0,46/-1,1	A	3	75	600
78	01090531	2,5	-0,07	8,6	7,3	73,5	+0,46/-1,1	A	3	75	600
80	01090540	2,5	-0,07	8,6	7,4	74,5	+0,46/-1,1	A	3	75	600
82	01090558	2,5	-0,07	8,7	7,6	76,5	+0,46/-1,1	A	3	75	600
85	01090566	3	-0,07	8,7	7,8	79,5	+0,46/-1,1	A	3,5	50	400
90	01090582	3	-0,07	8,8	8,2	84,5	+0,54/-1,08	A	3,5	50	400
92	01090910	3	-0,08	9	8,4	86,5	+0,54/-1,3	A	3,5	50	800
95	01090590	3	-0,07	9,4	8,6	89,5	+0,54/-1,08	A	3,5	50	400
100	01090603	3	-0,07	9,6	9	94,5	+0,54/-1,08	A	3,5	50	400
105	01090611	4	-0,07	9,9	9,3	98	+0,54/-1,08	A	3,5	40	160
110	01090620	4	-0,07	10,1	9,6	103	+0,54/-1,08	A	3,5	40	160
115	01090638	4	-0,07	10,6	9,8	108	+0,54/-1,08	A	3,5	40	160
120	01090646	4	-0,07	11	10,2	113	+0,54/-1,08	A	3,5	40	160
125	01090654	4	-0,07	11,4	10,4	118	+0,54/-1,08	A	4	40	160
130	01090662	4	-0,07	11,6	10,7	123	+0,63/-1,26	A	4	40	160
135	01090670	4	-0,07	11,8	11	128	+0,63/-1,26	A	4	40	160
140	01090689	4	-0,07	12	11,2	133	+0,63/-1,26	A	4	40	160
145	01090697	4	-0,07	12,2	11,5	138	+0,63/-1,26	A	4	40	160
150	01090700	4	-0,07	13	11,8	142	+0,63/-1,26	A	4	40	160
160	01090726	4	-0,1	13,3	12,2	151	+0,63/-1,5	A	4	40	40
170	01090742	4	-0,1	13,5	12,9	160,5	+0,63/-1,5	A	4	40	40
175	01090750	4	-0,1	13,5	12,9	165,5	+0,63/-1,5	A	4	40	40
180	01090769	4	-0,1	14,2	13,5	170,5	+0,63/-1,5	A	4	40	40
185	01090777	4	-0,1	14,2	13,5	175,5	+0,63/-1,5	A	4	40	40
190	01090785	4	-0,1	14,2	14	180,5	+0,72/-1,7	A	4	40	40
195	01090793	4	-0,1	14,2	14	185,5	+0,72/-1,7	A	4	40	40
200	01090806	4	-0,1	14,2	14	190,5	+0,72/-1,7	A	4	40	40

**Materiales:**  
 ACERO PARA MUELLES  
 < ø49 HRc 47+54 (HV 470-580)  
 > ø50 HRc 44+51 (HV 435-530)

**Acabados:**  
 A = Acabado Antioxidante  
 F = Fosfatado



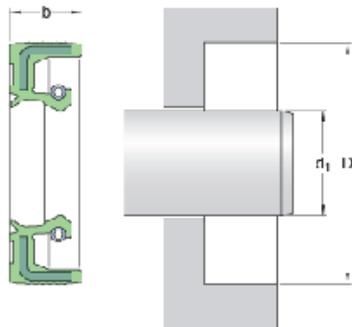
## 20.- ANEXO 20: SELLO RADIAL EJE DE ENTRADA



### 35x47x7 HMSA10 RG

Número de referencia para EE. UU.	692405
Diseño	HMSA10
Material del labio	RG
De acuerdo con la norma ISO/DIN	

#### Dimensiones



$d_1$	35	mm
D	47	mm
b	7	mm

#### Aplicación y condiciones de funcionamiento

Diferencial de presión	max.	0.03	MPa
Temperatura de funcionamiento	min.	-40	°C
Temperatura de funcionamiento	max.	100	°C
Temperatura de funcionamiento, período breve	max.	120	°C
Velocidad de giro	max.	7639	r/min
Velocidad de la superficie del eje	max.	14	m/s

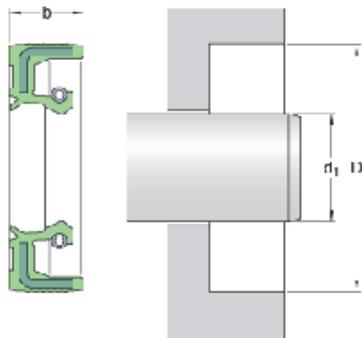
## 21.- ANEXO 21: SELLO RADIAL EJE DE SALIDA



### 85x120x12 HMSA10 V

Número de referencia para EE. UU.	563362
Diseño	HMSA10
Material del labio	V
De acuerdo con la norma ISO/DIN	

#### Dimensiones



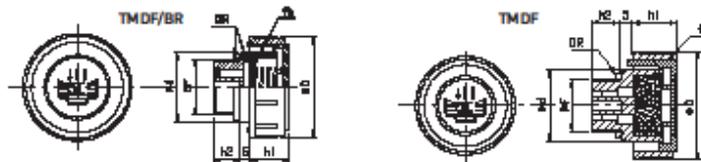
$d_1$	85	mm
D	120	mm
b	12	mm

#### Aplicación y condiciones de funcionamiento

Diferencial de presión	max.	0.03	MPa
Temperatura de funcionamiento	min.	-40	°C
Temperatura de funcionamiento	max.	200	°C
Temperatura de funcionamiento, período breve	max.	220	°C
Velocidad de giro	max.	2247	r/min
Velocidad de la superficie del eje	max.	10	m/s

## 22.- ANEXO 22: TAPÓN DE LLENADO

4853-4870		TAPÓN DESVAPORIZADOR TMD CON FILTRO							
Código sin filtro	P(l/min) sin filtro	Código con filtro	P(l/min) con filtro	F	D	d	h1	h2	
485309000	230	487003038	200	G 3/8"	36	23	17	11	
485312000	260	487004012	230	G 1/2"	41	28	18	12	
485319000	430	487006034	350	G 3/4"	47	33	17	12	
485325000	430	487008001	400	G 1"	52	38	20	12	
485331000	660	487010014	600	G 1 1/4"	63	49	23	13	
485338000	660	487010112	600	G 1 1/2"	63	55	23	13,5	
485316000	260	487016000	230	M 16x1,5	36	23	17	11	
485318000	260	487018000	230	M 18x1,5	41	28	17,5	12	
485320000	260	487020000	230	M 20x1,5	41	28	17,5	12	
485322000	260	487022000	230	M 22x1,5	41	28	17,5	12	



fb - Filtro de bronce  
f - Filtro de aire  
OR - Junta tórica NBR

Tapón de llenado con respiradero de cabeza cilíndrica y nervios verticales para una mejor sujeción, fabricado en poliamida 6.6 garantizando una óptima resistencia mecánica a altas y bajas temperaturas.

Temperatura máx. de trabajo: 100 °C.

Fabricados en cuerpo de color negro y tapón rojo con el símbolo de carga y la inscripción OIL.

Junta tórica de retención de goma antiaceite 70 Shore.

Estos tapones se caracterizan por permitir el paso de un gran volumen de aire y por tanto están recomendados para aplicaciones en centrales oleodinámicas o depósitos que contengan líquidos sujetos a rápidas variaciones de volumen, donde es necesaria una rápida salida y entrada de aire sin salida de aceite.

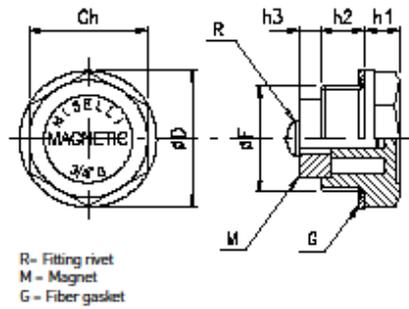
Incorporan un filtro de aire de espuma de poliuretano (grado de filtración indicativo 40 micrones). Este filtro puede desmontarse fácilmente.

El caudal de aire (P) indicado en la tabla se expresa en litros/min. con una presión de 50mbar.

### ANEXO 22

## 23.- ANEXO 23: TAPÓN DE VACIADO

### TM - DRAIN PLUGS WITH MAGNET (PLASTIC)



-Thermoplastic hex plug with magnet

-The plug is fitted to the bottom of the transmission or tank, to be used as drain plug; the magnet attract ferrous metal parts, preventing damage to gears and other moving components

-Production colour black, marked MAGNETIC on the hex surface.

-Oil resistant asbestos-free seal

-In larger quantities, these plugs are available with threads other than those shown, ie M16-18-20-22

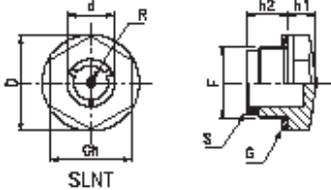
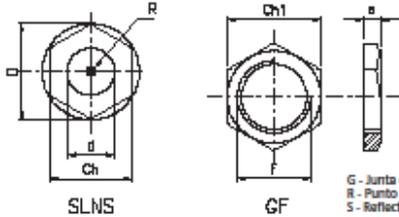
Code	F	Ch	D	h2	h1	h3
TM-14	G 1/4"	17	20	9	7	5
TM-38	G 3/8"	18	22	10	7,5	10
TM-12	G 1/2"	24	27	11	8	9
TM-34	G 3/4"	30	34	11	9	6,5
TM-1	G 1"	35	42	12	10,5	14
TM-1415	M14X1,5	17	20	9	7	5

## 24.- ANEXO 24: VISOR NIVEL DE ACEITE

**4821-4823 VISOR SIMPLEX SLN CON REFLECTOR Y SIN REFLECTOR**



Código sin reflector	Código con reflector	Ch	F	D	d	h1	h2	P (Nm)	Ch1	s
482301014	-	17	G 1/4"	20,5	12	8	8,5	8	-	-
482303038	482103038	18	G 3/8"	22	12	6,5	12	12	19	5
482304012	482104012	24	G 1/2"	28	16	8	12	16	27	5
482305034	482105034	30	G 3/4"	36	21	8,5	13,5	21	32	6
482307001	482107001	36	G 1"	42	30	9	14	24	36	6
482309114	482109114	42	G 1 1/4"	51	32	10	17	-	46	6
482310112	482110112	50	G 1 1/2"	58	39	10	21	-	-	-
482311002	482111002	64	G 2"	74	48	12	20	-	-	-
482301415	-	17	M14x1,5	20	12	7,5	8	8	-	-
482301615	482116000	18	M16x1,5	22	12	6,5	12,5	12	-	-
482301815	482118000	21	M18x1,5	25,5	14	6	12,5	12	-	-
482302015	482120000	24	M20x1,5	28	16	7,5	12	16	-	-
482322000	482122000	24	M22x1,5	28	16	7,5	12,5	16	-	-
482326000	482126000	30	M26x1,5	36	21	8,5	13,5	21	-	-
482327000	482127000	30	M27x1,5	36	21	8,5	13,5	21	-	-
482340000	482140000	42	M40x1,5	51	32	10	17	-	-	-

Para el montaje en paredes de menos de 5 mm. de grosor, se necesita una tuerca de latón GF.

