



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

AUTOR: Adrià Bauset García

TUTOR: José Enrique Tarancón Caro

Curso Académico: 2015-16

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado consiste en el diseño de un reductor de velocidad con una relación de transmisión de 14.

Para ello, se van a diseñar y calcular cada uno de los componentes del reductor, siguiendo una serie de criterios para que, en caso de que el eje de entrada gire a 1400 rpm, ninguno de éstos falle al alcanzar un par máximo a la salida de 3200 N·m. El proceso de diseño del reductor tendrá en cuenta todos y cada uno de los pasos necesarios para su posterior fabricación y puesta en funcionamiento: elección del número de etapas, disposición de los árboles y otros componentes del reductor, dimensionado de los árboles y de los engranajes, selección de materiales y geometría de la carcasa, y cálculo resistente de los componentes que forman el reductor.

Todos los costes del proyecto quedan detallados en el documento *Presupuesto*. Las principales medidas de cada una de las piezas quedan representadas en el documento *Planos*.

RESUM

El present Treball Final de Grau consisteix en el disseny d'un reductor de velocitat amb una relació de transmissió de 14.

Per a això, es van a dissenyar i calcular cadascun dels components del reductor, seguint una sèrie de criteris per a que, en cas de que l'eix d'entrada gire a 1400 rpm, cap d'aquests falle en arribar a un par màxim a l'eixida de 3200 N·m. El procés de disseny del reductor tindrà en compte tots i cadascun dels passos necessaris per a la seua posterior fabricació i posada en funcionament: elecció del número d'etapas, disposició dels arbres i altres components del reductor, dimensionament dels arbres i dels engranatges, selecció de materials i geometria de la carcassa, i càlcul resistent dels components que formen el reductor.

Tots els costos del projecte queden detallats en el document *Pressupost*. Les principals mesures de cadascuna de las peces queden representades en el documento *Plànols*.

ABSTRACT

This Final Degree Project consists of the design of a speed reducer with a speed relation of 14.

The aim of the project is to design and calculate each speed reducer components, following a series of criteria that, if the input shaft rotate at 1400 rpm, none of these fail to achieve a maximum torque of 3200 N·m at the output. The design process of the speed reducer will consider each of the steps necessary for posterior manufacture and operation: choosing the number of stages, layout of shafts and other components of the speed reductor, sized of shafts and gears, selection of materials and geometry of the shell, and resilient calculation of the speed reducer components.

All project costs are detailed in the document *Budget*. The main measures of the pieces are shown in the document *Drawings*.

ÍNDICE GENERAL

Documentos contenidos en el TFG

- Memoria
- Planos
- Presupuesto
- Anejos

DOCUMENTO Nº1. MEMORIA

1. Introducción	1
1.1. Estado de la tecnología	1
1.2. Objeto del proyecto	1
1.3. Requisitos a cumplir	1
2. Cálculo y diseño de los engranajes	2
2.1. Datos de partida	2
2.2. Diseño conceptual	2
2.3. Cálculo del diámetro de los ejes por rigidez torsional	4
2.4. Selección de módulos y cálculo de diámetros de los engranajes	5
2.5. Cálculo del ancho de los engranajes	6
2.6. Diseño de los ejes	8
2.6.1. Diseño de las chavetas	9
2.6.2. Eje de entrada	9
2.6.3. Eje intermedio	11
2.6.4. Eje de salida	13
2.7. Cálculo a fatiga	15
2.7.1. Eje de entrada	16
2.7.2. Eje intermedio	18
2.7.3. Eje de salida	21
2.8. Deflexión lateral	23
2.8.1. Eje de entrada	24

2.8.2. Eje intermedio	25
2.8.3. Eje de salida	27
2.9. Selección de los rodamientos	28
2.9.1. Eje de entrada	29
2.9.2. Eje intermedio	29
2.9.3. Eje de salida	30
2.10. Lubricante	30
2.11. Carcasa del reductor	30

DOCUMENTO N°2. PLANOS

1. Plano de conjunto	1
2. Eje de entrada	2
3. Eje intermedio	3
4. Eje de salida	4
5. Piñón de la primera etapa	5
6. Rueda de la primera etapa	6
7. Piñón de la segunda etapa	7
8. Rueda de la segunda etapa	8
9. Casquillo del eje de entrada	9
10. Casquillos del eje intermedio	10
11. Casquillo del eje de salida	11
12. Tapas del eje de entrada	12
13. Tapas del eje intermedio	13
14. Tapas del eje de salida	14
15. Cara derecha de la carcasa	15
16. Cara izquierda de la carcasa	16

DOCUMENTO N°3. PRESUPUESTO

1. Cubicaciones	1
1.1. Ejes del reductor	1
1.1.1. Eje de entrada	1

1.1.2. Eje intermedio	1
1.1.3. Eje de salida	1
1.2. Engranajes.....	2
1.2.1. Piñón 1ª etapa	2
1.2.2. Rueda 1ª etapa	2
1.2.3. Piñón 2ª etapa	3
1.2.4. Rueda 2ª etapa	3
1.3. Carcasa	3
2. Listado de precios de unidades de obra	4
2.1. Materiales	4
2.2. Procesos mecánicos y tratamientos	5
2.3. Mano de obra	5
3. Cuadro de presupuesto	6
3.1. Cuadro de precios descompuestos	6
3.2. Presupuesto de ejecución material	8
3.3. Presupuesto de ejecución por contrata	8
3.4. Presupuesto base de licitación y precio final	8

DOCUMENTO N°4. ANEJOS

1. Cálculos	1
1.1. Selección de módulos válidos	1
1.1.1. Primera etapa.....	1
1.1.2. Segunda etapa.....	1
1.2. Selección del material	2
1.2.1. Primera etapa.....	2
1.2.2. Segunda etapa.....	5
1.2.3. Módulos finalmente seleccionados	8
1.3. Cálculo del ancho de los engranajes	9
1.3.1. Primera etapa.....	9
1.3.2. Segunda etapa.....	10
1.4. Cálculo de fuerzas	11

1.5. Factores modificadores del límite de fatiga	12
1.6. Cálculo de los rodamientos	14
1.6.1. Factores de corrección de vida.....	14
1.6.2. Cálculo de la fuerza equivalente en rodamientos	16
2. Elementos estandarizados	18
2.1. Chavetas	18
2.2. Arandelas elásticas	18
2.3. Rodamientos	19
3. Materiales utilizados en la fabricación de engranajes	24

DOCUMENTO Nº1

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA
SALIDA DE 3200 Nm**

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Introducción	1
1.1. Estado de la tecnología	1
1.2. Objeto del proyecto	1
1.3. Requisitos a cumplir	1
2. Cálculo y diseño de los engranajes	2
2.1. Datos de partida	2
2.2. Diseño conceptual	2
2.3. Cálculo del diámetro de los ejes por rigidez torsional	4
2.4. Selección de módulos y cálculo de diámetros de los engranajes	5
2.5. Cálculo del ancho de los engranajes	6
2.6. Diseño de los ejes	8
2.6.1. Diseño de las chavetas	9
2.6.2. Eje de entrada	9
2.6.3. Eje intermedio	11
2.6.4. Eje de salida	13
2.7. Cálculo a fatiga	15
2.7.1. Eje de entrada	16
2.7.2. Eje intermedio	18
2.7.3. Eje de salida	21
2.8. Deflexión lateral	23
2.8.1. Eje de entrada	24
2.8.2. Eje intermedio	25
2.8.3. Eje de salida	27
2.9. Selección de los rodamientos	28
2.9.1. Eje de entrada	29
2.9.2. Eje intermedio	29
2.9.3. Eje de salida	30
2.10. Lubricante	30
2.11. Carcasa del reductor	30

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

Las velocidades o pares que se requieren habitualmente en las máquinas no pueden obtenerse directamente de los motores. Los reductores de velocidad se encargan de cubrir esa necesidad latente de adaptar ciertos parámetros de uso de un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) a otros nuevos con el objetivo de que la máquina pueda funcionar de manera correcta en el régimen de uso requerido. Esto es posible a través de un mecanismo que permite transmitir potencia de un componente a otro hasta conseguir unas condiciones de salida deseadas. Aunque la solución empleada en la presente memoria es un reductor formado por engranajes, no es ni mucho menos la única, ya que también pueden utilizarse reductores sin engranajes, como correas o cadenas.

Los reductores formados por engranajes pueden agruparse de la manera siguiente:

- Según el tipo de engranajes:
 - Sin fin-Corona.
 - Planetarios.
 - Cicloidales.
 - Simple de engranajes.
- Según la disposición de los ejes:
 - Paralelos.
 - Ortogonales.
 - Coaxiales.
- Según el sistema de fijación:
 - Fijo.
 - Pendular.

1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es diseñar y calcular paso a paso un reductor de velocidades de 2 o más etapas y engranajes de dientes helicoidales, siguiendo una relación de transmisión dada de manera que cuando el eje de entrada gire a cierta velocidad y se transmita el par máximo especificado en la salida, ninguno de los elementos del reductor falle según el coeficiente de seguridad estimado. El proceso de diseño del reductor tendrá en cuenta cada uno de los pasos necesarios para que sea factible su posterior fabricación y puesta en funcionamiento: elección del número de etapas, disposición de los árboles y otros componentes del reductor, dimensiones de los árboles y geometría de la carcasa, selección de materiales, cálculo resistente de todos los componentes del reductor, y confección de planos y presupuesto del mismo.

1.3. REQUISITOS A CUMPLIR

El reductor de velocidad de la presente memoria deberá perseguir unos objetivos desde su inicio hasta su acabado final de manera que se puedan cumplir ciertos requisitos. Son los siguientes:

- El reductor de velocidad debe ser capaz de transmitir un par torsor máximo de salida igual a 3200 N·m cuando el eje de entrada gire a 1400 rpm.
- Se ha estimado un coeficiente de seguridad de 1,25.
- La relación de transmisión deberá ser de 14, admitiendo un error máximo de $\pm 5\%$.
- Se debe asegurar el correcto funcionamiento del reductor, montando correcta y cuidadosamente cada uno de los elementos del reductor, eliminando posibles vibraciones y evitando cualquier alineación indebida de ejes o engranajes.
- Será necesario garantizar un mantenimiento continuo del reductor, consiguiendo que tanto engranajes como rodamientos estén bajo una buena lubricación y cambiando el aceite cada cierto tiempo según sus características. Cabe recordar también que los rodamientos tienen una vida limitada, y por tanto deberán ser repuestos al final de la misma.
- La carcasa deberá permitir el montaje y desmontaje del reductor, además de disponer de tapones de llenado, vaciado y nivel de aceite para facilitar el mantenimiento del reductor. Se deben evitar la presencia de aristas que puedan comprometer la seguridad en la manipulación.
- Se pretende que la solución final haya logrado unos objetivos de tamaño y coste mínimos.

2. CÁLCULO Y DISEÑO DE LOS ENGRANAJES

2.1. DATOS DE PARTIDA

Los primeros datos a fijar son los siguientes:

- Relación de transmisión: $i=14$
- Par torsor a la salida: $T=3200 \text{ N}\cdot\text{m}$
- Tipo de engranajes: helicoidales
- Velocidad del eje de entrada: $\omega=1400 \text{ rpm}$

2.2. DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa se definen las primeras características de nuestro reductor de velocidades, de manera que podamos tener un diseño conceptual del mismo.

Para empezar, definiremos tanto el número de etapas que necesita nuestro reductor como la relación de transmisión para cada una de éstas. Puesto que en reductores industriales no es conveniente superar relaciones de valor 4 debido a que esto podría desencadenar en ruedas de excesivo volumen, bastarán dos etapas para que esto se cumpla. Por tanto:

$$i_{total} = i_{1^a \text{ etapa}} \cdot i_{2^a \text{ etapa}} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$i_{1^a \text{ etapa}} = i_{2^a \text{ etapa}} = \sqrt{i_{total}} = 3,74 \quad (\text{Ec. 2})$$

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

En nuestro caso, se ha decidido redondear la relación de transmisión de la primera etapa a 3,8 y reducir la de la segunda a 3,68 de manera que se siga cumpliendo una relación de transmisión total igual a 14.

Una vez definidas el N° de etapas, la relación de transmisión de cada una, y sabiendo que la velocidad de giro en el eje de entrada es de 1400 rpm y el par torsor en el eje de salida tiene que ser como máximo de 3200 N·m, se obtienen los siguientes datos característicos de nuestro reductor de velocidades:

Para 2 etapas		
Ejes	ω (rpm)	T (N·m)
Entrada	1400	228,571
Intermedio	368,421	868,571
Salida	100	3200

Tabla 1 – Torsores y velocidades en los ejes

En cuanto a la disposición de los ejes, existe una gran variedad de configuraciones. Se ha decidido escoger la disposición tipo C, de manera que se pueda lograr un diseño lo más compacto posible.

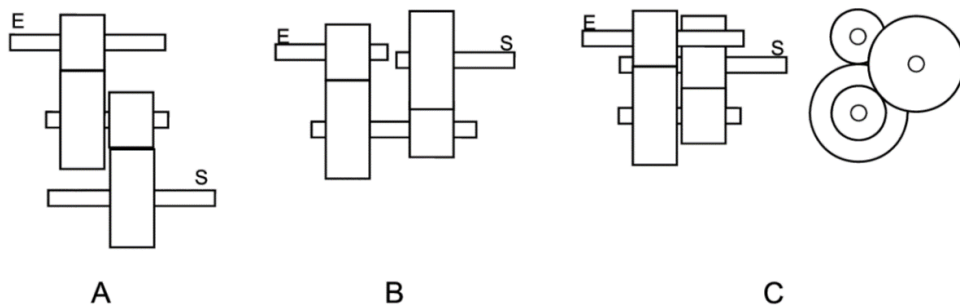


Figura 1 – Tipos de configuración para reductores con 2 etapas

El eje intermedio y el de salida estarán contenidos en un plano desfasado 10° con respecto al plano horizontal, tal y como muestra la siguiente figura:

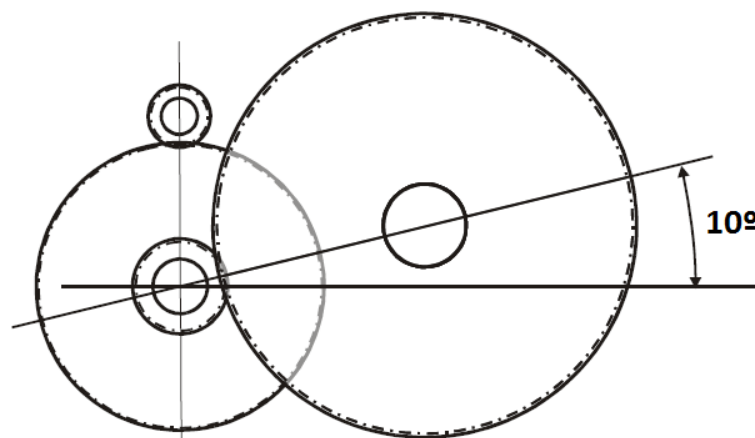


Figura 2 – Disposición del reductor de velocidad

2.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LOS EJES POR RIGIDEZ TORSIONAL.

El dimensionado de los ejes en los tramos en los que éstos están sometidos a esfuerzos de torsión se ha realizado teniendo en cuenta el criterio de rigidez torsional, según se describe en *Diseño y cálculo de un reductor de velocidad*, proporcionado por el *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales*.

Para realizar los cálculos y conseguir limitar la rigidez torsional se ha tomado la ecuación que define el giro producido por un momento torsor T:

$$\theta = \frac{T \cdot L}{J \cdot G} \quad (\text{Ec. 3})$$

Y suponiendo que la sección del eje es circular, se obtiene:

$$\frac{\theta}{L} = \frac{32 \cdot T}{\pi \cdot d^4 \cdot G} \quad (\text{Ec. 4})$$

Una vez obtenida la ecuación anterior, se han seguido dos criterios diferentes para determinar el diámetro necesario que cumpla a rigidez torsional:

- Por un lado, se limita la deflexión torsional a $1,5^\circ/m$.

$$\frac{\theta}{L} = 1,5^\circ/m \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot T}{\pi \cdot \frac{\theta}{L} \cdot G}} \quad (\text{S.I}) (\text{Ec. 5})$$

- Por otro lado, se toma una deformación máxima de 1° para una longitud igual a $L=20 \cdot d$.

$$\frac{\theta}{L} = \frac{1^\circ}{20 \cdot d} \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot T}{8,727 \cdot 10^{-4} \cdot \pi \cdot G}} \quad (\text{S.I}) (\text{Ec. 6})$$

siendo en ambos casos $G = 8,1 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ y el valor del ángulo en radianes (S.I).

Seleccionando el mayor diámetro obtenido de entre los dos criterios que se utilizan, y redondeando su valor al entero inmediatamente superior (en mm), se llega a los siguientes resultados:

Ejes	Diámetro eje (mm)		
	1,5°/m	L=20·D (Para 1°)	Normalizado
Entrada	32,37	32,05	33
Intermedio	45,19	50,02	51
Salida	62,61	77,26	78

Tabla 2 – Diámetros a rigidez torsional

2.4. SELECCIÓN DE MÓDULOS Y CÁLCULO DE DIÁMETROS DE LOS ENGRANAJES.

Una vez fijados los valores de los diámetros para cada uno de los ejes, se ha procedido a seleccionar los distintos módulos válidos para nuestro reductor de velocidades, así como los diámetros de cada engranaje.

Se debe tener en cuenta la diferencia entre el módulo normal m_n y el módulo aparente m_t dado que el presente reductor de velocidades se está diseñando con engranajes de dientes

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

helicoidales. El primero es perpendicular al diente y coincidente con la herramienta de tallado, mientras que el segundo es perpendicular al eje de rotación. Dicho esto, existe una relación entre ambos mediante el ángulo de inclinación del dentado β , que en nuestro caso será de 15° . Esta relación queda definida con la siguiente ecuación:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta} \quad (\text{Ec. 7})$$

Por tanto, se debe obtener qué módulos normales pueden ser utilizados en el reductor de entre los siguientes módulos estandarizados:

m_n	0,5	0,6	0,8	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
-------	-----	-----	-----	---	------	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

Tabla 3 – Módulos normales estandarizados

Para ello, se han tenido en cuenta una serie de consideraciones que son importantes en el diseño del reductor:

- Para el cálculo del diámetro primitivo de los piñones se seguirá la siguiente expresión:

$$d_1 \geq d_{eje} + 2 \cdot h_2 + 6,5 \cdot m_n \quad (\text{Ec. 8})$$

siendo h_2 la profundidad en el cubo del chavetero, que en nuestro caso será de 3,3 mm para la primera etapa y 4,3 mm para la segunda.

- La relación entre el número de dientes z y el diámetro primitivo d se define con la siguiente ecuación:

$$d = m_t \cdot z \quad (\text{Ec. 9})$$

- Se debe tener en cuenta un número de dientes máximo $Z_{max} = 150$ para evitar tener un número excesivo, y uno mínimo para evitar interferencia de generación en el tallado con cremallera de corte siguiendo la siguiente ecuación:

$$Z_{min} = \frac{2 \cdot \cos\beta}{\text{sen}^2\alpha_t} \quad (\text{Ec. 10})$$

siendo α_t el ángulo de presión tangencial, definido con la siguiente expresión:

$$\text{tg}\alpha_t = \frac{\text{tg}\alpha_n}{\cos\beta} \quad (\text{Ec. 11})$$

Una vez considerado lo anteriormente expuesto, se han obtenido los módulos válidos para el diseño de cada etapa de nuestro reductor y sus correspondientes diámetros y número de dientes para piñones y ruedas, siendo los siguientes:

Selección del módulo de la 1ª etapa (i=3,8)					
Módulo normal	Z piñon	D piñon	Z rueda	D rueda	Relación velocidades
1,25	37	47,88	141	182,47	3,81
1,5	32	49,69	123	191,01	3,84
2	25	51,77	96	198,78	3,84
2,5	22	56,94	85	220,00	3,86
3	19	59,01	72	223,63	3,79
4	16	66,26	61	252,61	3,81

Tabla 4 – Módulos válidos para la primera etapa (Diámetros en mm)

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

Selección del módulo de la 2ª etapa (i=3,684)					
Módulo normal	Z piñón	D piñón	Z rueda	D rueda	Relación velocidades
2	36	74,54	133	275,39	3,69
2,5	30	77,65	111	287,30	3,70
3	26	80,75	97	301,27	3,73
4	21	86,97	78	323,01	3,71
5	18	93,18	67	346,83	3,72
6	16	99,39	59	366,50	3,69

Tabla 5 – Módulos válidos para la segunda etapa (Diámetros en mm)

2.5. CÁLCULO DEL ANCHO DE LOS ENGRANAJES.

Para calcular el ancho de los engranajes, se pretende que el coeficiente de seguridad a flexión sea superior al coeficiente de seguridad por fallo superficial, ya que un fallo por flexión tendría graves consecuencias mientras que el fallo superficial es progresivo y provocaría ruido y vibraciones que pueden detectarse antes de suponer un serio problema.

Tomando un coeficiente de seguridad de 1.25, se debe cumplir por tanto:

$$X_F \geq X_H \geq 1.25 \quad (\text{Ec. 12})$$

De manera análoga, también se debe garantizar que:

$$b = b_H \geq b_F \quad (\text{Ec. 13})$$

Los cálculos de esta etapa del diseño se han realizado mediante un proceso iterativo, consiguiendo como resultado final el ancho necesario para cumplir con las anteriores restricciones. Como criterio complementario, se ha llevado a cabo un proceso de análisis de los distintos materiales disponibles para la fabricación de engranajes una vez calculados los módulos válidos, y obteniendo los anchos necesarios para cada uno de ellos. Para ello, se han introducido en la hoja de cálculo proporcionada por el DIMM los valores máximos y mínimos de Dureza superficial y Tensión de fluencia, de manera que se ha analizado a fondo la influencia de estos parámetros (dentro de estos límites máximos y mínimos) en el cálculo del ancho para cada uno de los materiales, obteniendo como resultado aquellos que permiten cumplir con los requisitos establecidos inicialmente. En el Anejo de cálculos se han adjuntado cada una de las iteraciones realizadas, con sus correspondientes datos a introducir (en rojo) y sus resultados posteriores.

Una vez obtenidos los resultados, y teniendo en cuenta que se consideran resultados válidos los que cumplen que $b_H \leq 2 \cdot d_1$, se ha caracterizado la tabla de la siguiente manera:

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

		bH para los módulos válidos (1ª etapa)					
		2,5		3		4	
Nº	Material de los engranajes	Dureza Sup. Max	Dureza Sup. Min	Dureza Sup. Max	Dureza Sup. Min	Dureza Sup. Max	Dureza Sup. Min
3	F. nodular	x	x	x	x	70	x
7	Ac. aleado templado y revenido	67	x	60	x	44	104
9	Ac. aleado moldeado templado	x	x	90	x	56	x
11	Ac. endurec a la llama o inducción	x	x	x	x	25	27
12	Ac. de nitruració	x	x	x	x	24	24
13	Ac. de nitrocarburação	51	x	46	105	36	53

Tabla 6 – Análisis de los materiales para la primera etapa (Ancho en mm)

		bH para los módulos válidos (2ª etapa)					
		4		5		6	
Nº	Material de los engranajes	Dureza Sup. Max	Dureza Sup. Min	Dureza Sup. Max	Dureza Sup. Min	Dureza Sup. Max	Dureza Sup. Min
3	F. nodular	x	x	x	x	127	x
7	Ac. aleado templado y revenido	115	x	90	x	75	x
9	Ac. aleado moldeado templado	x	x	128	x	101	x
11	Ac. endurec a la llama o inducción	x	61	49	53	44	48
12	Ac. de nitruració	51	49	46	45	42	41
13	Ac. de nitrocarburação	94	x	73	135	63	97

Tabla 7 – Análisis de los materiales para la segunda etapa (Ancho en mm)

- Las celdas en color gris muestran valores de ancho (en mm) que no han convergido totalmente, es decir, que no se han realizado las suficientes iteraciones como para llegar a un valor de ancho válido para el cálculo.
- Las celdas en verde muestran valores de ancho (en mm) que, teniendo en cuenta el diámetro del piñón, no cumplen la relación $b_H > 0,5 \cdot d_1$. Esto significa que los materiales tienen más resistencia de la requerida y por tanto se podría optar por seleccionar un material menos resistente o aumentar el valor del ancho b_H .
- Las celdas en amarillo muestran valores de ancho (en mm) totalmente válidos, cumpliendo tanto la relación $b_H > 0,5 \cdot d_1$ como la relación $b_H < 2 \cdot d_1$.

Además de ser necesario escoger tanto un módulo como un material que permita sin problemas el correcto funcionamiento del engranaje y nos proporcione un ancho no demasiado grande, se ha tenido en cuenta también que el material seleccionado sea lo más económico posible sin comprometer la seguridad del reductor. No hay que olvidar tampoco que todos los engranajes se deben fabricar con el mismo material para que ninguno de ellos sufra un desgaste excesivamente superior a los demás por el hecho de tener una dureza inferior. De esta manera se garantiza que todos los engranajes tengan una vida similar.