G - Junta de fibra  
R - Punto rojo  
S - Reflector

**Material:** Resina poliámidica de gran transparencia. Óptima resistencia mecánica a alta y baja temperatura, gran estabilidad dimensional y muy buena resistencia al aceite y gasolina. Evitar el contacto con alcohol, líquidos anticongelantes a altas temperaturas y agua a más de 80°C. El modelo con reflector mejora la visualización del nivel de aceite.  
**Arandela plana de retención en fibra exenta de amianto (sobre encargo se puede suministrar en goma sintética NBR 70).**  
**Presión de trabajo hasta 1 bar. Temperatura máx. de trabajo: 100°C**  
**Nm - Par de apriete max. para el montaje.**

### ANEXO 24



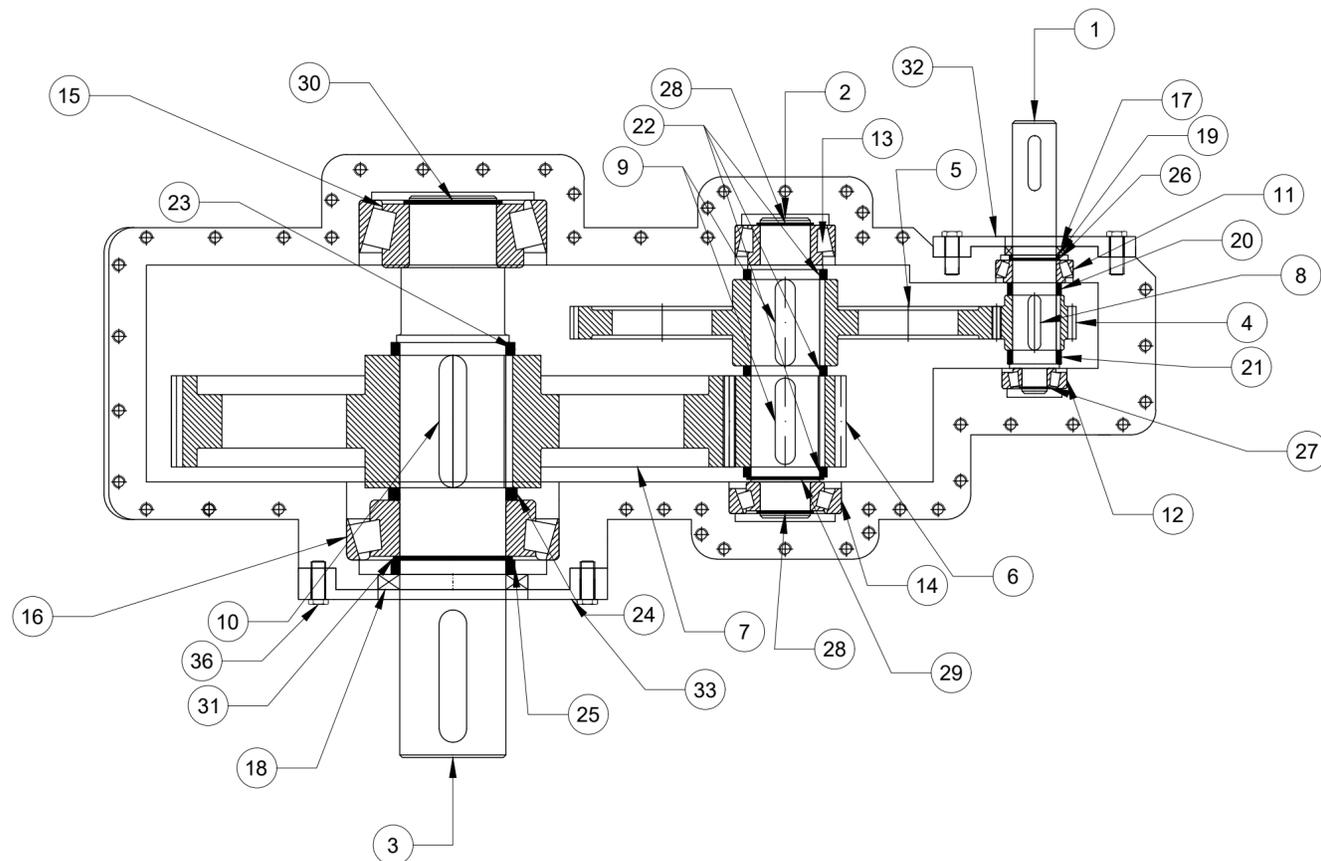
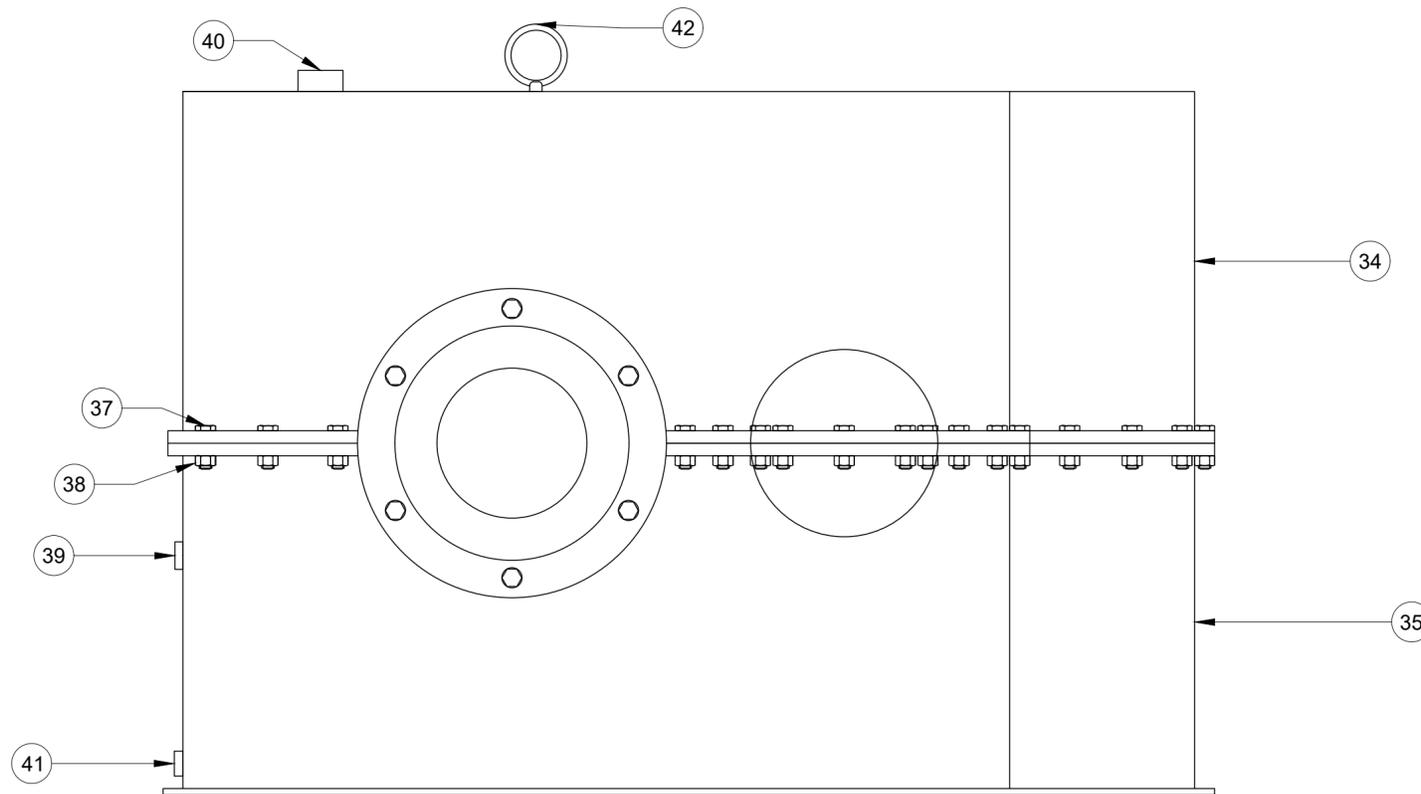
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DOCUMENTO Nº:4**

**PLANOS**

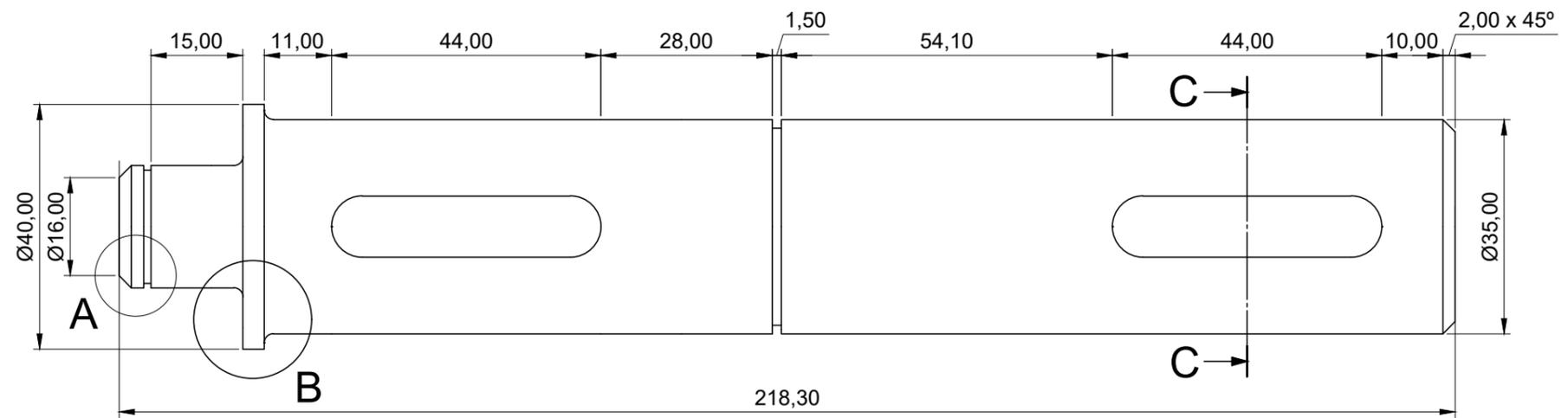


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	UD.	TÍTULO
1	1	EJE DE ENTRADA
2	1	EJE INTERMEDIO
3	1	EJE DE SALIDA
4	1	PIÑÓN PRIMERA ETAPA
5	1	RUEDA PRIMERA ETAPA
6	1	PIÑÓN SEGUNDA ETAPA
7	1	RUEDA SEGUNDA ETAPA
8	1	CHAVETA 44X10X8
9	2	CHAVETA 69X16X10
10	1	CHAVETA 106X22X14
11	1	RODAMIENTO SKF 32007 X
12	1	RODAMIENTO SKF 30304
13	1	RODAMIENTO SKF 33208
14	1	RODAMIENTO SKF 30308
15	1	RODAMIENTO SKF 32314 B
16	1	RODAMIENTO SKF T7FC 085
17	1	SELLO RADIAL
18	1	SELLO RADIAL
19	1	CASQUILLO Ø40 L2.5
20	1	CASQUILLO Ø43 L4
21	1	CASQUILLO Ø43 L4
22	3	CASQUILLO Ø67 L8
23	1	CASQUILLO Ø99 L10
24	1	CASQUILLO Ø103 L10
25	1	CASQUILLO Ø99 L11.5
26	1	ANILLO DE SEGURIDAD 1090320
27	1	ANILLO DE SEGURIDAD 1090195
28	2	ANILLO DE SEGURIDAD 1090355
29	1	ANILLO DE SEGURIDAD 1090419
30	1	ANILLO DE SEGURIDAD 1090494
31	1	ANILLO DE SEGURIDAD 1090566
32	1	TAPA EJE DE ENTRADA
33	1	TAPA EJE DE SALIDA
34	1	TAPA SUPERIOR
35	1	CARTER
36	12	TORNILLO M10X30
37	46	TORNILLO M8X25
38	46	TUERCA M8
39	1	VISOR NIVEL482116000
40	1	TÁPON LLENADO 487016000
41	1	TAPÓN VACIADO TM-1415
42	1	ARGOLLA M20X1,5

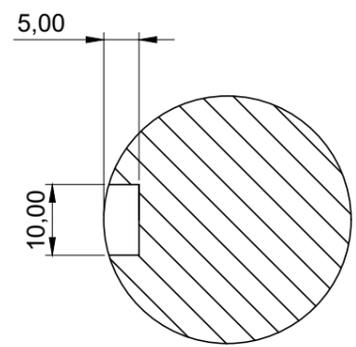
Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí		<b>E.T.S.I.D.</b> Diseño y cálculo de un reductor de velocidad
Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro		
<b>Escala</b> 1:4	<b>Plano:</b> CONJUNTO	Fecha: 07/09/2017
		Nº Plano: 1



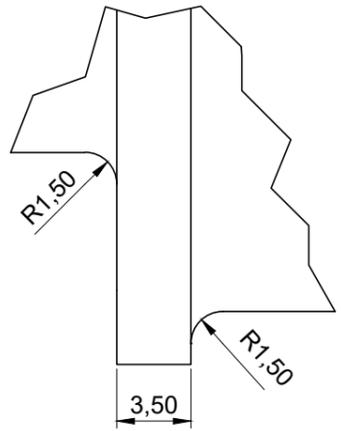




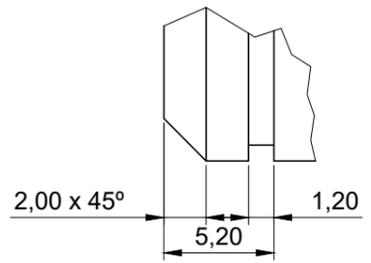
C-C (1:1)



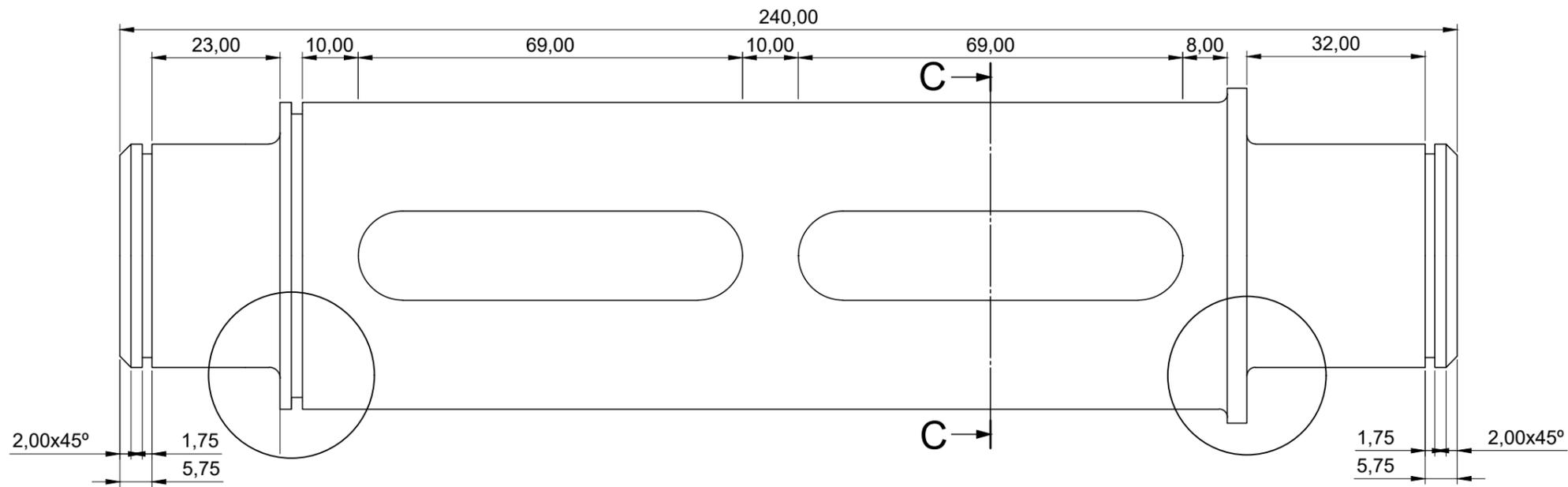
B (1:3)



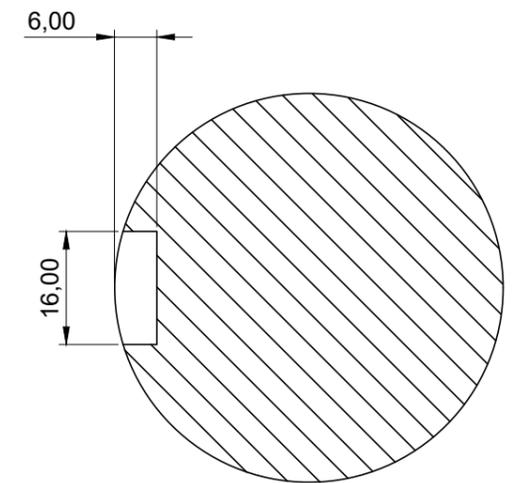
A (1:3)



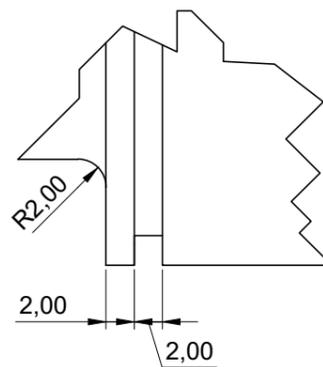
Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí		<b>E.T.S.I.D.</b> Diseño y cálculo de un reductor de velocidad
Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro		
<b>Escala</b> 1:1	<b>Plano:</b> EJE DE ENTRADA	Fecha: 07/09/2017
		Nº Plano: 4



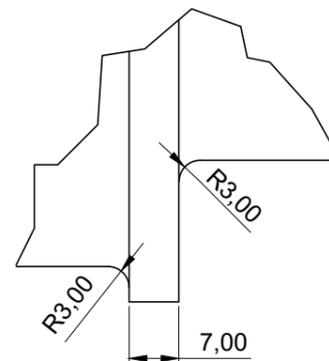
C-C (1:1)



A (1:3)



B (1:3)



Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí

Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro

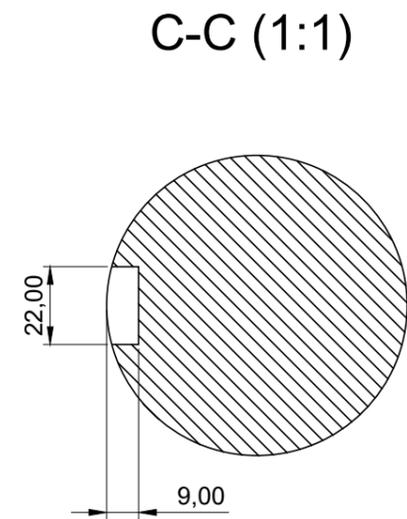
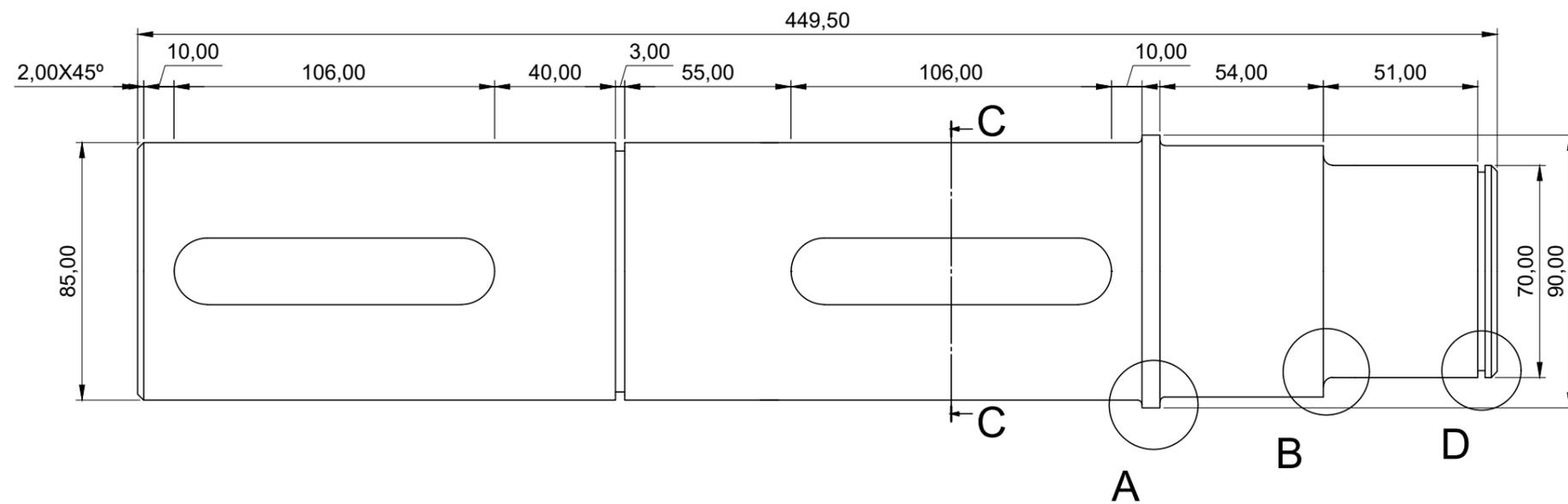
**E.T.S.I.D.**  
Diseño y cálculo de un  
reductor de velocidad

**Escala**  
1:1

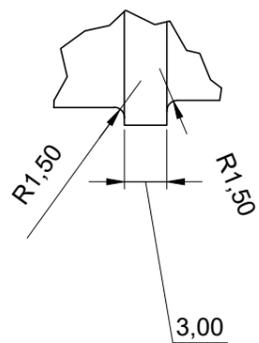
**Plano:**  
EJE INTERMEDIO

Fecha:  
07/09/2017

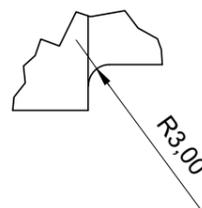
Nº Plano:  
5



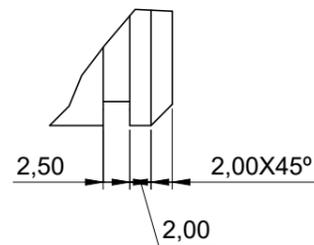
A (1:3)



B (1:3)



D (1:3)



Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí		<b>E.T.S.I.D.</b> Diseño y cálculo de un reductor de velocidad
Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro		
<b>Escala</b> 1:2	<b>Plano:</b> EJE DE SALIDA	Fecha: 07/09/2017
		Nº Plano: 6