La siguiente tabla nos muestra los precios de algunos de los materiales con los que se ha estado trabajando, observando que a medida que se utilizan más aditivos o se realizan más tratamientos el precio va aumentando:

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Material	Densidad (kg/m ³)		Precio (€/kg)		Precio (€/m ³)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Fundición gris	7050	7250	0,337	0,374	2375,85	2711,5
Fundición nodular	7050	7250	0,404	0,449	2848,2	3255,25
Acero ordinario	7800	7900	0,389	0,434	3034,2	3428,6
Acero de baja aleación	7800	7900	0,419	0,464	3268,2	3665,6
A. aleado templado y revenido	7740	7820	0,931	1,03	7205,94	8054,6

Tabla 8 – Precios de obtención de los materiales

Finalmente, se ha escogido como material Acero aleado templado y revenido, y módulos 3 (1ª etapa) y 5 (2ª etapa):

Tabla de materiales				Límite de Fluencia		Dureza Superficial
Material de los engranajes	E (N/mm ²)	ν	Denominación	Su (N/mm ²)	Sy (N/mm ²)	HV
Ac. aleado templado y revenido	206000	0,3	20NiCrMoS2-2	850	580	HV267
			20MnCr5	980	735	HV317
			34CrMo4	1000-1200	800	HV326
			42CrMo5	1100-1300	950	HV337
			34NiCrMo16	1230-1420	1030	HV368

Tabla 9 – Tipos de acero aleado templado y revenido

Como para valores mínimos de dureza el cálculo del ancho podría no cumplir, comprobamos cada uno de los 5 tipos de este material, obteniendo los siguientes resultados:

Material	Límite de Fluencia		Dureza Superficial	Ancho (1ª etapa)	Ancho (2ª etapa)
	Su (N/mm ²)	Sy (N/mm ²)	HV	bH (mm)	bH (mm)
20NiCrMoS2-2	850	580	HV 267	x	159
20MnCr5	980	735	HV 317	75	111
34CrMo4	1000-1200	800	HV 326	71	106
42CrMo5	1100-1300	950	HV 337	67	100
34NiCrMo16	1230-1420	1030	HV 368	58	95

Tabla 10 – Valores de ancho calculados y solución final

Se llega por tanto a la siguiente solución óptima con los criterios establecidos:

- Acero aleado templado y revenido (42CrMo5).
- Límites de fluencia: S_u entre 1100 y 1300 N/mm^2 y S_y igual a 950 N/mm^2 .
- Dureza superficial: HV 337.
- Ancho de engranaje de la 1ª etapa: 67 mm.
- Ancho de engranaje de la 2ª etapa: 100 mm.

2.6. DISEÑO DE LOS EJES.

Una vez dimensionados los ejes por el criterio de rigidez torsional, se deben diseñar los mismos para que cumplan también a fatiga y a deflexión lateral. Se pretende que los ejes sean lo más cortos posible, teniendo en cuenta cada uno de los elementos que serán montados en el eje (engranajes, casquillos, arandelas, rodamientos, etc.).

También se deben tener en cuenta los radios de acuerdo de las distintas secciones en las que pueda haber algún elemento apoyado, como por ejemplo rodamientos. De esta manera se ha de asegurar que el radio de acuerdo de los rodamientos sea superior al del cambio de sección, únicamente cuando se apoye en ésta.

En los ejes de entrada y de salida se transmite par torsor desde la entrada hasta el engranaje o desde el engranaje hasta la salida respectivamente, por lo que los correspondientes tramos de eje deben tener al menos el diámetro necesario a rigidez torsional, sobresalir de la caja y tener un chavetero en el extremo exterior igual al chavetero que cada eje tiene en su engranaje.

Por último, no se puede pasar por alto que la unión de los engranajes mediante chaveta, los cambios de sección y las ranuras sobre las que van montadas arandelas elásticas actúan como concentrador de tensiones y se deberá estudiar su comportamiento a fatiga.

2.6.1. Diseño de las chavetas.

Las chavetas son los componentes de unión a torsión entre los engranajes y sus ejes. Su longitud se ha calculado siguiendo la norma UNE 17102-1:1967, y multiplicando el diámetro del eje por 1,25 de manera que se garantice que no falla por aplastamiento o cizalladura. En algunos casos, la longitud de la chaveta supera el valor de la anchura de los engranajes, por lo que en estos casos se ha procedido a aumentar el ancho del engranaje en la zona de unión con el eje.

Las características de cada una de las chavetas quedan definidas en la siguiente tabla:

	1ª Etapa		2ª Etapa	
	Piñón	Rueda	Piñón	Rueda
Diámetro eje (mm)	33	51	51	78
Anchura chaveta (mm)	10	16	16	22
Altura chaveta (mm)	8	10	10	14
Profundidad en el eje (mm)	5	6	6	9
Longitud chaveta (mm)	41,25	63,75	63,75	97,5

Tabla 11 – Longitud de las chavetas

2.6.2. Eje de entrada.

Siguiendo lo expuesto en el apartado 2.6, el diseño del eje de entrada se ha planteado de manera que las secciones más críticas quedan representadas en la siguiente figura:

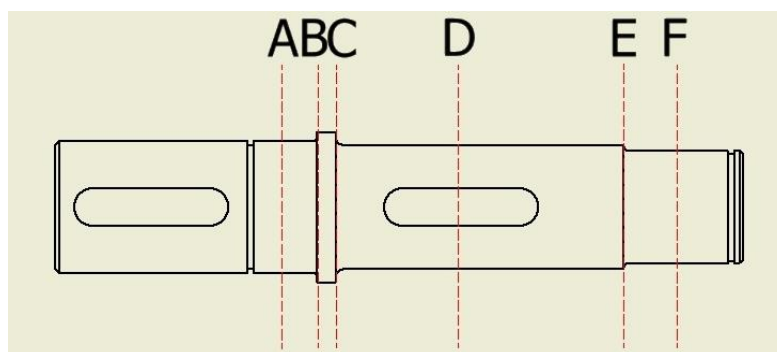


Figura 3 – Secciones críticas del eje de entrada

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Las mismas quedan repartidas a lo largo del eje X siguiendo las cotas que muestra la tabla siguiente, siendo la sección A el origen del mismo:

Secciones	A	B	C	D	E	F
X (m)	0,0000	0,0115	0,0165	0,0500	0,0905	0,1070

Tabla 12 – Posición de las secciones críticas del eje de entrada

Teniendo en cuenta el sentido de giro del piñón del eje de entrada, que Ra y Rb son las reacciones en A y F respectivamente, y la sección D (coloreada en rojo en la tabla anterior) la correspondiente al piñón de la primera etapa, y por tanto, donde se aplican las fuerzas en el eje, tanto éstas como los distintos momentos quedan representados en las siguientes figuras según el plano en el que actúan:

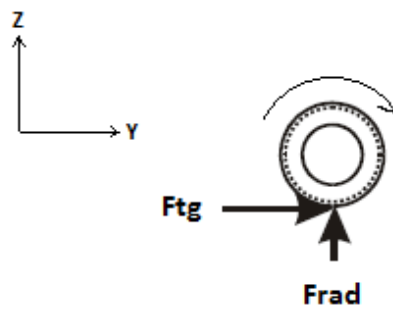
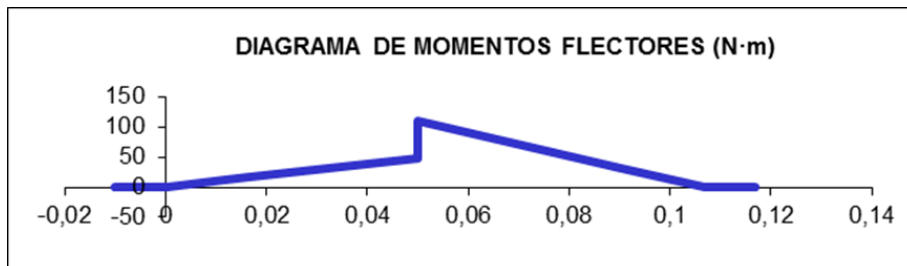
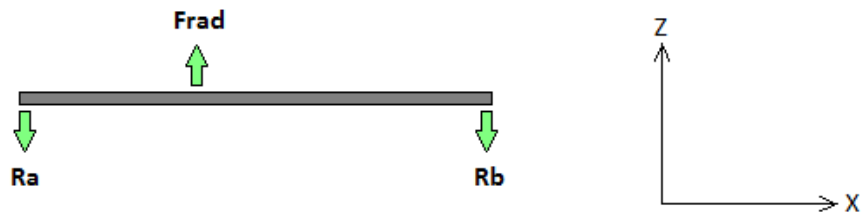


Figura 4 – Sentido de giro y fuerzas en el engranaje del eje de entrada

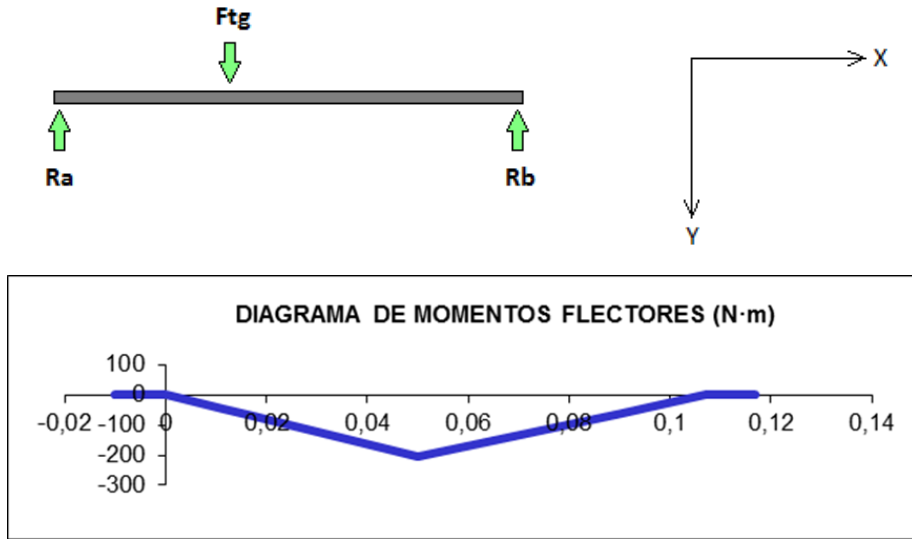
PLANO VERTICAL:



Secciones	A	B	C	D	E	F
M max (N·m)	0,00	11,22	16,09	109,55	31,71	0,00

Tabla 13 – Flectores en las secciones críticas del eje de entrada (P. Vertical)

PLANO HORIZONTAL:



Secciones	A	B	C	D	E	F
M max (N·m)	0,00	-47,10	-67,58	-204,79	-59,28	0,00

Tabla 14 – Flectores en las secciones críticas del eje de entrada (P. Horizontal)

2.6.3. Eje intermedio.

El diseño del eje intermedio queda definido con las siguientes secciones críticas:

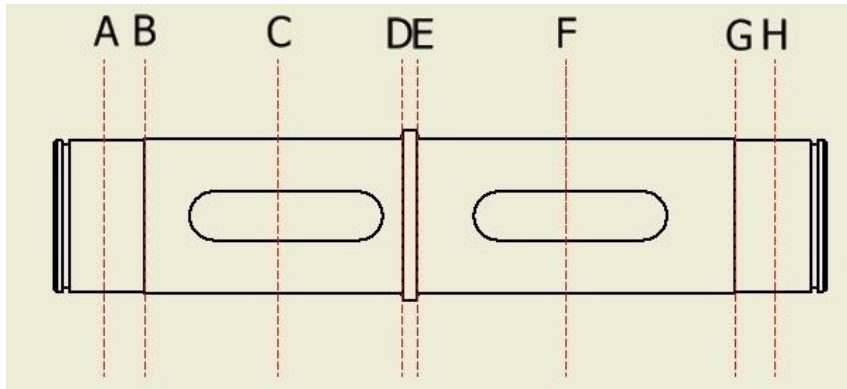


Figura 5 – Secciones críticas del eje intermedio

Sus posiciones a lo largo del eje X quedan representadas en siguiente la tabla, siendo la sección A el origen del mismo:

Secciones	A	B	C	D	E	F	G	H
X (m)	0,0000	0,0160	0,0625	0,0960	0,1010	0,1510	0,207	0,227

Tabla 15 – Posición de las secciones críticas del eje intermedio

Teniendo en cuenta el sentido de giro de la rueda de la primera etapa y el piñón de la segunda en el eje intermedio, que Ra y Rb son las reacciones en A y H respectivamente, y las secciones C y F (coloreadas en rojo en la tabla anterior) las correspondientes a los engranajes, y por tanto, donde se

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

aplican las fuerzas en el eje, tanto éstas como los momentos quedan representados en las siguientes figuras según el plano en el que actúan:

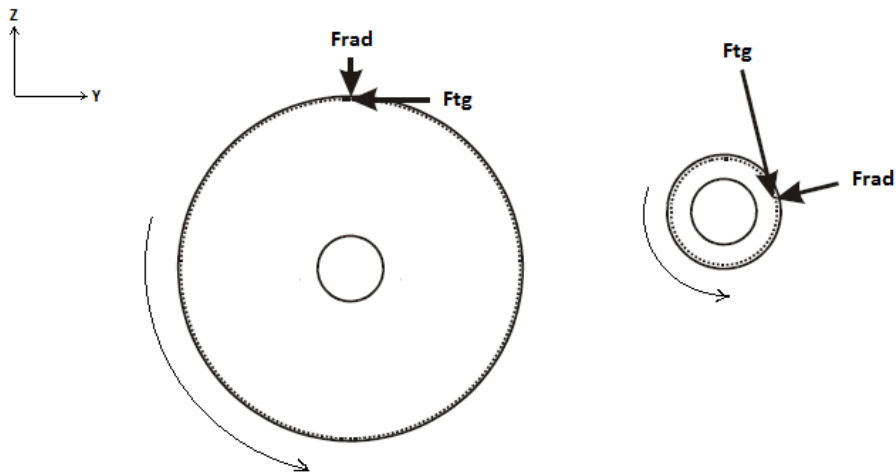
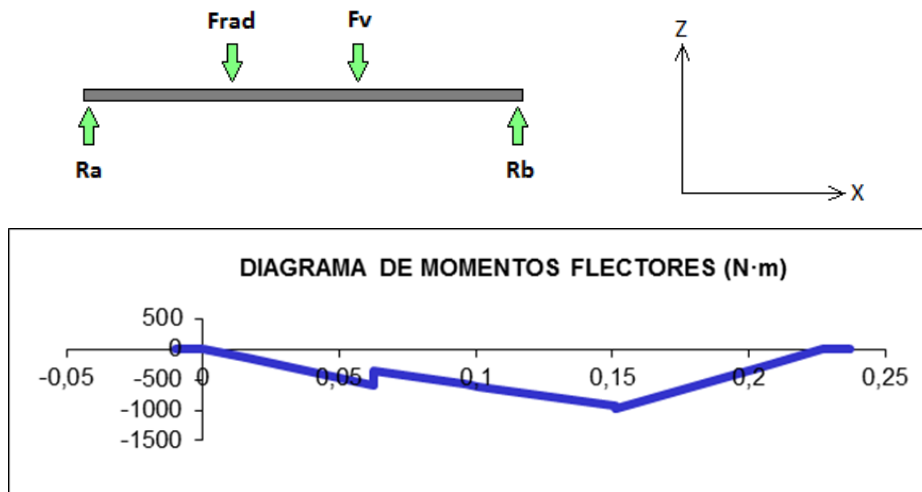