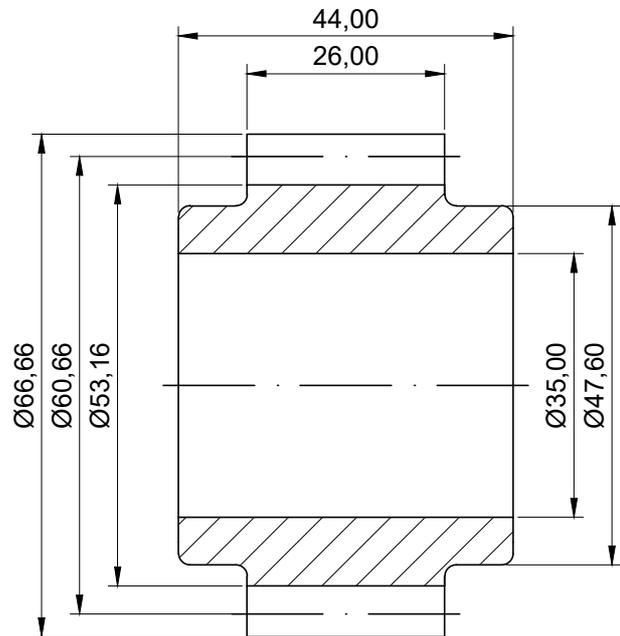
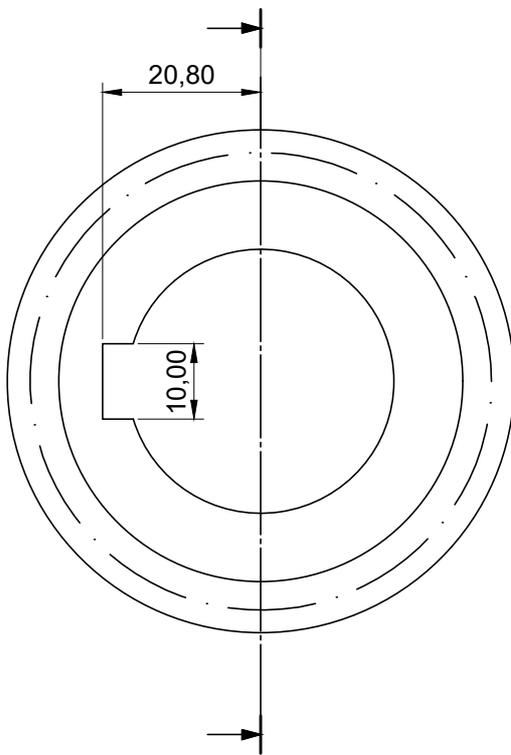
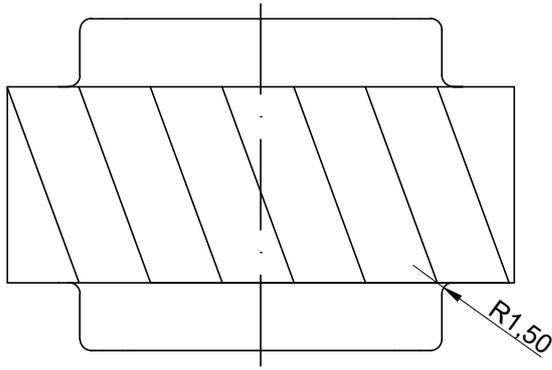


TABLA	
Dato	Valor
Módulo	3
Número de dientes	19
Ángulo de presión	20°
Ángulo de helice	20°

Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí

Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro

**E.T.S.I.D.**  
**Diseño y cálculo de un reductor de velocidad**

**Escala**  
**1:1**

**Plano:**  
**PIÑÓN PRIMERA ETAPA**

Fecha:  
 07/09/2017

Nº Plano:  
 7

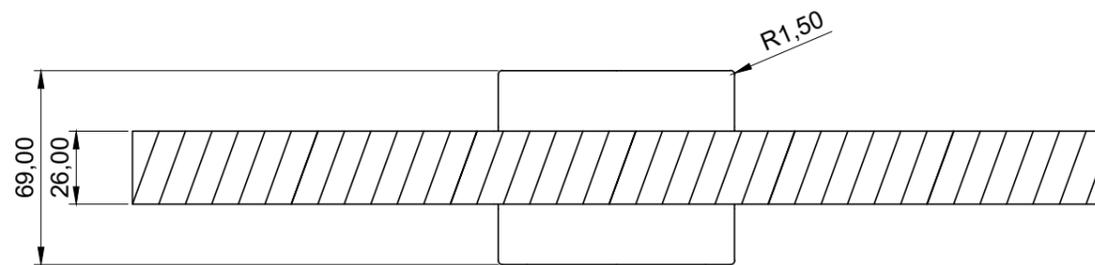
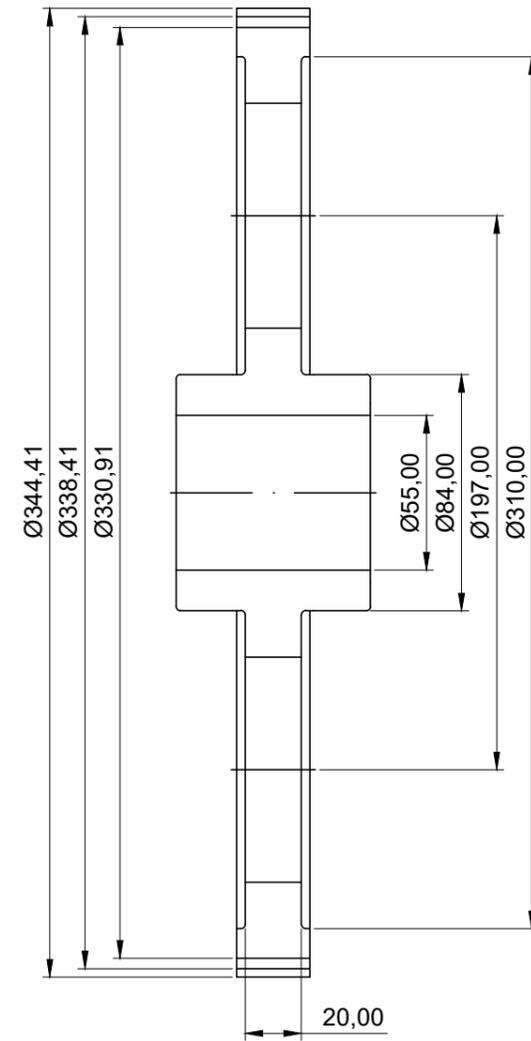
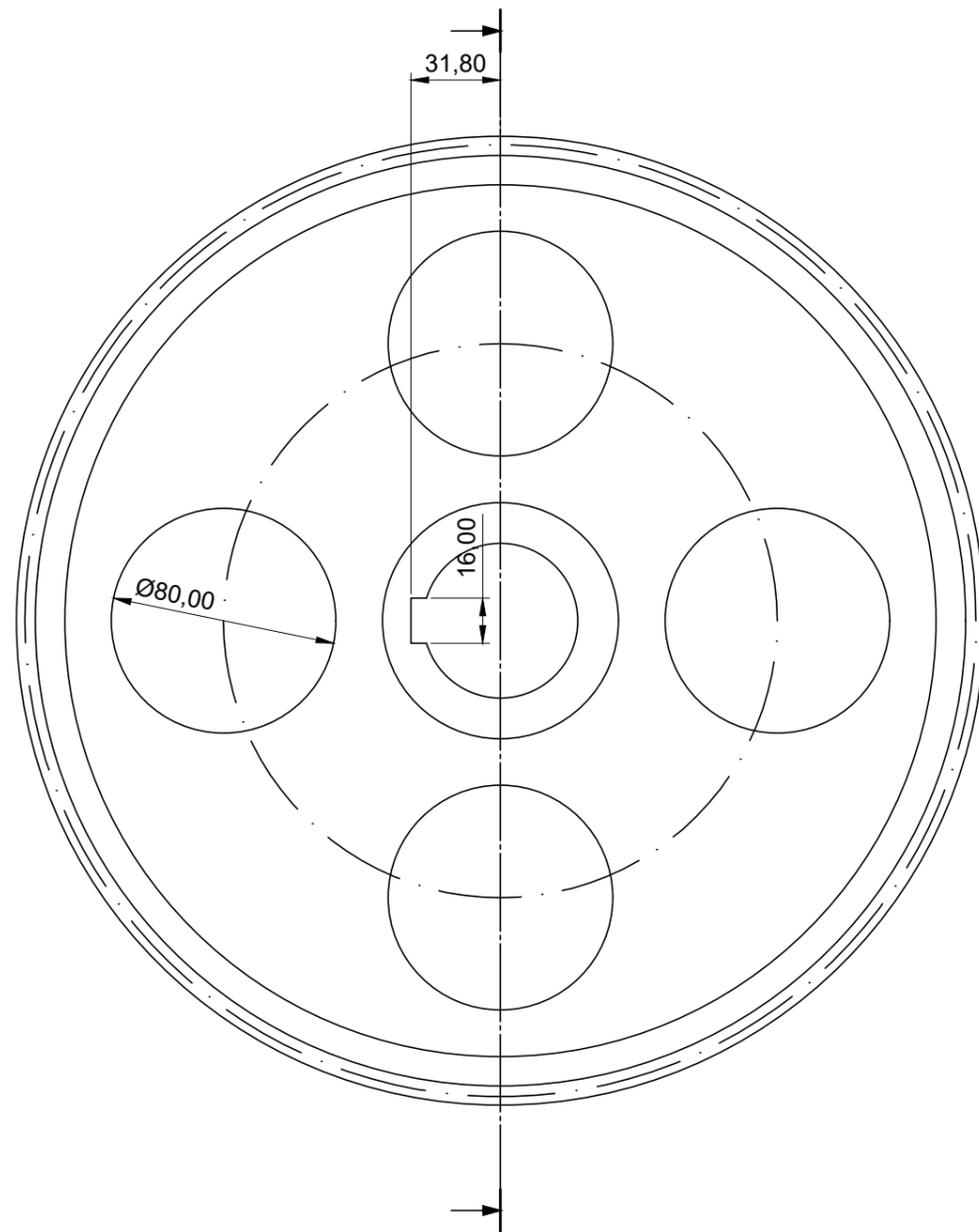


TABLA	
Dato	Valor
Módulo	3
Número de dientes	106
Ángulo de presión	20°
Ángulo de helice	20°

Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí

Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro

**E.T.S.I.D.**  
Diseño y cálculo de un  
reductor de velocidad

Escala  
1:2,5

Plano:  
RUEDA PRIMERA ETAPA

Fecha:  
07/09/2017

Nº Plano:  
8

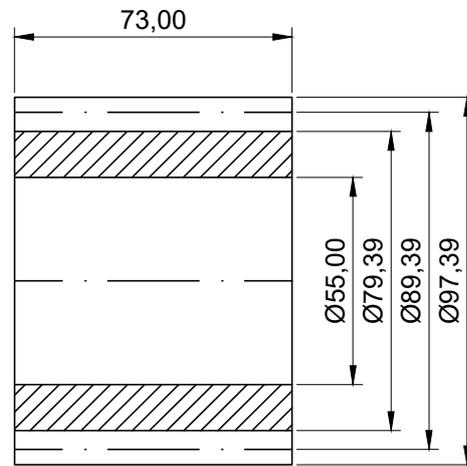
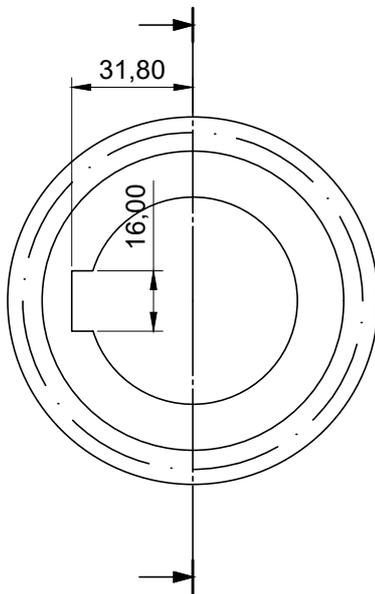
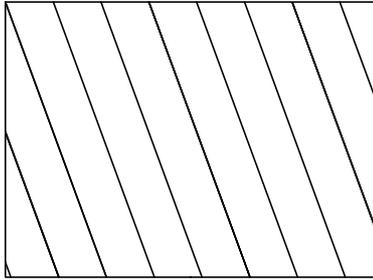


TABLA	
Dato	Valor
Módulo	4
Número de dientes	21
Ángulo de presión	20°
Ángulo de helice	20°

Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí

Comprobado por: José Enrique  
Tarancón Caro

**E.T.S.I.D.**  
**Diseño y cálculo de un  
reductor de velocidad**

**Escala**  
**1:2**

**Plano:**  
**PIÑÓN SEGUNDA ETAPA**

Fecha:  
07/09/2017

Nº Plano:  
9

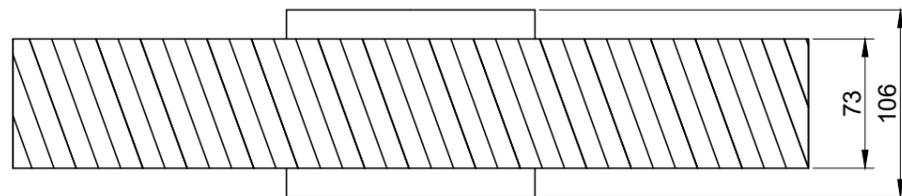
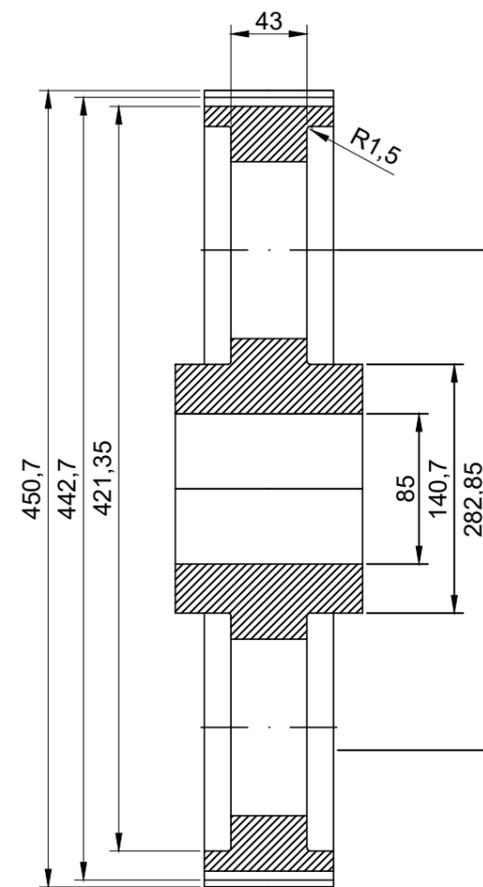
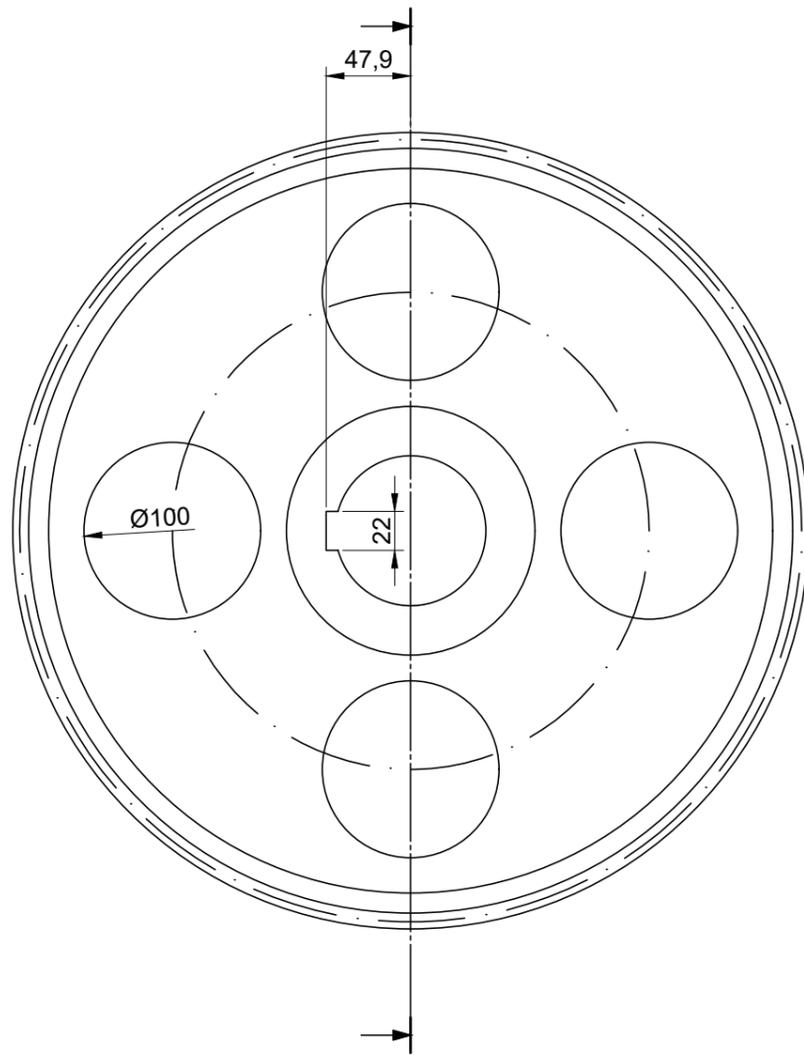
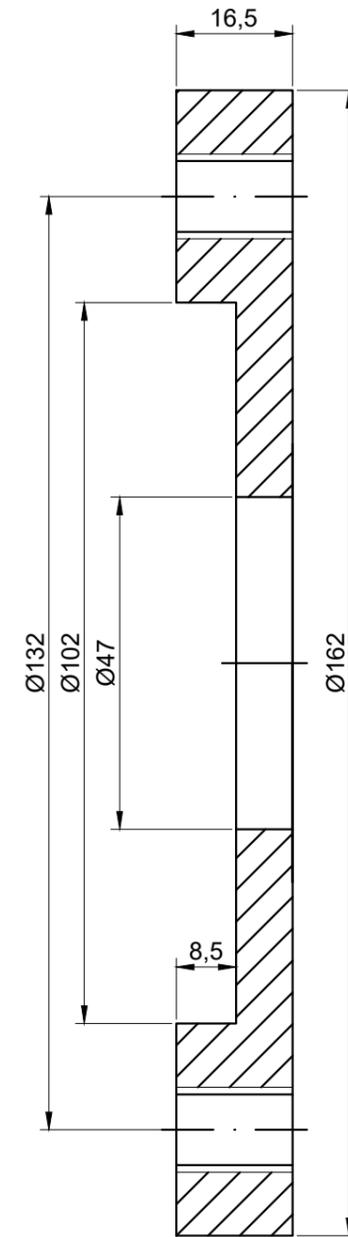
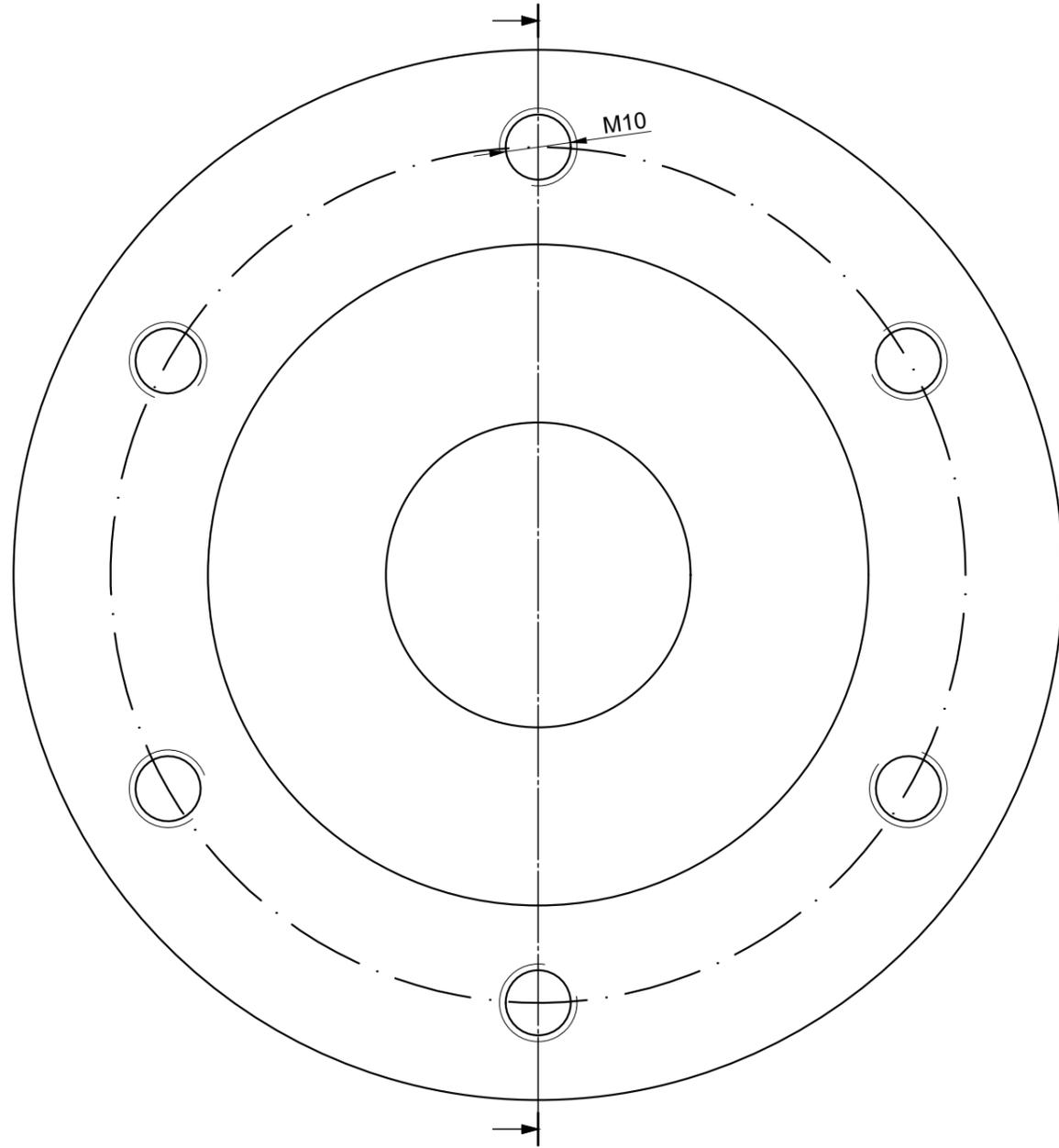


TABLA	
Dato	Valor
Módulo	4
Número de dientes	104
Ángulo de presión	20°
Ángulo de helice	20°

Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí		<b>E.T.S.I.D.</b> Diseño y cálculo de un reductor de velocidad
Comprobado por: José Enrique Taracón Caro		
<b>Escala</b> 1:4	<b>Plano:</b> RUEDA SEGUNDA ETAPA	Fecha: 07/09/2017
		Nº Plano: 10



Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí

Comprobado por: José Enrique  
Tarancón Caro

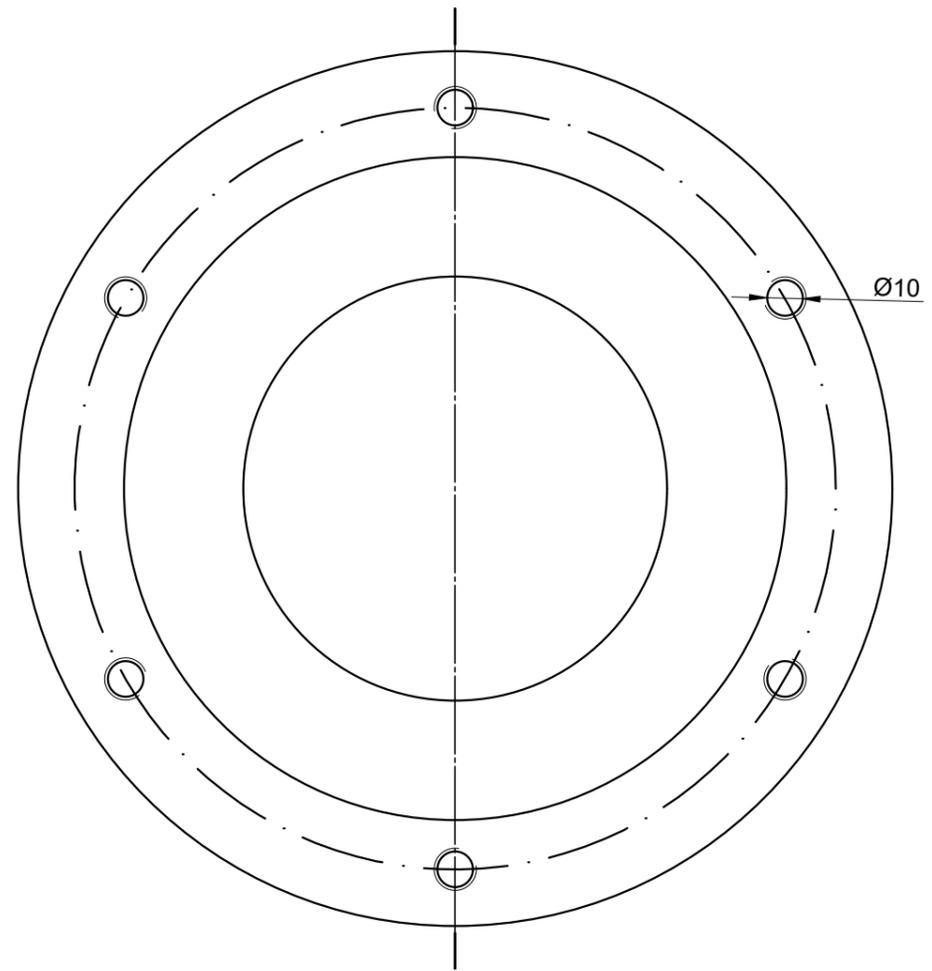
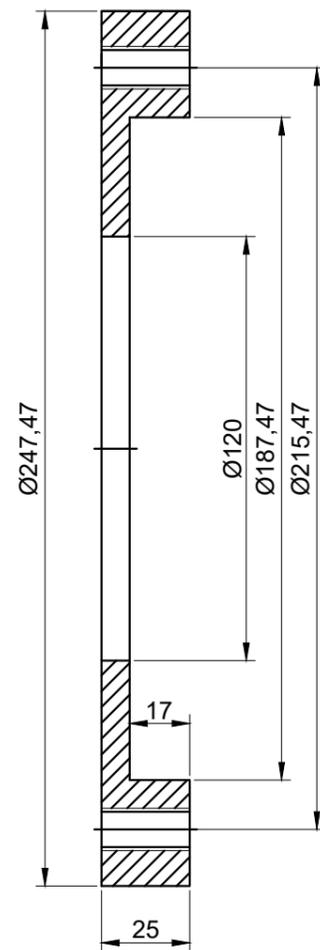
**E.T.S.I.D.**  
**Diseño y cálculo de un  
reductor de velocidad**

**Escala**  
**1:1**

**Plano:**  
**TAPA EJE DE ENTRADA**

Fecha:  
07/09/2017

Nº Plano:  
11



Diseñado por: Adrián Úbeda Todolí		<b>E.T.S.I.D.</b> Diseño y cálculo de un reductor de velocidad
Comprobado por: José Enrique Tarancón Caro		
<b>Escala</b> 1:2	<b>Plano:</b> TAPA EJE DE SALIDA	Fecha: 07/09/2017
		Nº Plano: 12



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DOCUMENTO Nº:5**

**PLIEGO DE**

**CONDICIONES**

# ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN.....	1
2.-	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	1
2.1.-	MATERIALES.....	1
2.1.1.-	Engranajes.....	1
2.1.2.-	Árboles.....	2
2.1.3.-	Carcasa y tapas de los ejes.....	2
2.2.-	CONDICIONES DE EJECUCIÓN.....	3
2.2.1.-	Descripción del proceso.....	3
2.2.2.-	Control del producto.....	8
2.3.-	PRUEBAS FINALES.....	8
2.4.-	CONDICIONES DE EMBALAJE Y TRANSPORTE.....	8
3.-	PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS.....	9
3.1.-	DERECHOS Y OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA.....	9
3.2.-	DIRECCIÓN TÉCNICA.....	9
3.3.-	LIBRO DE ORDENES.....	10
3.4.-	COMIENZO, RITMO, PLAZO Y CONDICIONES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	10
3.4.1.-	Comienzo de la fabricación.....	10
3.4.2.-	Ritmo.....	10
3.4.3.-	Plazo y condiciones de la ejecución de los trabajos.....	10
3.5.-	TRABAJOS DEFECTUOSOS Y MODIFICACIONES.....	11
3.6.-	RECEPCIÓN PROVISIONAL.....	11
3.7.-	PERÍODO DE GARANTÍA.....	11
3.8.-	RECEPCIÓN DEFINITIVA.....	11

## 1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente documento es definir las exigencias técnicas, económicas y legales en las que se basará la ejecución del proyecto. El proyecto será realizado basándose en la normativa vigente.

Los documentos que conforman el proyecto son:

- Memoria descriptiva. Será el documento con prioridad sobre el resto en caso de duda por lo que respecta a la elección de materiales.
- Planos. Será el documento con prioridad sobre el resto en caso de duda por lo que respecta al dimensionado de los distintos elementos.
- Pliego de condiciones. Será el documento con prioridad sobre el resto en caso de duda por lo que respecta a la normativa y calidad del proyecto.
- Presupuesto. Será el documento con prioridad sobre el resto en caso de duda por lo que respecta a la financiación del proyecto.

## 2.- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

### 2.1.- MATERIALES

A continuación se especificará el material utilizado para la fabricación de cada elemento.

#### 2.1.1.- Engranajes

El material empleado en la fabricación de los engranajes será un acero aleado, templado y revenido denominado 34NiCrMo16. Sus características se pueden encontrar en el ANEXO 1, siendo estas las siguientes:

- Resistencia a rotura  $S_u = 1230 - 1420$  Mpa
- Resistencia a fluencia  $S_y = 1030$  Mpa
- Dureza superficial = HB 352 – HB368

Para que el proyecto transcurra sin problemas se realizará un control de calidad a la llegada del material donde se comprobará:

- Composición química
- Limite elástico
- Resistencia a fluencia
- Dureza superficial

### 2.1.2.- Árboles

Los tres árboles serán fabricados con el mismo material. El material elegido para su fabricación es un acero 4140 / F-1252 de la norma UNE. Este es un acero normalizado a 900°C. Sus características se pueden encontrar en el ANEXO 4 siendo estas las siguientes:

$$S_{ut} = 950 \text{ Mpa}$$

- $S_y = 560 \text{ Mpa}$
- Alargamiento en la rotura = 19%
- Dureza superficial = HB 277
- Módulo de Young (E) =  $2,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$
- Módulo de elasticidad transversal (G): =  $8,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$

La composición química de este acero es:

- C: 0,42 %
- Mn: 0,75 %
- Cr: 1,05 %
- Mo: 0,22 %

Para que el proyecto transcurra sin problemas se realizará un control de calidad a la llegada del material donde se comprobará:

- Composición química
- Limite elástico
- Resistencia a fluencia
- Dureza superficial
- Alargamiento

### 2.1.3.- Carcasa y tapas de los ejes

El material empleado en la fabricación de estos elementos será una fundición gris denominada GJL - 250. Sus características se pueden encontrar en el ANEXO 1, siendo estas las siguientes:

- Resistencia a rotura  $S_u = 250 - 350 \text{ Mpa}$
- Dureza superficial = HB 180

Para que el proyecto transcurra sin problemas se realizará un control de calidad a la llegada del material donde se comprobará:

- Resistencia a fluencia
- Dureza superficial

## 2.2.- CONDICIONES DE EJECUCIÓN

### 2.2.1.- Descripción del proceso

#### 2.2.1.1.- *Piñón de la primera etapa*

Para la fabricación del piñón de la primera etapa se partirá de una pieza cilíndrica de 70 mm de diámetro y una altura de 30 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras, con los cambios de sección.
- Cilindrado interior de 35 mm.
- Cilindrado exterior de 66,66 mm.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará:

- Tallado de los dientes.
- Ranurado en la sección donde se ubicará la chaveta.

#### 2.2.1.2.- *Rueda de la primera etapa*

Para la fabricación de la rueda de la primera etapa se partirá de una pieza cilíndrica de 350 mm de diámetro y una altura de 30 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras, con los cambios de sección.
- Taladrado de los agujeros interiores de 80 mm.
- Cilindrado interior de 55 mm.
- Cilindrado exterior de 344,41 mm.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará:

- Tallado de los dientes.
- Ranurado en la sección donde se ubicará la chaveta.

#### **2.2.1.3.- Piñón de la segunda etapa**

Para la fabricación del piñón de la segunda etapa se partirá de una pieza cilíndrica de 100 mm de diámetro y una altura de 80 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras, con los cambios de sección.
- Cilindrado interior de 55 mm.
- Cilindrado exterior de 97,39 mm.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará:

- Tallado de los dientes.
- Ranurado en la sección donde se ubicará la chaveta.

#### **2.2.1.4.- Rueda de la segunda etapa**

Para la fabricación de la rueda de la segunda etapa se partirá de una pieza cilíndrica de 460 mm de diámetro y una altura de 80 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras, con los cambios de sección.
- Taladrado de los agujeros interiores de 100 mm.
- Cilindrado interior de 85 mm.
- Cilindrado exterior de 450,7 mm.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará:

- Tallado de los dientes.
- Ranurado en la sección donde se ubicará la chaveta.

#### **2.2.1.5.- *Árbol de entrada***

Para la fabricación del árbol de entrada se partirá de una pieza cilíndrica de 45 mm de diámetro y una altura de 220 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras.
- Cilindrado exterior de 40 mm.
- Cilindrado exterior de 35 mm de diámetro y 194,6 de largo
- Cilindrado exterior de 20 mm de diámetro y 15,103 de largo.
- Ranurado a una profundidad de 1,4 mm, quedando un diámetro de 32,2 mm, y 1,5 mm de espesor.
- Ranurado a una profundidad de 0,75 mm ,quedando un diámetro de 18,5 mm, y 1,2 mm de espesor quedando el eje.
- Avellanado de los extremos.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará el ranurado de los dos chaveteros.

En la zona del eje donde se ubicarán los rodamientos debe haber una tolerancia de ajuste k5.

#### **2.2.1.6.- *Árbol intermedio***

Para la fabricación del árbol intermedio se partirá de una pieza cilíndrica de 65 mm de diámetro y una altura de 250 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras.
- Cilindrado exterior de 60 mm.
- Cilindrado exterior de 40 mm de diámetro y 37,75 de largo.
- Cilindrado exterior de 40 mm de diámetro y 28,75 de largo.
- Cilindrado exterior de 55 mm de diámetro y 170 de largo.
- Ranurado a una profundidad de 2,1 mm ,quedando un diámetro de 50,8 mm, y 2 mm de espesor.
- Dos ranurados a una profundidad de 1,75 mm ,quedando un diámetro de 36.5 mm, y 1,75 mm de espesor.
- Avellanado de los extremos.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará el ranurado de los dos chaveteros.

En la zona del eje donde se ubicarán los rodamientos debe haber una tolerancia de ajuste k5.

#### **2.2.1.7.- *Árbol de salida***

Para la fabricación del árbol de salida se partirá de una pieza cilíndrica de 100 mm de diámetro y una altura de 460 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Primero se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas con el torno son:

- Refrentado de las caras.
- Cilindrado exterior de 90 mm.
- Cilindrado exterior de 70 mm de diámetro y 57,5 de largo.
- Cilindrado exterior de 83 mm de diámetro y 54 de largo.
- Cilindrado exterior de 85 mm de diámetro y 332 de largo.
- Ranurado a una profundidad de 2.25 mm ,quedando un diámetro de 65,5 mm, y 2,5 mm de espesor.
- Ranurado a una profundidad de 2,75 mm ,quedando un diámetro de 79,5 mm, y 3 mm de espesor.
- Avellanado de los extremos.

Una vez realizadas las operaciones del torno pasaremos a la fresadora. En la fresadora se realizará el ranurado de los dos chaveteros.

En la zona del eje donde se ubicarán los rodamientos debe haber una tolerancia de ajuste k5.

**2.2.1.8.- Carcasa y tapa superior del reductor**

Para la fabricación de la carcasa y la tapa superior del reductor de velocidad se empleará el proceso de conformación de colada en molde de arena. Se realizarán dos moldes uno para cada elemento.