Figura 6 – Sentido de giro y fuerzas en los engranajes del eje intermedio

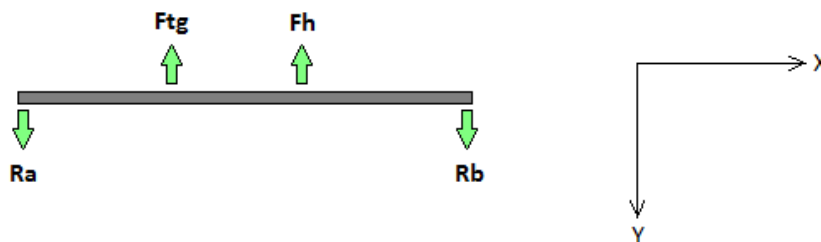
PLANO VERTICAL:



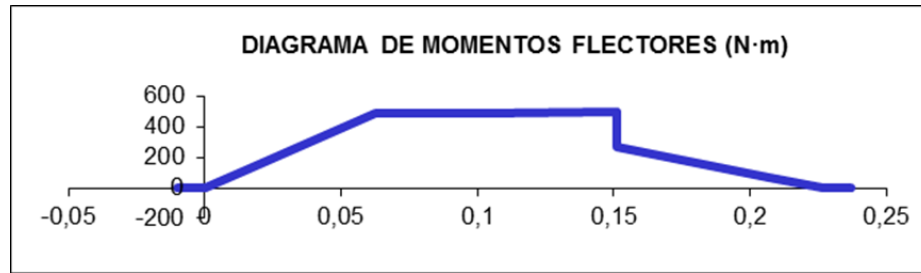
Secciones	A	B	C	D	E	F	G	H
M max (N·m)	0,00	-150,83	-589,16	-577,54	-610,19	-976,65	-257,01	0,00

Tabla 16 – Flectores en las secciones críticas del eje intermedio (P. Vertical)

PLANO HORIZONTAL:



DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm



Secciones	A	B	C	D	E	F	G	H
M max (N·m)	0,00	124,66	486,94	490,36	490,87	495,98	70,82	0,00

Tabla 17 – Flectores en las secciones críticas del eje intermedio (P. Horizontal)

2.6.4. Eje de salida.

Repitiendo y siguiendo las mismas pautas que en los dos ejes anteriores, el diseño y las secciones críticas del eje de salida quedan representadas de la siguiente manera:

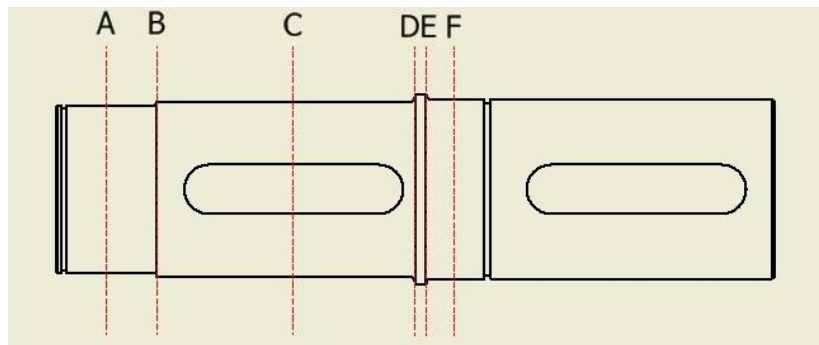


Figura 7 – Secciones críticas del eje de salida

El posicionamiento de las secciones críticas en el eje X se indica en la tabla siguiente, siendo la sección A el origen del mismo:

Secciones	A	B	C	D	E	F
X (m)	0,0000	0,0125	0,0725	0,1225	0,1275	0,1470

Tabla 18 – Posición de las secciones críticas del eje de salida

Teniendo en cuenta el sentido de giro de la rueda de la segunda etapa, que Ra y Rb son las reacciones en A y F respectivamente, y la sección C (coloreada en rojo en la tabla anterior) la que corresponde con la rueda, y por tanto, donde se aplican las fuerzas en el eje, tanto éstas como los momentos quedan representados en las siguientes figuras según el plano en el que actúan:

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

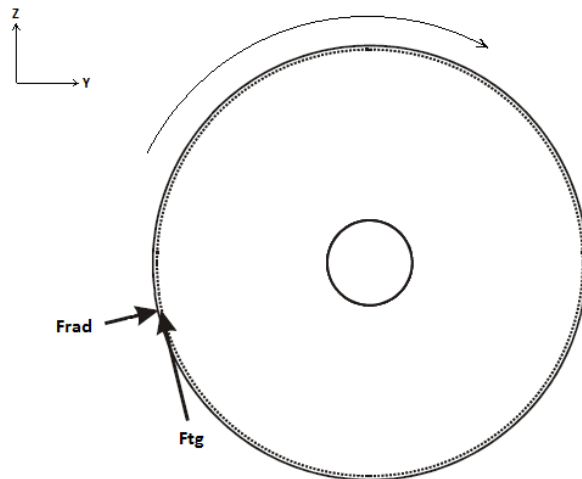
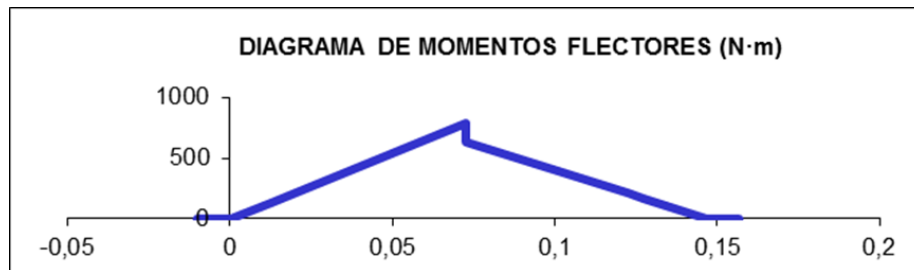
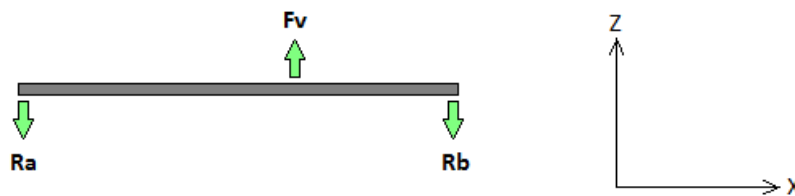


Figura 8 – Sentido de giro y fuerzas en el engranaje del eje de salida

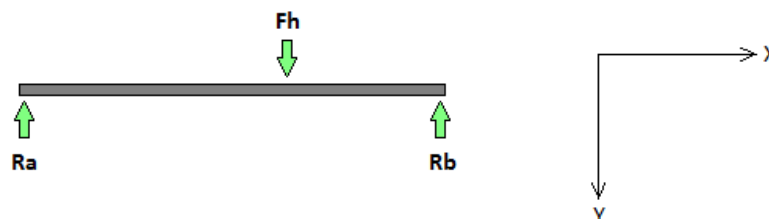
PLANO VERTICAL:

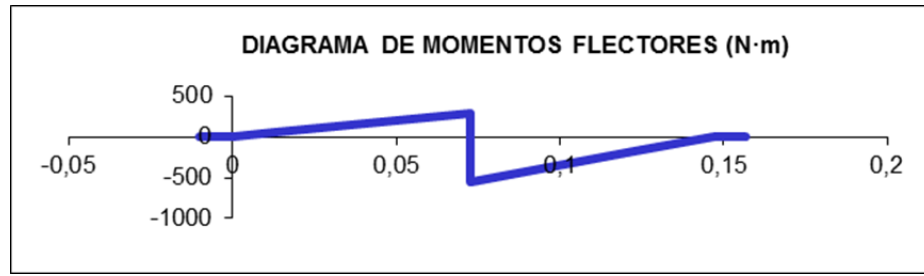


Secciones	A	B	C	D	E	F
M max (N·m)	0,00	135,43	785,52	209,36	166,63	0,00

Tabla 19 – Flectores en las secciones críticas del eje de salida (P. Vertical)

PLANO HORIZONTAL:





Secciones	A	B	C	D	E	F
M max (N·m)	0,00	48,72	-561,82	-184,76	-147,05	0,00

Tabla 20 – Flectores en las secciones críticas del eje de salida (P. Horizontal)

2.7. CÁLCULO A FATIGA.

Para el cálculo a fatiga se han comprobado cada una de las secciones críticas de cada uno de los ejes del reductor, tal y como se indica tanto en *Apuntes de Tecnología de Máquinas 2015* como en *Diseño y cálculo de un reductor de velocidad*, ambos proporcionado por el *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales*. Se deben diferenciar en dos grupos:

- En las secciones que están bajo la acción de par torsor se debe comprobar que el coeficiente de seguridad a fatiga sea superior al fijado, o de manera análoga, que el diámetro a fatiga no supere en ningún caso el diámetro calculado anteriormente para el criterio de rigidez torsional.
- En las secciones que no estén sometidas a par torsor habrá que fijar el valor mínimo de diámetro para que el eje no falle a fatiga.

El estudio a fatiga se realiza para vida infinita mediante el criterio de máxima tensión tangencial combinado con el criterio de Soderberg, siguiendo la siguiente ecuación:

$$d^3 = \frac{32 \cdot X}{\pi \cdot S_y} \sqrt{\left(M_n + \frac{S_y}{S_e} \cdot M_a\right)^2 + \left(T_m + \frac{S_{sy}}{S_{se}}\right)^2} \quad (\text{Ec. 14})$$

Teniendo en cuenta que no aparece momento flector medio ni momento torsor alternante en ninguna de las secciones, la ecuación se simplifica quedando de la manera siguiente:

$$d^3 = \frac{32 \cdot X}{\pi \cdot S_y} \sqrt{\left(\frac{S_y}{S_e} \cdot M_a\right)^2 + (T_m)^2} \quad (\text{Ec. 15})$$

Siendo:

- d: diámetro mínimo para que el eje no falle a fatiga.
- X: coeficiente de seguridad.
- Ma: momento flector alternante en la sección.
- Tm: momento torsor medio en la sección.
- Sy: límite elástico del material.
- Se: límite de fatiga

El límite de fatiga queda definido mediante la ecuación:

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN C:

	Su (MPa)	Sy (Mpa)	Dureza (HB)	S'e	X		Momentos PV (N·m)
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5		-589,16
							Momentos PH (N·m)
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,844121797		486,94
Factor a =	4,51	Mpa			1,736249736		Momento total (N·m)
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,733099168		764,3403294
					1,733003423		
Kc =	1	Flexión			1,73300051		
					1,733000422		
Kd =	1,01	T = 50 Cº			1,733000419		
					1,733000419		
Ke =	0,841				1,733000419		
Confiabilidad =	0,97				1,733000419		
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	D (m)	Kf	Se	d final	
764,3403294	859,70	0,025	0,051	2	251,273351	0,043913	
764,3403294	859,70	0,043912553	0,051	2	236,5750951	0,044664	
764,3403294	859,70	0,044664292	0,051	2	236,14581	0,044687	
764,3403294	859,70	0,044687359	0,051	2	236,1327642	0,044688	
764,3403294	859,70	0,044688061	0,051	2	236,1323673	0,044688	
764,3403294	859,70	0,044688082	0,051	2	236,1323552	0,044688	
764,3403294	859,70	0,044688083	0,051	2	236,1323549	0,044688	
764,3403294	859,70	0,044688083	0,051	2	236,1323549	0,044688	
764,3403294	859,70	0,044688083	0,051	2	236,1323549	0,044688	
764,3403294	859,70	0,044688083	0,051	2	236,1323549	0,044688	
					Diámetro final (mm)	44,69	
					Cumple	≤ 51 mm	

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN D:

	Su (MPa)	Sy (Mpa)	Dureza (HB)	S'e	X		Momentos PV (N·m)			
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5		-577,538402			
							Momentos PH (N·m)			
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,7789		490,3589844			
Factor a =	4,51	Mpa			1,7435		Momento total (N·m)			
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,7422		757,6295528			
					1,7422					
Kc =	1	Flexión			1,7422					
					1,7422					
Kd =	1,01	T = 50 Cº			1,7422					
					1,7422					
Ke =	0,841				1,7422					
Confiabilidad =	0,97				1,7422					
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	r (m)	D (m)	r/d	D/d	Kt	Kf	Se	d final
757,6295528	0,00	0,035	0,002	0,055	0,0571	1,571429	1,95	1,894501212	255,8856	0,042245818
757,6295528	0,00	0,042245818	0,002	0,055	0,0473	1,301904	1,95	1,894501212	250,7854	0,042530281
757,6295528	0,00	0,042530281	0,002	0,055	0,047	1,293196	1,95	1,894501212	250,6054	0,042540462
757,6295528	0,00	0,042540462	0,002	0,055	0,047	1,292887	1,95	1,894501212	250,599	0,042540825
757,6295528	0,00	0,042540825	0,002	0,055	0,047	1,292876	1,95	1,894501212	250,5987	0,042540838
757,6295528	0,00	0,042540838	0,002	0,055	0,047	1,292875	1,95	1,894501212	250,5987	0,042540839
757,6295528	0,00	0,042540839	0,002	0,055	0,047	1,292875	1,95	1,894501212	250,5987	0,042540839
757,6295528	0,00	0,042540839	0,002	0,055	0,047	1,292875	1,95	1,894501212	250,5987	0,042540839
757,6295528	0,00	0,042540839	0,002	0,055	0,047	1,292875	1,95	1,894501212	250,5987	0,042540839
757,6295528	0,00	0,042540839	0,002	0,055	0,047	1,292875	1,95	1,894501212	250,5987	0,042540839
								Diámetro final (mm)		42,54
								Cumple		≤ 51 mm

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN G:

	Su (MPa)	Sy (MPa)	Dureza (HB)	S'e	X			Momentos PV (N·m)		
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5			-257,0144509		
								Momentos PH (N·m)		
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,7123			70,82199871		
Factor a =	4,51	Mpa			1,804			Momento total (N·m)		
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,8008			266,5936674		
					1,8007					
Kc =	1	Flexión			1,8007		α =	0,124088794	mm	Su ≥ 550 Mpa
					1,8007		ρ =	0,3	mm	
Kd =	1,01	T = 50 Cº			1,8007		q =	0,707399026	Adim.	
					1,8007					
Ke =	0,841				1,8007					
Confiabilidad =	0,97				1,8007					
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	r (m)	D (m)	r/d	D/d	Kt	Kf	Se	d final
266,5936674	0,00	0,05	0,0003	0,033	0,006	0,66	2,4	1,990358637	234,4417	0,030708011
266,5936674	0,00	0,030708011	0,0003	0,033	0,0098	1,074638	2,7	2,202578345	223,1972	0,031215269
266,5936674	0,00	0,031215269	0,0003	0,033	0,0096	1,057175	2,7	2,202578345	222,8062	0,031233515
266,5936674	0,00	0,031233515	0,0003	0,033	0,0096	1,056557	2,7	2,202578345	222,7923	0,031234166
266,5936674	0,00	0,031234166	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,031234189
266,5936674	0,00	0,031234189	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,03123419
266,5936674	0,00	0,03123419	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,03123419
266,5936674	0,00	0,03123419	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,03123419
266,5936674	0,00	0,03123419	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,03123419
266,5936674	0,00	0,03123419	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,03123419
266,5936674	0,00	0,03123419	0,0003	0,033	0,0096	1,056535	2,7	2,202578345	222,7918	0,03123419
									Diámetro final (mm)	31,23
									Cumple	≤ 50 mm

2.7.3. Eje de salida.

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN B:

	Su (MPa)	Sy (MPa)	Dureza (HB)	S'e	X			Momentos PV (N·m)		
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5			135,4344948		
								Momentos PH (N·m)		
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,8441			48,7231934		
Factor a =	4,51	Mpa			1,836			Momento total (N·m)		
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,837			143,9321088		
					1,837					
Kc =	1	Flexión			1,837		α =	0,124088794	mm	Su ≥ 550 Mpa
					1,837		ρ =	1	mm	
Kd =	1,01	T = 50 Cº			1,837		q =	0,889609438	Adim.	
					1,837					
Ke =	0,841				1,837					
Confiabilidad =	0,97				1,837					
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	r (m)	D (m)	r/d	D/d	Kt	Kf	Se	d final
143,9321088	0,00	0,025	0,001	0,078	0,04	3,12	2,6	2,4233751	207,3747	0,026048377
143,9321088	0,00	0,026048377	0,001	0,078	0,0384	2,994428	2,55	2,378894628	210,3257	0,02592598
143,9321088	0,00	0,02592598	0,001	0,078	0,0386	3,008565	2,55	2,378894628	210,4317	0,025921625
143,9321088	0,00	0,025921625	0,001	0,078	0,0386	3,009071	2,55	2,378894628	210,4355	0,02592147
143,9321088	0,00	0,02592147	0,001	0,078	0,0386	3,009089	2,55	2,378894628	210,4356	0,025921464
143,9321088	0,00	0,025921464	0,001	0,078	0,0386	3,009089	2,55	2,378894628	210,4356	0,025921464
143,9321088	0,00	0,025921464	0,001	0,078	0,0386	3,009089	2,55	2,378894628	210,4356	0,025921464
143,9321088	0,00	0,025921464	0,001	0,078	0,0386	3,009089	2,55	2,378894628	210,4356	0,025921464
143,9321088	0,00	0,025921464	0,001	0,078	0,0386	3,009089	2,55	2,378894628	210,4356	0,025921464
143,9321088	0,00	0,025921464	0,001	0,078	0,0386	3,009089	2,55	2,378894628	210,4356	0,025921464
									Diámetro final (mm)	25,92
									Cumple	≤ 75 mm

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN C:

	Su (MPa)	Sy (Mpa)	Dureza (HB)	S'e	X		Momentos PV (N·m)
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5		785,5200699
							Momentos PH (N·m)
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,694924565		-561,8164819
Factor a =	4,51	Mpa			1,695066463		Momento total (N·m)
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,695068546		965,7533534
					1,695068576		
Kc =	1	Flexión			1,695068577		
					1,695068577		
Kd =	1,01	T = 50 Cº			1,695068577		
					1,695068577		
Ke =	0,841				1,695068577		
Confiabilidad =	0,97				1,695068577		
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	D (m)	Kf	Se	d final	
965,7533534	3200,00	0,055	0,078	2	230,9442771	0,054957	
965,7533534	3200,00	0,054956986	0,078	2	230,9636115	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956354	0,078	2	230,9638953	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
965,7533534	3200,00	0,054956345	0,078	2	230,9638995	0,054956	
					Diámetro final (mm)	54,96	
					Cumple	≤ 78 mm	

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN D:

	Su (MPa)	Sy (Mpa)	Dureza (HB)	S'e	X		Momentos PV (N·m)			
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5		209,3607419			
							Momentos PH (N·m)			
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,8441		-184,7584404			
Factor a =	4,51	Mpa			1,8106		Momento total (N·m)			
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,8128		279,2267923			
					1,8129					
Kc =	1	Flexión			1,8129					
					1,8129					
Kd =	1,01	T = 50 Cº			1,8129					
					1,8129					
Ke =	0,841				1,8129					
Confiabilidad =	0,97				1,8129					
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	r (m)	D (m)	r/d	D/d	Kt	Kf	Se	d final
279,2267923	0,00	0,025	0,002	0,085	0,08	3,4	1,9	1,847422201	272,0259	0,029677614
279,2267923	0,00	0,029677614	0,002	0,085	0,0674	2,864112	1,8	1,753264178	281,4225	0,029343561
279,2267923	0,00	0,029343561	0,002	0,085	0,0682	2,896717	1,8	1,753264178	281,7635	0,029331716
279,2267923	0,00	0,029331716	0,002	0,085	0,0682	2,897887	1,8	1,753264178	281,7757	0,029331294
279,2267923	0,00	0,029331294	0,002	0,085	0,0682	2,897929	1,8	1,753264178	281,7761	0,029331279
279,2267923	0,00	0,029331279	0,002	0,085	0,0682	2,89793	1,8	1,753264178	281,7762	0,029331278
279,2267923	0,00	0,029331278	0,002	0,085	0,0682	2,89793	1,8	1,753264178	281,7762	0,029331278
279,2267923	0,00	0,029331278	0,002	0,085	0,0682	2,89793	1,8	1,753264178	281,7762	0,029331278
279,2267923	0,00	0,029331278	0,002	0,085	0,0682	2,89793	1,8	1,753264178	281,7762	0,029331278
279,2267923	0,00	0,029331278	0,002	0,085	0,0682	2,89793	1,8	1,753264178	281,7762	0,029331278
								Diámetro final (mm)		29,33
								Cumple		≤ 78 mm

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

CÁLCULO A FATIGA DE LA SECCIÓN E:

	Su (MPa)	Sy (Mpa)	Dureza (HB)	S'e	X			Momentos PV (N·m)			
C45/F-1140	850	640	248	425	2,5			166,6340598			
								Momentos PH (N·m)			
Ka =	0,755	Mecanizado		Kb =	1,8441			-147,0526362			
Factor a =	4,51	Mpa			1,8254			Momento total (N·m)			
Exponente b =	-0,265	Adim.			1,8281			222,2417326			
					1,8282						
Kc =	1	Flexión			1,8282			$\alpha =$	0,124088794	mm	Su \geq 550 Mpa
					1,8282			$\rho =$	2	mm	
Kd =	1,01	T = 50 C°			1,8282			$q =$	0,941580223	Adim.	
					1,8282						
Ke =	0,841				1,8282						
Confiabilidad =	0,97				1,8282						
Flector (Nm)	Torsor (N/m)	d (m)	r (m)	D (m)	r/d	D/d	Kt	Kf	Se	d final	
222,2417326	0,00	0,025	0,002	0,085	0,08	3,4	1,9	1,847422201	272,0259	0,027503322	
222,2417326	0,00	0,027503322	0,002	0,085	0,0727	3,090536	1,8	1,753264178	283,7229	0,027120047	
222,2417326	0,00	0,027120047	0,002	0,085	0,0737	3,134213	1,8	1,753264178	284,1493	0,027106475	
222,2417326	0,00	0,027106475	0,002	0,085	0,0738	3,135782	1,8	1,753264178	284,1645	0,027105992	
222,2417326	0,00	0,027105992	0,002	0,085	0,0738	3,135838	1,8	1,753264178	284,1651	0,027105974	
222,2417326	0,00	0,027105974	0,002	0,085	0,0738	3,13584	1,8	1,753264178	284,1651	0,027105974	
222,2417326	0,00	0,027105974	0,002	0,085	0,0738	3,13584	1,8	1,753264178	284,1651	0,027105974	
222,2417326	0,00	0,027105974	0,002	0,085	0,0738	3,13584	1,8	1,753264178	284,1651	0,027105974	
222,2417326	0,00	0,027105974	0,002	0,085	0,0738	3,13584	1,8	1,753264178	284,1651	0,027105974	
222,2417326	0,00	0,027105974	0,002	0,085	0,0738	3,13584	1,8	1,753264178	284,1651	0,027105974	
									Diámetro final (mm)	27,11	
									Cumple	≤ 80 mm	

2.8. DEFLEXIÓN LATERAL.

Para el cálculo a deflexión lateral de los ejes, se ha seguido el Método del momento de área, descrito en *Diseño en Ingeniería Mecánica* de Shigley y Mischke, ed McGraw-Hill. Se enuncia de la siguiente manera:

“La distancia vertical entre cualquier punto A en una curva de deflexión y una tangente por el punto B en la curva es el momento en relación con A del área del diagrama de momento entre A y B, dividido entre la rigidez.”

Se debe comprobar que no se superan los siguientes límites:

- La separación en ejes con engranajes cilíndricos de dientes rectos ha de ser menor de $0,01 \cdot m_n$.
- La separación en ejes con engranajes de dientes helicoidales ha de ser menor de $0,005 \cdot m_n$.
- La pendiente en engranajes cilíndricos no debe superar los 0,0005 rad.
- La pendiente en rodamientos rígidos de bolas no debe superar los 0,002 rad.
- La pendiente en rodamientos de rodillos cilíndricos no debe superar los 0,001 rad.
- La pendiente en rodamientos de rodillos cónicos no debe superar los 0,0008 rad.

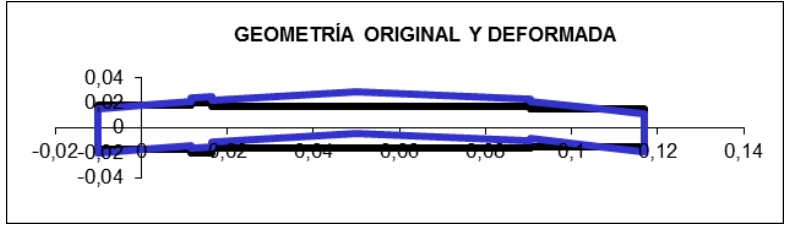
En caso de no cumplir estas restricciones, se debe reducir la distancia entre rodamientos o aumentar el valor del diámetro del eje.