Para evitar problemas se procederá a mecanizar las zonas que estarán en contacto con los rodamientos.

En las partes de los dos elementos que se juntarán en la unión se debe realizar un planeado para que haya un buen contacto entre ambas caras. A continuación se realizarán taladrados en las zonas donde se vayan a colocar tornillos para la unión de las piezas y en las zonas donde se ubicará el tapón de llenado, el tapón de vaciado y el visor del nivel. Finalmente se procederá a hacer un roscado para los alojamientos de los elementos mencionados.

Estos elementos deberán tener una tolerancia de K6 en las zonas en contacto con los rodamientos.

**2.2.1.9.- Tapa lateral del eje de entrada**

Para la fabricación de la tapa lateral del eje de entrada se partirá de una pieza cilíndrica de 85 mm de diámetro y una altura de 20 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas son:

- Refrentado de las caras.
- Cilindrado con diámetro de 55 mm .
- Cilindrado interior con diámetro de 37 mm
- Cilindrado interior con diámetro de 51 mm de 8.5 mm de longitud.
- Taladrado.

En la zona del eje donde se ubicarán los rodamientos debe haber una tolerancia de ajuste k5.

**2.2.1.10.- Tapa lateral del eje de salida**

Para la fabricación de la tapa lateral del eje de salida se partirá de una pieza cilíndrica de 85 mm de diámetro y una altura de 18 mm en bruto. Se partirá de unas dimensiones ligeramente superiores porque la pieza cilíndrica puede presentar pequeños defectos superficiales.

A continuación se describirán los pasos a seguir en el proceso del mecanizado:

Se empleará el torno realizando dos pasadas en cada operación, la primera pasada será de desbaste y la segunda de acabado. Las operaciones realizadas son:

- Refrentado de las caras.
- Cilindrado con diámetro de 123,74 mm.
- Cilindrado interior con diámetro de 57 mm
- Cilindrado interior con diámetro de 93.74 mm de 17 mm de longitud.
- Taladrado.

En la zona del eje donde se ubicarán los rodamientos debe haber una tolerancia de ajuste k5.

### **2.2.2.- Control del producto**

Se realizarán mediciones para verificar que las dimensiones y tolerancias exigidas son las correctas.

### **2.3.- PRUEBAS FINALES**

Una vez se hayan fabricado todas las piezas del conjunto se hará un montaje completo para garantizar que todas las piezas ajustan perfectamente. Se debe comprobar que no haya holguras ni zonas que dificulten la unión de los elementos.

### **2.4.- CONDICIONES DE EMBALAJE Y TRANSPORTE**

Las piezas deberán ir en cajas rígidas y con material de protección por dentro. Además cada pieza ira en cajas independientes.

### **3.- PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS**

#### **3.1.- DERECHOS Y OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA**

- Verificación de los documentos del proyecto. El contratista deberá dar constancia por escrito que la documentación aportada es clara y suficiente para la realización del proyecto. Tiene derecho de solicitar las aclaraciones si el proyecto lo requiere.
- Realización del plan de seguridad e higiene. Deberá aportar un estudio sobre las medidas de seguridad e higiene que se deberán tomar durante el proyecto. Este plan será entregado a la dirección técnica, que será la encargada de aprobarlo.
- Representación del contratista. El contratista tiene la obligación de comunicar quien será la persona que será designada para su representación. Esta persona deberá ser un Titulado Superior. Además, tiene el deber de cumplir con sus obligaciones y por supuesto, de ser conocedor de la normativa vigente y cumplirla. No podrá ser representante del proyecto una persona que haya sido sancionada anteriormente por negligencia en el ejercicio de su profesión en el pasado.
- Supervisión de la fabricación. El contratista tendrá el deber de supervisar que el personal a su cargo cumple con su trabajo correctamente y respetando siempre el plan de seguridad e higiene. Es importante de que se asegure de que el personal que va a realizar cada trabajo esta cualificada y acreditada para ejercer el trabajo que se le ha sido asignado.
- Disposición de los medios necesarios para la realización del proyecto.

#### **3.2.- DIRECCIÓN TÉCNICA**

El cliente será la persona responsable de designar la Dirección Técnica que le representara en el transcurso del proyecto. Será el máximo responsable del proyecto y deberá decidir y verificar el cumplimiento de:

- El comienzo del proyecto.
- El ritmo del proyecto.
- La calidad exigida en todos los trabajos del proyecto.

### **3.3.- LIBRO DE ORDENES**

En el Libro de Órdenes e Incidencias se recogerán todas las modificaciones que se hayan tenido que realizar durante el transcurso del proyecto.

### **3.4.- COMIENZO, RITMO, PLAZO Y CONDICIONES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS**

#### **3.4.1.- Comienzo de la fabricación**

El contratista dará comienzo a los trabajos de fabricación una vez todas las partes estén de acuerdo y se el Director Técnico acepte el comienzo del proyecto.

#### **3.4.2.- Ritmo**

Una vez que estén todas las partes de acuerdo y se haya fijado la fecha de comienzo se establecerá una fecha límite, que será fijada por el Director Técnico. Una vez que el contratista acepte dicho plazo, deberá cumplirlo, pudiendo ser cancelado el proyecto por el cliente si se excede de este límite. Los gastos del proyecto correrán a cargo del contratista por no haber cumplido con los plazos exigidos.

#### **3.4.3.- Plazo y condiciones de la ejecución de los trabajos**

El proyecto constará de tres partes importantes:

- Periodo de fabricación. En esta parte se deberán fabricar o aprovisionar de los distintos elementos que marca el proyecto para la realización del reductor.
- Periodo de puesta a punto. En esta parte se comprobará el ensamblaje del conjunto y se enumerarán los diferentes puntos del reductor que puedan declinar en un fallo en las pruebas posteriores.
- Periodo de puesta en marcha. En esta última fase se comprobará el correcto funcionamiento del reductor de velocidad, verificando el cumplimiento de los requisitos exigidos. En caso de que aparezcan inconvenientes, se deberá localizar el foco del problema y repetir el protocolo dictado por el contratista.

Si alguna de las tres partes requiere de una prórroga para su finalización deberá ser justificada por el proyectista y aprobada por la Dirección Técnica. Además debe aparecer en el Libro de Órdenes e Incidencias.

Del mismo modo que el plazo de entrega final, el Director Técnico acotará las fechas para la realización de cada una de las partes. Además una vez hayan finalizado será la Dirección Técnica la encargada de dar por finalizada cada parte.

Será responsabilidad del contratista asumir los costes de los fallos y modificaciones que se produzcan durante alguna de las partes.

### **3.5.- TRABAJOS DEFECTUOSOS Y MODIFICACIONES**

El contratista está obligado a utilizar los materiales que dicta el proyecto y a realizar los pasos marcados en este. En el caso de posibles defectos tienen la obligación de asumir sus costes y de realizar todas las modificaciones que sean necesarias para corregir estos defectos siempre que hayan sido bajo su responsabilidad.

### **3.6.- RECEPCIÓN PROVISIONAL**

Una vez se haya verificado que la puesta en marcha ha sido satisfactoria se procederá al envío del reductor de velocidad al cliente. Se confirmará un plazo de envío que únicamente puede excederse por alguna causa justificada.

En el momento que el cliente reciba el reductor de velocidad , se extenderá un Acta, dando por finalizado la realización del proyecto y dando comienzo al periodo de garantía.

### **3.7.- PERÍODO DE GARANTÍA**

La duración de la garantía será de un año. Durante este tiempo el contratista tiene el deber de asumir las reparaciones que surjan por problemas en el reductor siempre y cuando estos no deriven de un mal mantenimiento o ejecución del cliente. En el caso de que surjan problemas, la garantía se prolongará iniciando en el día del fin de la reparación del problema.

### **3.8.- RECEPCIÓN DEFINITIVA**

Una vez terminado el periodo de garantía se dará por finalizado definitivamente el contrato entre el proyectista y el cliente.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DOCUMENTO N°:6**

# **PRESUPUESTO**

# ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN.....	1
2.-	ENGRANAJES .....	1
2.1.-	PIÑÓN DE LA PRIMERA ETAPA .....	1
2.1.1.-	Material.....	1
2.1.2.-	Proceso de mecanizado .....	1
2.1.3.-	Coste piñón de la primera etapa.....	1
2.2.-	RUEDA DE LA PRIMERA ETAPA.....	2
2.2.1.-	Material.....	2
2.2.2.-	Proceso de mecanizado .....	2
2.2.3.-	Coste rueda de la primera etapa.....	2
2.3.-	PIÑÓN DE LA SEGUNDA ETAPA.....	3
2.3.1.-	Material.....	3
2.3.2.-	Proceso de mecanizado .....	3
2.3.3.-	Coste piñón de la segunda etapa.....	3
2.4.-	RUEDA DE LA SEGUNDA ETAPA .....	4
2.4.1.-	Material.....	4
2.4.2.-	Proceso de mecanizado .....	4
2.4.3.-	Coste rueda de la segunda etapa .....	4
3.-	ÁRBOLES.....	5
3.1.-	ÁRBOL DE ENTRADA.....	5
3.1.1.-	Material.....	5
3.1.2.-	Proceso de mecanizado .....	5
3.1.3.-	Coste árbol de entrada.....	5
3.2.-	ÁRBOL INTERMEDIO .....	6
3.2.1.-	Material.....	6
3.2.2.-	Proceso de mecanizado .....	6
3.2.3.-	Coste árbol intermedio.....	6
3.3.-	ÁRBOL DE SALIDA .....	7
3.3.1.-	Material.....	7
3.3.2.-	Proceso de mecanizado .....	7
3.3.3.-	Coste árbol de salida.....	7

4.-	CARCASA .....	8
4.1.-	MATERIAL .....	8
4.2.-	PROCESO DE CONFORMADO .....	8
4.3.-	PROCESO DE MECANIZADO.....	8
4.3.1.-	Coste carcasa.....	8
5.-	TAPAS LATERALES.....	9
5.1.-	TAPA LATERAL DEL EJE DE ENTRADA.....	9
5.1.1.-	Material.....	9
5.1.2.-	Proceso de mecanizado .....	9
5.1.3.-	Coste tapa lateral del eje de entrada.....	9
5.2.-	.....	9
5.3.-	TAPA LATERAL DEL EJE DE SALIDA .....	10
5.3.1.-	Material .....	10
5.3.2.-	Proceso de mecanizado .....	10
5.3.3.-	Coste tapa lateral del eje de salida .....	10
6.-	ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	11
7.-	COSTE NETO DEL PRODUCTO .....	12
8.-	.....	12
9.-	COSTE DEL PRODUCTO .....	12

## 1.- INTRODUCCIÓN

El presupuesto define los costes de cada uno de los componentes del reductor de velocidad. Se definirán los costes del material y los procesos de mecanizado. Para los elementos que han sido adquiridos manufacturados se elaborará una tabla con el precio de cada componente y el número de componentes adquiridos. Finalmente se mostrarán los cuadros resúmenes con los precios de cada apartado y el precio final del reductor de velocidad, incluyendo los impuestos y el beneficio.

## 2.- ENGRANAJES

### 2.1.- PIÑÓN DE LA PRIMERA ETAPA

#### 2.1.1.- Material

Material	Coste (€/Kg)	Kilos (Kg)	Total (€)
Acero 34NiCrMo16	3,5	1,74	6,09

#### 2.1.2.- Proceso de mecanizado

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

Máquina	Operación	Coste (€/h)	Tiempo empleado (h)	Total (€)
Torno	Refrentado	20	0,4	8
Torno	Cilindrado int.	20	0,3	6
Torno	Cilindrado ext.	20	0,2	4
Fresadora	Perfilado de los dientes	20	1	20
Fresadora	Perfilado chavetero	20	0,2	4
<b>Total</b>			2,1	42

#### 2.1.3.- Coste piñón de la primera etapa

	Coste (€)
Material	6,09
Mecanizado	42
<b>Total</b>	<b>48,09</b>

**2.2.- RUEDA DE LA PRIMERA ETAPA****2.2.1.- Material**

<b>Material</b>	<b>Coste (€/Kg)</b>	<b>Kilos (Kg)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Acero 34NiCrMo16</b>	3,5	35,42	123,97

**2.2.2.- Proceso de mecanizado**

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

<b>Máquina</b>	<b>Operación</b>	<b>Coste (€/h)</b>	<b>Tiempo empleado (h)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Torno</b>	<b>Refrentado</b>	20	3,4	68
<b>Torno</b>	<b>Taladrado</b>	20	0,4	8
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado int.</b>	20	0,2	4
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado ext.</b>	20	0,3	6
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado de los dientes</b>	20	2,5	50
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado chavetero</b>	20	0,2	4
<b>Total</b>			<b>7</b>	<b>140</b>

**2.2.3.- Coste rueda de la primera etapa**

	<b>Coste (€)</b>
<b>Material</b>	123,97
<b>Mecanizado</b>	140
<b>Total</b>	263,97

**2.3.- PIÑÓN DE LA SEGUNDA ETAPA****2.3.1.- Material**

<b>Material</b>	<b>Coste (€/Kg)</b>	<b>Kilos (Kg)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Acero 34NiCrMo16</b>	3,5	6,71	23,485

**2.3.2.- Proceso de mecanizado**

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

<b>Máquina</b>	<b>Operación</b>	<b>Coste (€/h)</b>	<b>Tiempo empleado (h)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Torno</b>	<b>Refrentado</b>	20	0,35	7
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado int.</b>	20	0,9	18
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado ext.</b>	20	0,3	6
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado de los dientes</b>	20	2	40
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado chavetero</b>	20	0,2	4
<b>Total</b>			<b>3,75</b>	<b>75</b>

**2.3.3.- Coste piñón de la segunda etapa**

	<b>Coste (€)</b>
<b>Material</b>	23,485
<b>Mecanizado</b>	75
<b>Total</b>	98,485

**2.4.- RUEDA DE LA SEGUNDA ETAPA****2.4.1.- Material**

<b>Material</b>	<b>Coste (€/Kg)</b>	<b>Kilos (Kg)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Acero 34NiCrMo16</b>	3,5	102,33	358,155

**2.4.2.- Proceso de mecanizado**

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

<b>Máquina</b>	<b>Operación</b>	<b>Coste (€/h)</b>	<b>Tiempo empleado (h)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Torno</b>	<b>Refrentado</b>	20	7,5	150
<b>Torno</b>	<b>Taladrado</b>	20	0,4	8
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado int.</b>	20	0,6	12
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado ext.</b>	20	0,4	8
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado de los dientes</b>	20	6,25	125
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado chavetero</b>	20	0,2	4
<b>Total</b>			15,35	307

**2.4.3.- Coste rueda de la segunda etapa**

	<b>Coste (€)</b>
<b>Material</b>	358,155
<b>Mecanizado</b>	307
<b>Total</b>	665,155

### 3.- ÁRBOLES

#### 3.1.- ÁRBOL DE ENTRADA

##### 3.1.1.- Material

Material	Coste (€/Kg)	Kilos (Kg)	Total (€)
Acero 4140 / F-1252	2,7	2,12	5,724

##### 3.1.2.- Proceso de mecanizado

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

Máquina	Operación	Coste (€/h)	Tiempo empleado (h)	Total (€)
Torno	Refrentado	20	0,3	6
Torno	Cilindrado	20	1,6	32
Torno	Ranurado	20	0,2	4
Torno	Avellanado	20	0,1	2
Fresadora	Perfilado chavetero	2	0,2	4
<b>Total</b>			2,4	48

##### 3.1.3.- Coste árbol de entrada

	Coste (€)
Material	5,724
Mecanizado	48
<b>Total</b>	<b>53,724</b>

**3.2.- ÁRBOL INTERMEDIO****3.2.1.- Material**

<b>Material</b>	<b>Coste (€/Kg)</b>	<b>Kilos (Kg)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Acero 4140 / F-1252</b>	2,7	4,39	11,853

**3.2.2.- Proceso de mecanizado**

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

<b>Máquina</b>	<b>Operación</b>	<b>Coste (€/h)</b>	<b>Tiempo empleado (h)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Torno</b>	<b>Refrentado</b>	20	0,35	7
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado</b>	20	2,6	52
<b>Torno</b>	<b>Ranurado</b>	20	0,2	4
<b>Torno</b>	<b>Avellanado</b>	20	0,1	2
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado chavetero</b>	20	0,2	4
<b>Total</b>			<b>3,45</b>	<b>69</b>

**3.2.3.- Coste árbol intermedio**

	<b>Coste (€)</b>
<b>Material</b>	11,853
<b>Mecanizado</b>	69
<b>Total</b>	<b>80,853</b>

**3.3.- ÁRBOL DE SALIDA****3.3.1.- Material**

<b>Material</b>	<b>Coste (€/Kg)</b>	<b>Kilos (Kg)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Acero 4140 / F-1252</b>	2,7	15,97	43,119

**3.3.2.- Proceso de mecanizado**

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

<b>Máquina</b>	<b>Operación</b>	<b>Coste (€/h)</b>	<b>Tiempo empleado (h)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Torno</b>	<b>Refrentado</b>	20	0,5	10
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado</b>	20	6	120
<b>Torno</b>	<b>Ranurado</b>	20	0,3	6
<b>Torno</b>	<b>Avellanado</b>	20	0,1	2
<b>Fresadora</b>	<b>Perfilado chavetero</b>	20	0,3	6
<b>Total</b>			<b>7,2</b>	<b>144</b>

**3.3.3.- Coste árbol de salida**

	<b>Coste (€)</b>
<b>Material</b>	43,119
<b>Mecanizado</b>	144
<b>Total</b>	<b>187,119</b>

## 4.- CARCASA

### 4.1.- MATERIAL

Material	Coste (€/Kg)	Kilos (Kg)	Total (€)
Fundición gris FG-25	0,95	120	114

### 4.2.- PROCESO DE CONFORMADO

El precio de la mano de obra está incluido.

	Coste (€/ud.)
Fabricación del molde	2400
Desmoldado y desbarbado	70
<b>Total</b>	<b>2470</b>

### 4.3.- PROCESO DE MECANIZADO

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

Operación	Coste (€/h)	Tiempo empleado (h)	Total (€)
Fresado	20	2,4	48
Taladrado	20	1,2	24
Roscado	20	0,8	16
<b>Total</b>		<b>4,4</b>	<b>88</b>

#### 4.3.1.- Coste carcasa

	Coste (€)
Material	114
Conformado	2470
Mecanizado	88
<b>Total</b>	<b>2672</b>

## 5.- TAPAS LATERALES

### 5.1.- TAPA LATERAL DEL EJE DE ENTRADA

#### 5.1.1.- Material

Material	Coste (€/Kg)	Kilos (Kg)	Total (€)
Fundición gris FG-25	0,95	7	6,65

#### 5.1.2.- Proceso de mecanizado

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

Máquina	Operación	Coste (€/h)	Tiempo empleado (h)	Total (€)
Torno	Refrentado	20	0,2	4
Torno	Cilindrado exterior	20	0,2	4
Torno	Cilindrado interior	20	0,3	6
	Taladrado	20	0,1	2
	<b>Total</b>		<b>0,8</b>	<b>16</b>

#### 5.1.3.- Coste tapa lateral del eje de entrada

	Coste (€)
Material	6,65
Mecanizado	16
<b>Total</b>	<b>22,65</b>

**5.2.- TAPA LATERAL DEL EJE DE SALIDA****5.2.1.- Material**

<b>Material</b>	<b>Coste (€/Kg)</b>	<b>Kilos (Kg)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Fundición gris FG-25</b>	0,95	8,5	8,075

**5.2.2.- Proceso de mecanizado**

El precio de la mano de obra está incluido en el proceso.

<b>Máquina</b>	<b>Operación</b>	<b>Coste (€/h)</b>	<b>Tiempo empleado (h)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>Torno</b>	<b>Refrentado</b>	20	0,2	4
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado exterior</b>	20	0,2	4
<b>Torno</b>	<b>Cilindrado interior</b>	20	0,3	6
	<b>Taladrado</b>	20	0,1	2
	<b>Total</b>		<b>0,8</b>	<b>16</b>

**5.2.3.- Coste tapa lateral del eje de salida**

	<b>Coste (€)</b>
<b>Material</b>	8,075
<b>Mecanizado</b>	16
<b>Total</b>	<b>24,075</b>

**6.- ELEMENTOS NORMALIZADOS**

<b>Designación</b>	<b>Referencia</b>	<b>Precio (E/Ud.)</b>	<b>Ud.</b>	<b>Total</b>
Rodamiento	32007 X	20,96	1	20,96
Rodamiento	30304	15,74	1	15,74
Rodamiento	33208	29,78	1	29,78
Rodamiento	30308	32,33	1	32,33
Rodamiento	32314 B	46,89	1	46,89
Rodamiento	T7FC 085	45,12	1	45,12
Retén	35x47x7 HMSA10 RG	2,35	1	2,35
Retén	85x120x12 HMSA10 V	11,54	1	11,54
Anillo de seguridad	1090320	0,21	1	0,21
Anillo de seguridad	1090195	0,15	1	0,15
Anillo de seguridad	1090355	0,24	2	0,48
Anillo de seguridad	1090419	0,27	1	0,27
Anillo de seguridad	1090494	0,32	1	0,32
Anillo de seguridad	1090566	0,33	1	0,33
Chaveta	44x10x8	1,38	1	1,38
Chaveta	69x16x10	1,66	2	3,32
Chaveta	106x22x14	2,05	1	2,05
Casquillo	D40 L2,5	0,42	1	0,42
Casquillo	D43 L10	0,52	1	0,52
Casquillo	D43 L11	0,56	1	0,56
Casquillo	D67 L8	0,89	3	2,67
Casquillo	D99 L10	1,23	1	1,23
Casquillo	D103 L10	1,47	1	1,47
Casquillo	D99 L11,5	1,33	1	1,33
Tornillo	M6x30	0,12	12	1,44
Tornillo	M8x25	0,16	46	7,36
Argolla	M20	3,11	1	3,11
Arandela	M8	0,11	46	5,06
Tuerca	M8	0,13	46	5,98
Tapón de llenado	487016000	2,2	1	2,2
Tapón de vaciado	TM-1415	1,7	1	1,7
Visor	482116000	1,95	1	1,95
Junta de estanqueidad	840x348 mm	0,90	1	0,90
Aceite	VG-320	1,87	25 litros	46,75
Pintura		5,32	5 litros	26,60
			<b>Total</b>	<b>324,47 €</b>

**7.- COSTE NETO DEL PRODUCTO**

<b>Elemento</b>	<b>Coste (€)</b>
Eje de entrada	53,72
Eje intermedio	80,85
Eje de salida	187,12
Piñón primera etapa	48,09
Rueda primera etapa	263,97
Piñón segunda etapa	98,48
Rueda segunda etapa	665,15
Carcasa	2470,00
Tapas laterales	46,72
Componentes normalizados	324,47
Mano de obra	93,2
<b>Total</b>	<b>4331,79</b>

**8.- COSTE DEL PRODUCTO**

<b>Concepto</b>		<b>Precio (€)</b>
Coste neto del producto		4331,79
Beneficio industrial	20%	866,35
Honorarios proyectista	5%	216,58
Gastos generales	15%	649,76
Subtotal		6064,50
I.V.A.	21%	1273,54
<b>Precio de venta</b>		<b>7338,05</b>