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

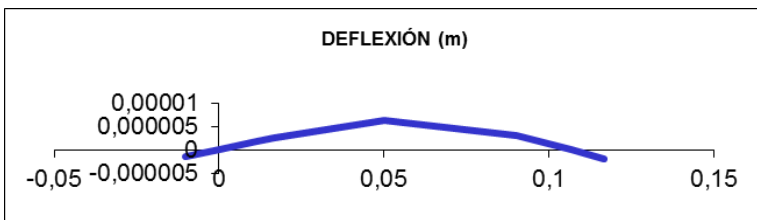
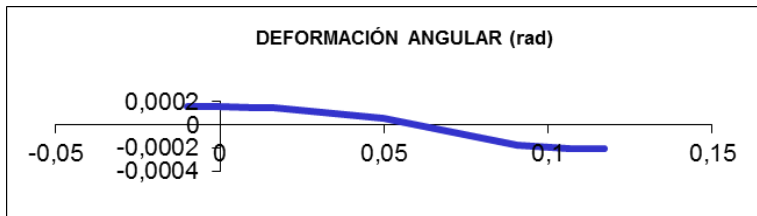
Los cálculos se han llevado a cabo utilizando la hoja de cálculo proporcionada por el DIMM para el cálculo de deformaciones de los ejes. Los resultados se detallan en los siguientes apartados.

2.8.1. Eje de entrada.

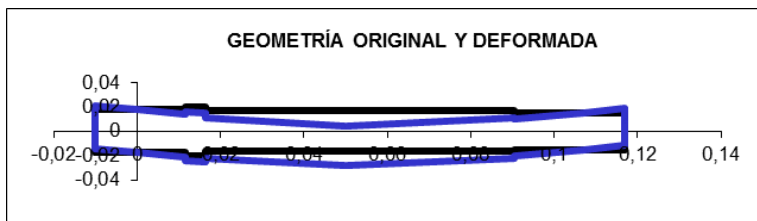
PLANO VERTICAL:



E(N/m²)	2,1000E+11				Instrucc.:	1.- Rellenar las casillas en color verde.		
Factor Def	-1,00	(Negativo => automático)				2.- Pulsar Ctrl+R . Los resultados significativos en rojo		
Num Secciones	8							
Secc Rod A	2				Signos:	Fuerzas y despl positivos hacia arriba		
Secc Rod B	7					Momentos positivos en sentido horario		
		Reacc en A(N)	-975,25					
		Reacc en B(N)	-1921,95					
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 angular (rad)	Deflexión (m)
					anterior (N-m)	posterior (N-m)		
1	-0,01000	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57E-04	-1,567E-06
2	0,00000	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57E-04	0,000E+00
3	0,01150	0,04000	0,00	0,00	11,22	11,22	1,53E-04	1,787E-06
4	0,01650	0,03300	0,00	0,00	16,09	16,09	1,50E-04	2,543E-06
5	0,05000	0,03300	2897,20	-60,79	48,76	109,55	6,11E-05	6,330E-06
6	0,09050	0,03000	0,00	0,00	31,71	31,71	-1,73E-04	3,197E-06
7	0,10700	0,03000	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,04E-04	0,000E+00
8	0,11700	0,03000	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,0002042	-2,042E-06



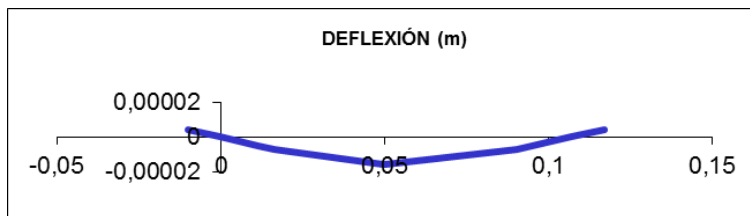
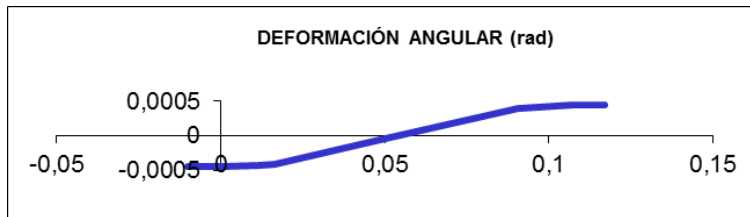
PLANO HORIZONTAL:



DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

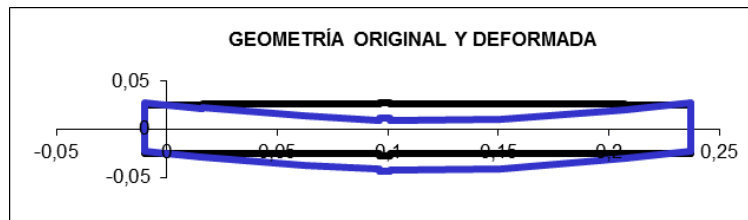
E(N/m²)	2,1000E+11			Instrucc.:	1.- Rellenar las casillas en color verde.				
Factor Def	-1,00	(Negativo => automático)			2.- Pulsar Ctrl+R . Los resultados significativos en rojo				
Num Secciones	8								
Secc Rod A	2		Reacc en A(N)	4095,88	Signos:	Fuerzas y despl positivos hacia arriba			
Secc Rod B	7		Reacc en B(N)	3592,88		Momentos positivos en sentido horario			

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 angular (rad)	Deflexión (m)
					anterior (N-m)	posterior (N-m)		
1	-0,01000	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,45E-04	4,446E-06
2	0,00000	0,03500	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,45E-04	0,000E+00
3	0,01150	0,04000	0,00	0,00	-47,10	-47,10	-4,27E-04	-5,045E-06
4	0,01650	0,03300	0,00	0,00	-67,58	-67,58	-4,16E-04	-7,155E-06
5	0,05000	0,03300	-7688,76	0,00	-204,79	-204,79	-4,30E-05	-1,590E-05
6	0,09050	0,03000	0,00	0,00	-59,28	-59,28	3,94E-04	-7,153E-06
7	0,10700	0,03000	0,00	0,00	0,00	0,00	4,53E-04	0,000E+00
8	0,11700	0,03000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000453011	4,530E-06



2.8.2. Eje intermedio.

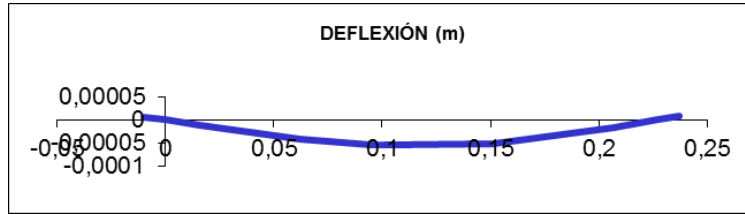
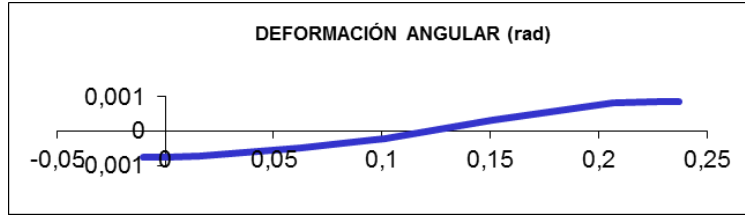
PLANO VERTICAL:



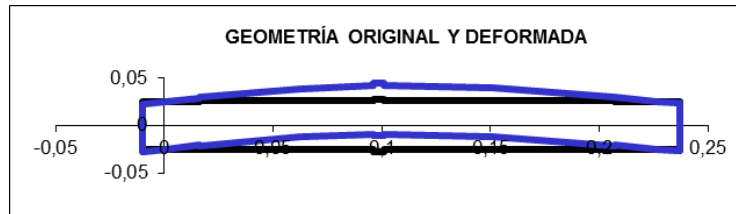
E(N/m²)	2,1000E+11			Instrucc.:	1.- Rellenar las casillas en color verde.				
Factor Def	-1,00	(Negativo => automático)			2.- Pulsar Ctrl+R . Los resultados significativos en rojo				
Num Secciones	10								
Secc Rod A	2		Reacc en A(N)	9426,57	Signos:	Fuerzas y despl positivos hacia arriba			
Secc Rod B	9		Reacc en B(N)	12850,72		Momentos positivos en sentido horario			

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 angular (rad)	Deflexión (m)
					anterior (N-m)	posterior (N-m)		
1	-0,01000	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,41E-04	7,412E-06
2	0,00000	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,41E-04	0,000E+00
3	0,01600	0,05100	0,00	0,00	-150,83	-150,83	-7,22E-04	-1,176E-05
4	0,06250	0,05100	-2897,20	-230,36	-589,16	-358,80	-4,76E-04	-4,075E-05
5	0,09600	0,05500	0,00	0,00	-577,54	-577,54	-2,51E-04	-5,322E-05
6	0,10100	0,05100	0,00	0,00	-610,19	-610,19	-2,19E-04	-5,439E-05
7	0,15100	0,05100	-19380,10	40,00	-936,65	-976,65	3,35E-04	-5,247E-05
8	0,20700	0,05000	0,00	0,00	-257,01	-257,01	0,000830447	-1,714E-05
9	0,22700	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000870339	0,000E+00
10	0,23700	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000870339	8,703E-06

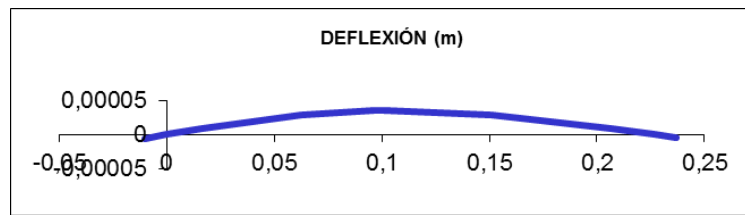
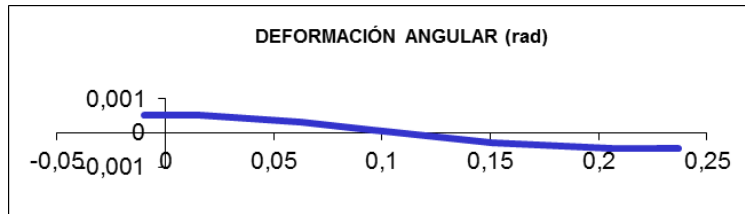
DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm



PLANO HORIZONTAL:



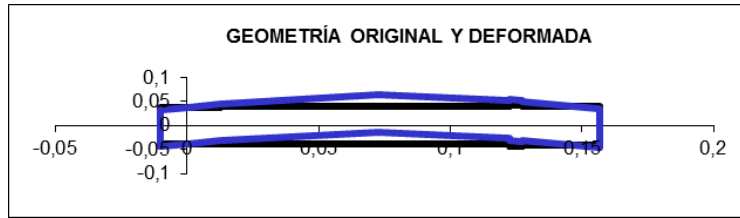
E(N/m²) 2,1000E+11					Instrucc.: 1.- Rellenar las casillas en color verde.			
Factor Def -1,00	(Negativo => automático)				2.- Pulsar Ctrl+R . Los resultados significativos en rojo			
Num Secciones 10								
Secc Rod A 2		Reacc en A(N) -7790,96			Signos: Fuerzas y despl positivos hacia arriba			
Secc Rod B 9		Reacc en B(N) -3541,10			Momentos positivos en sentido horario			
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 angular (rad)	Deflexión (m)
					anterior (N-m)	posterior (N-m)		
1	-0,01000	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	5,37E-04	-5,369E-06
2	0,00000	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	5,37E-04	0,000E+00
3	0,01600	0,05100	0,00	0,00	124,66	124,66	5,21E-04	8,507E-06
4	0,06250	0,05100	7688,76	0,00	486,94	486,94	3,17E-04	2,895E-05
5	0,09600	0,05500	0,00	0,00	490,36	490,36	8,28E-05	3,566E-05
6	0,10100	0,05100	0,00	0,00	490,87	490,87	5,68E-05	3,601E-05
7	0,15100	0,05100	3643,31	226,86	495,98	269,12	-2,97E-04	3,001E-05
8	0,20700	0,05000	0,00	0,00	70,82	70,82	-0,0004335	8,817E-06
9	0,22700	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00044449	0,000E+00
10	0,23700	0,05000	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00044449	-4,445E-06



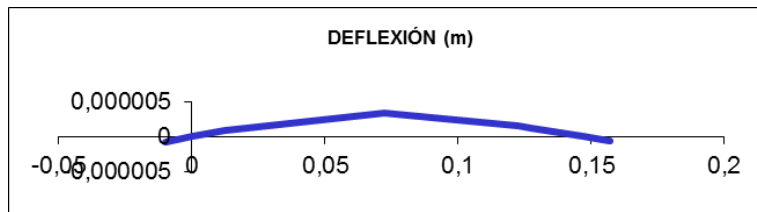
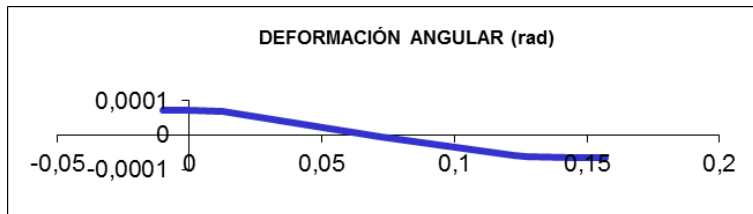
DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

2.8.3. Eje de salida.

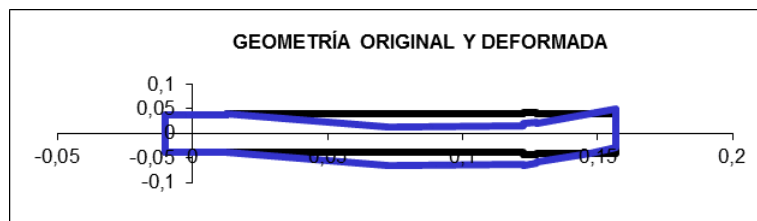
PLANO VERTICAL:



E(N/m²)	2,1000E+11			Instrucc.:	1.- Rellenar las casillas en color verde.			
Factor Def	-1,00	(Negativo => automático)			2.- Pulsar Ctrl+R . Los resultados significativos en rojo			
Num Secciones	8							
Secc Rod A	2		Reacc en A(N)	-10834,76	Signos:	Fuerzas y despl positivos hacia arriba		
Secc Rod B	7		Reacc en B(N)	-8545,34		Momentos positivos en sentido horario		
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 angular (rad)	Deflexión (m)
					anterior (N-m)	posterior (N-m)		
1	-0,01000	0,07500	0,00	0,00	0,00	0,00	7,13E-05	-7,130E-07
2	0,00000	0,07500	0,00	0,00	0,00	0,00	7,13E-05	0,000E+00
3	0,01250	0,07800	0,00	0,00	135,43	135,43	6,87E-05	8,804E-07
4	0,07250	0,07800	19380,10	148,89	785,52	636,63	-3,70E-06	3,342E-06
5	0,12250	0,08500	0,00	0,00	209,36	209,36	-5,91E-05	1,537E-06
6	0,12750	0,08000	0,00	0,00	166,63	166,63	-6,09E-05	1,237E-06
7	0,14700	0,08000	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,47E-05	0,000E+00
8	0,15700	0,08000	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,4728E-05	-6,473E-07



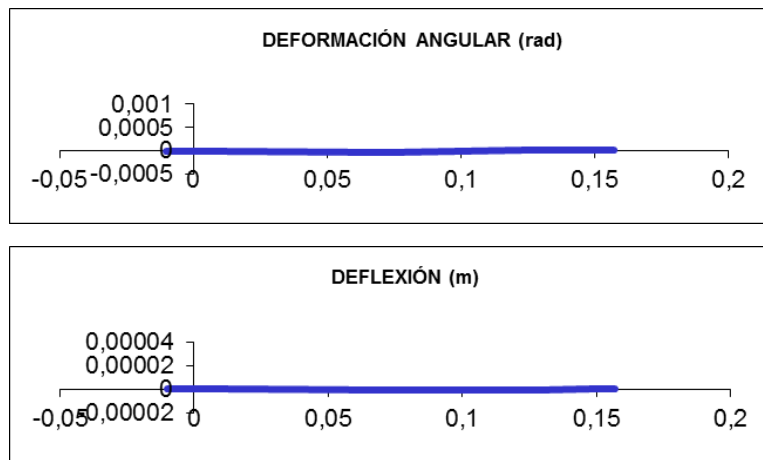
PLANO HORIZONTAL:



**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

E(N/m²) 2,1000E+11			Instrucc.: 1.- Rellenar las casillas en color verde.
Factor Def -1,00	(Negativo => automático)		2.- Pulsar Ctrl+R . Los resultados significativos en rojo
Num Secciones 8			
Secc Rod A 2	Reacc en A(N) -3897,86	Signos: Fuerzas y despl positivos hacia arriba	
Secc Rod B 7	Reacc en B(N) 7541,16	Momentos positivos en sentido horario	

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 angular (rad)	Deflexión (m)
					anterior (N-m)	posterior (N-m)		
1	-0,01000	0,07500	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,56E-07	2,560E-09
2	0,00000	0,07500	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,56E-07	0,000E+00
3	0,01250	0,07800	0,00	0,00	48,72	48,72	-1,19E-06	-7,091E-09
4	0,07250	0,07800	-3643,31	844,41	282,59	-561,82	-2,72E-05	-6,761E-07
5	0,12250	0,08500	0,00	0,00	-184,76	-184,76	2,17E-05	-6,093E-07
6	0,12750	0,08000	0,00	0,00	-147,05	-147,05	2,32E-05	-4,969E-07
7	0,14700	0,08000	0,00	0,00	0,00	0,00	2,66E-05	0,000E+00
8	0,15700	0,08000	0,00	0,00	0,00	0,00	2,66136E-05	2,661E-07
9					0,00	0,00	-0,00011716	2,261E-05
10					0,00	0,00	0,000613734	4,910E-06



2.9. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

La selección de los rodamientos se ha llevado a cabo teniendo en cuenta que en cada pareja de apoyos debe haber un rodamiento fijo y otro libre para que sean isostáticos y no aparezcan problemas relacionados con las dilataciones térmicas que puedan surgir durante el funcionamiento.

Para seleccionar correctamente los rodamientos, se debe asegurar que la capacidad dinámica requerida no sea superior a la capacidad dinámica propia del rodamiento que se desea usar en el reductor de velocidades.

Para ello, se parte de la expresión de cálculo de la vida de los rodamientos:

$$L = L_{10} \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{C}{F}\right)^q = a_1 \cdot a_{iso} \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{C}{F}\right)^q \quad (\text{Ec. 17})$$

Y de la anterior ecuación se obtiene la necesaria para calcular la capacidad dinámica requerida:

$$C = F \cdot \left(\frac{L}{(a_1 \cdot a_{iso}) \cdot 10^6}\right)^{1/q} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

- F: fuerza equivalente aplicada en los rodamientos.

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

- q : parámetro dependiente del tipo de contacto de los rodamientos.
- a_1 : factor de corrección por fiabilidad del rodamiento.
- a_{iso} : factor de condiciones de trabajo

Estos parámetros se detallan más detenidamente en el anejo de cálculos.

La vida de los rodamientos debe estar entre las 20.000 y las 40.000 horas. Para el reductor de la presente memoria se ha seleccionado este último como valor de diseño, teniendo en cuenta que todos los rodamientos deben cumplir con la misma vida de diseño.

2.9.1. Eje de entrada.

Como extremo libre (izquierda) se ha decidido seleccionar para el eje de entrada rodamientos de rodillos cilíndricos, cumpliendo sin problemas.

$d_{interior}$ mm	D mm	Designación	d_{medio} mm	v_1 mm/s ²	v mm/s ²	K Adim.	Pu kN	F_{eq} N	$ec \cdot Pu / F_{eq}$ Adim.	a_{iso} Adim.	B mm	$r_{acuerdo}$ mm	C_o kN	C kN	C_{rod} kN
35	72	NU 2207 ECP	53,5	17,5	50	2,857	8,15	4210,39	0,580707	3,7	23	0,6	69,5	63	43,783

Tabla 21 – Rodamientos de rodillos cilíndricos (Extremo libre)

Para el extremo fijo (derecha), se ha decidido inicialmente utilizar rodamientos rígidos de bolas, pero se ha comprobado que no tienen suficiente capacidad dinámica para soportar las sollicitaciones requeridas en el eje de entrada. Finalmente se ha optado por escoger rodamientos de rodillos cónicos, que pueden soportar mayores esfuerzos que los rígidos de bolas.

$d_{interior}$ mm	D mm	Designación	d_{medio} mm	v_1 mm/s ²	v mm/s ²	K Adim.	Pu kN	e Adim.	y_0 Adim.	y Adim.	F_{axial} N	F_{eq} N	$ec \cdot Pu / F_{eq}$ Adim.	a_{iso} Adim.	B mm	$r_{acuerdo}$ mm	C_o kN	C kN	C_{rod} kN
30	62	32206 BJ2/QCL7CVA606	46	18	50	2,778	6,55	0,57	0,6	1,05	2060,20	3793,06	0,5180514	3,8	20	1	58,5	49,5	39,129

Tabla 22 – Rodamientos de rodillos cónicos (Extremo fijo)

2.9.2. Eje intermedio.

En el caso del eje intermedio, también se ha comprobado que los rodamientos rígidos de bolas no tienen suficiente capacidad dinámica para soportar los esfuerzos que aparecen, por lo que se han seleccionado rodamientos de rodillos cilíndricos para el extremo libre (derecha), y rodamientos de rodillos cónicos para el extremo fijo (izquierda), capaces ambos de soportar mayores esfuerzos.

$d_{interior}$ mm	D mm	Designación	d_{medio} mm	v_1 mm/s ²	v mm/s ²	K Adim.	Pu kN	e Adim.	y_0 Adim.	y Adim.	F_{axial} N	F_{eq} N	$ec \cdot Pu / F_{eq}$ Adim.	a_{iso} Adim.	B mm	$r_{acuerdo}$ mm	C_o kN	C kN	C_{rod} kN
50	105	T7FC 050/QCL7C	77,5	37,25	50	1,342	16	0,88	0,4	0,68	7004,67	9654,95	0,4971542	2,3	29	2,5	137	108	97,88

Tabla 23 – Rodamientos de rodillos cónicos (Extremo fijo)

$d_{interior}$ mm	D mm	Designación	d_{medio} mm	v_1 mm/s ²	v mm/s ²	K Adim.	Pu kN	F_{eq} N	$ec \cdot Pu / F_{eq}$ Adim.	a_{iso} Adim.	B mm	$r_{acuerdo}$ mm	C_o kN	C kN	C_{rod} kN
50	110	NU 2310 ECP	80	37	50	1,351	24,5	13329,68	0,5514009	2,3	40	2	186	186	135,14

Tabla 24 – Rodamientos de rodillos cilíndricos (Extremo libre)

2.9.3. Eje de salida.

Para el eje de salida, ha sido suficiente con la primera solución seleccionada, siendo válidos tanto el rodamiento de rodillos cilíndricos escogido para el extremo libre (izquierda) como el rodamiento rígido de bolas que actuará como extremo fijo (derecha).

$d_{interior}$	D	Designación	d_{medio}	v_1	v	K	Pu	F_{eq}	$ec \cdot Pu / F_{eq}$	a_{iso}	B	$r_{acuerdo}$	C_o	C	C_{rod}
mm	mm	-	mm	mm/s ²	mm/s ²	Adim.	kN	N	Adim.	Adim.	mm	mm	kN	kN	kN
75	130	NU 215 ECP	102,5	98	50	0,510	20,4	11514,57	0,7086674	0,47	25	1,5	156	150	100,52

Tabla 25 – Rodamientos de rodillos cilíndricos (Extremo libre)

$d_{interior}$	D	Designación	d_{medio}	v_1	v	K	Pu	f_0	$f_0 \cdot Fa / Co$	x	y	F_{eq}	$ec \cdot Pu / F_{eq}$	a_{iso}	B	$r_{acuerdo}$	C_o	C	C_{rod}
mm	mm	-	mm	mm/s ²	mm/s ²	Adim.	kN	Adim.	Adim.	Adim.	Adim.	N	Adim.	Adim.	mm	mm	kN	kN	kN
80	170	6316	125	90	50	0,556	3,25	13	0,7431	0,56	1,67	14639,59	0,0888003	1	39	2	86,5	130	126,42

Tabla 26 – Rodamientos rígidos de bolas (Extremo fijo)

2.10. LUBRICANTE.

El lubricante seleccionado en el presente reductor es aceite mineral ISO VG 320, y se encargará de la lubricación de todos y cada uno de los elementos. La técnica de lubricación será por borboteo, que consiste en aprovechar el movimiento de los engranajes para hacer llegar el aceite a todos los elementos que lo requieran. Por tanto, bastará con que el lubricante, ubicado en el fondo de la carcasa, mantenga un nivel que permita que las dos ruedas del reductor lo impulsen hacia el resto de los componentes. Se estima que con 12 litros de lubricante será más que suficiente. Por último, se deberá cambiar el lubricante cada 2500 horas, supuesto un funcionamiento continuo y con una temperatura de funcionamiento algo superior a los 60º.

2.11. CARCASA DEL REDUCTOR.

Para la construcción de la carcasa se ha optado por utilizar Fundición Gris FG-20, capaz de resistir cualquier carga que pueda producirse durante el funcionamiento del reductor, económica en comparación con los aceros e idónea para el conformado por moldeo, método que se utilizará para la fabricación de la carcasa. En concreto se realizará un proceso de colada en molde de arena, que nos permite obtener piezas de volúmenes y pesos considerables. Puesto que el enfriamiento de la carcasa será rápido, el material seleccionado deberá tener buena impermeabilidad para evitar que los gases originados en el proceso de colada queden en el interior y produzcan poros que debiliten la carcasa. Este requerimiento también queda cubierto por la Fundición Gris FG-20.

La carcasa consta de dos caras completamente distintas e irregulares para conseguir que el reductor sea lo más compacto posible, además de seis tapas para asegurar un buen sellado en las partes correspondientes a los ejes. Por tanto, se deberá disponer de dos moldes para conformar las caras, y otros seis para poder fabricar cada una de las tapas.

Una vez terminado el proceso de moldeo, se procederá a realizar el taladrado de la carcasa para poder unir sus dos caras entre sí, además de las tapas de los ejes y las patas, y los tapones de vaciado y llenado. Se debe tener en cuenta que las superficies donde exista contacto con otras piezas

que requieran un acabado superficial especial, tales como rodamientos o tapones de vaciado y llenado, deberán mecanizarse según sus requerimientos.

Es recomendable pintar la carcasa con una pintura especial (a base de resinas poliésteres modificadas con resina epoxídicas) para proporcionarle estabilidad térmica y protegerla frente a la corrosión.

Por último, se le ha añadido a una de las caras un punto de elevación, mediante una anilla triangular, para facilitar la manipulación y transporte del reductor.



Figura 9 – Montaje completo del reductor y forma de la carcasa

BIBLIOGRAFÍA

1. *Apuntes de tecnología de máquinas 2015* (Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, 2015).
2. *Diseño y cálculo de un reductor de velocidad* (Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, 2015).
3. *Diseño en ingeniería mecánica* (Joseph E. Shingley y Charles R. Mischke, 2002).
4. *Diseño y cálculo de transmisiones por engranajes* (Pilar Lafont Morgado, 2009).
5. *Prácticas Ingeniería Gráfica: De la sesión 1 a la 5* (Francisco Albert, 2014).

DOCUMENTO Nº2

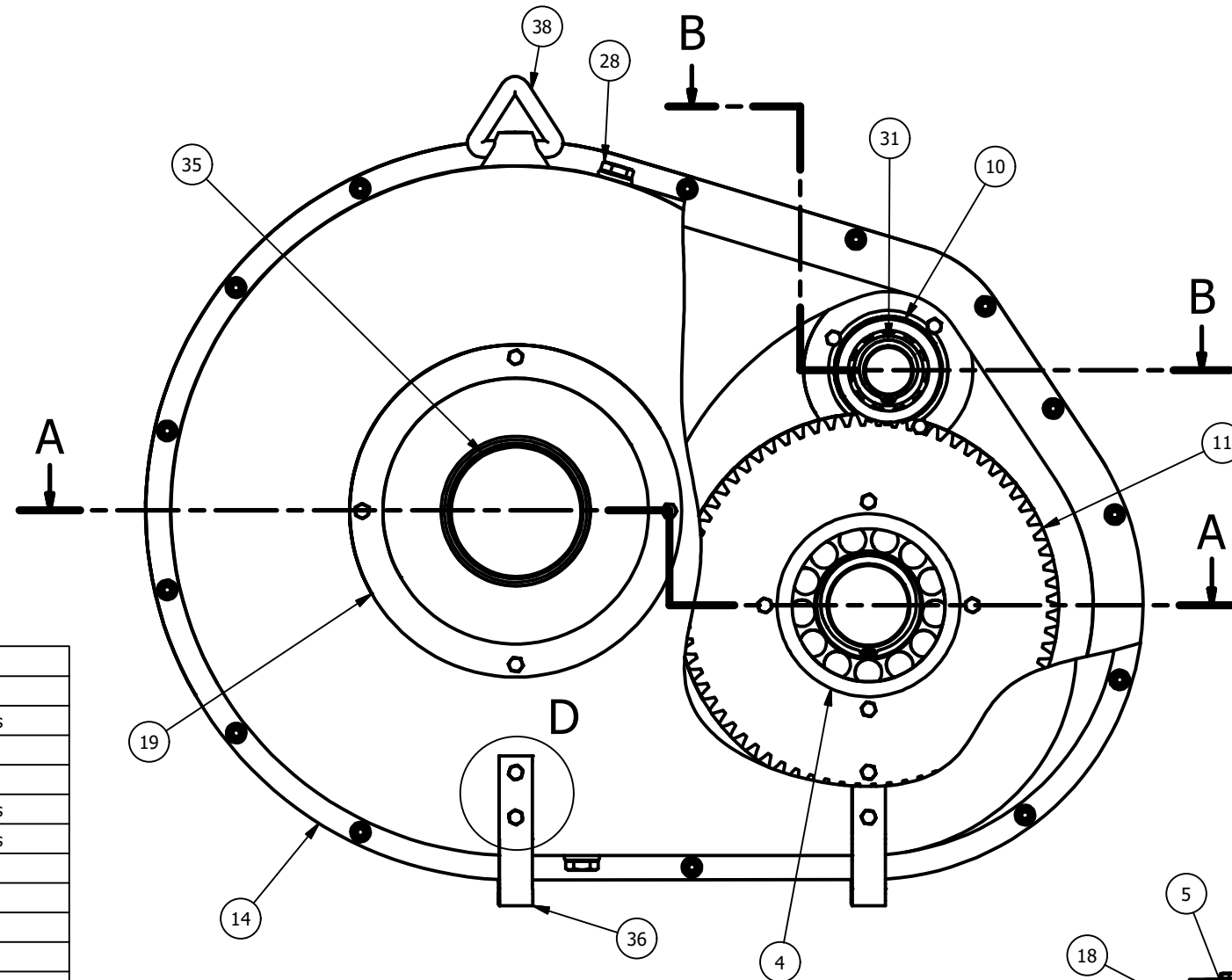
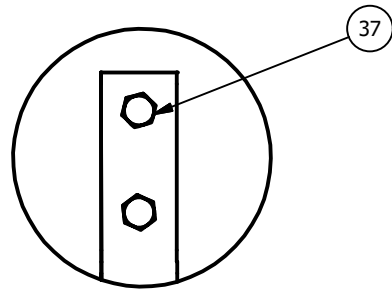
**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA
SALIDA DE 3200 Nm**

PLANOS

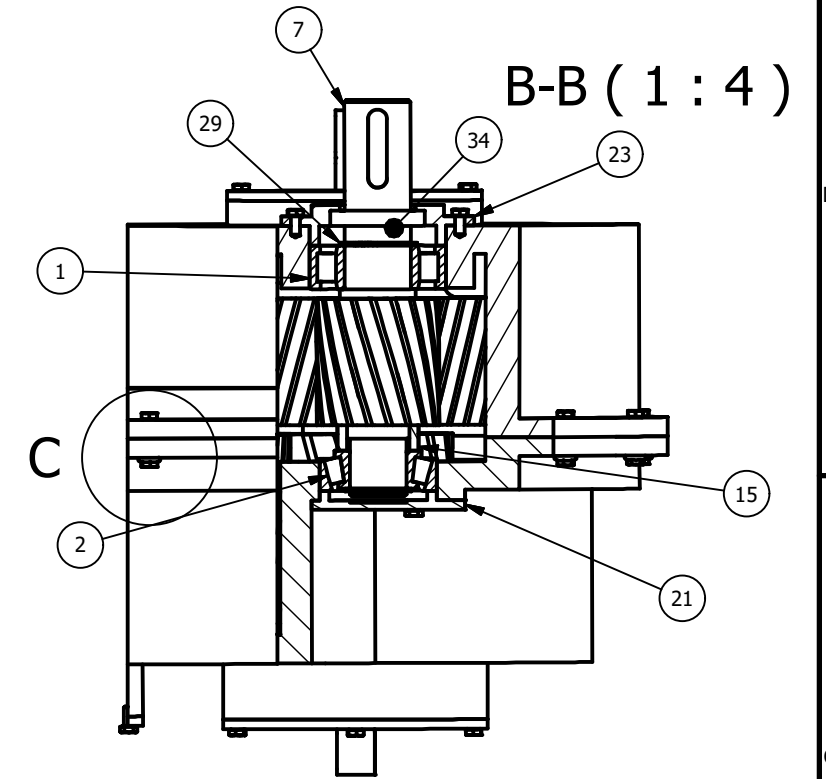
ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. Plano de conjunto	1
2. Eje de entrada	2
3. Eje intermedio	3
4. Eje de salida	4
5. Piñón de la primera etapa.....	5
6. Rueda de la primera etapa.....	6
7. Piñón de la segunda etapa	7
8. Rueda de la segunda etapa	8
9. Casquillo del eje de entrada	9
10. Casquillos del eje intermedio	10
11. Casquillo del eje de salida	11
12. Tapas del eje de entrada	12
13. Tapas del eje intermedio	13
14. Tapas del eje de salida	14
15. Cara derecha de la carcasa	15
16. Cara izquierda de la carcasa	16

D (1:2)



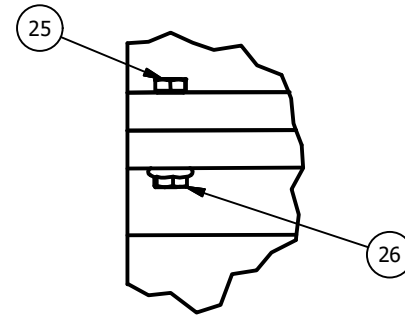
B-B (1:4)



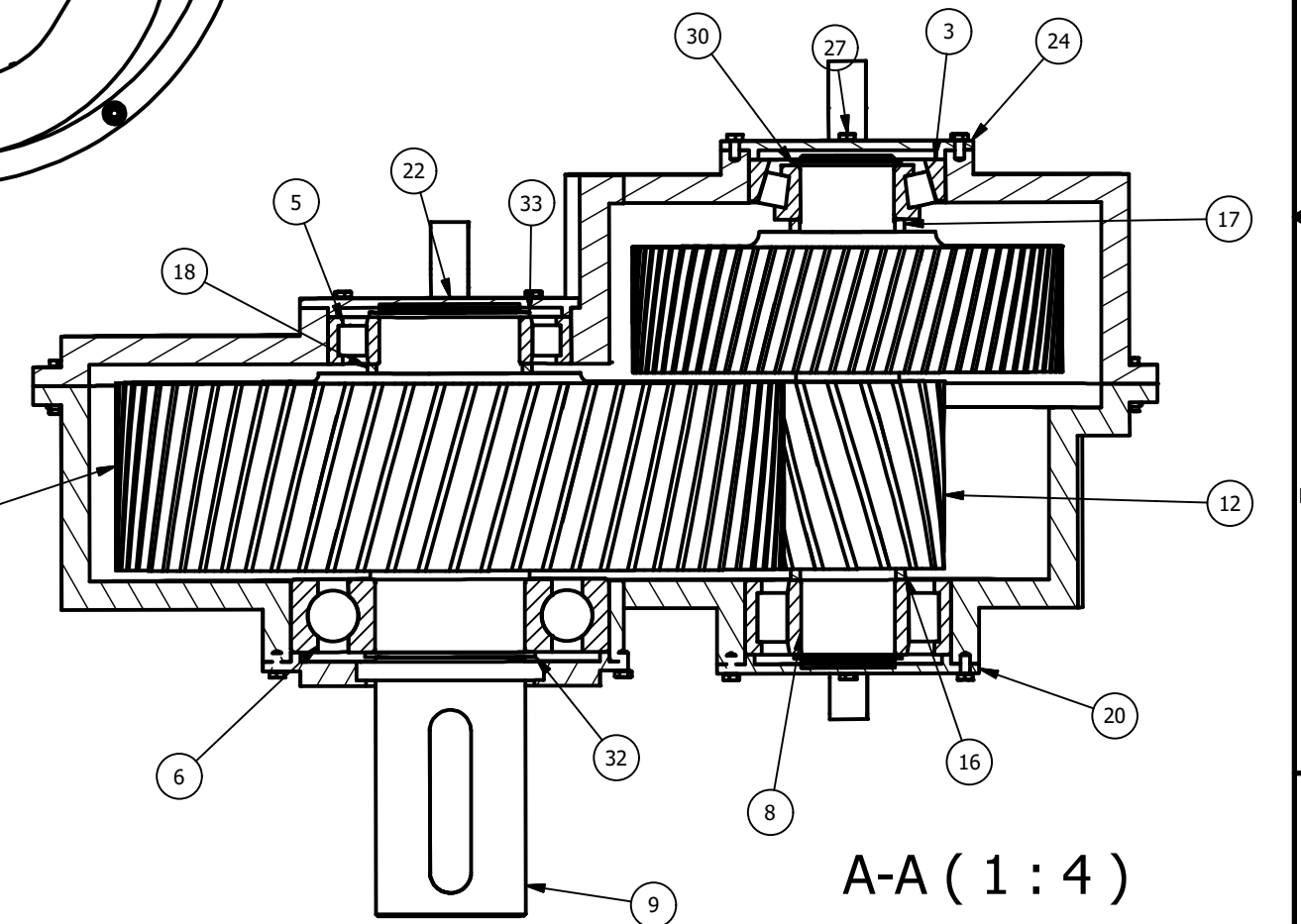
LISTA DE PIEZAS

Nº	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	SKF NUNU 2207 EC	Rod. de rodillos cilíndricos
2	1	SKF32206 B	Rod. de rodillos cónicos
3	1	SKFT7FC 050	Rod. de rodillos cónicos
4	1	SKF NUNU 2310 EC	Rod. de rodillos cilíndricos
5	1	SKF NUNU 215 EC	Rod. de rodillos cilíndricos
6	1	SKF6316	Rod. rígidos de bolas
7	1	Eje entrada	
8	1	Eje intermedio	
9	1	Eje salida	
10	1	Piñon 1	
11	1	Rueda 1	
12	1	Piñon 2	
13	1	Rueda 2	
14	2	Carcasa derecha	
15	1	Casquillo Eje entrada	
16	1	Casquillo Eje intermedio 1	
17	1	Casquillo Eje intermedio 2	
18	1	Casquillo Eje salida	
19	1	Tapa abierta eje entrada	
20	1	Tapa derecha eje intermedio	
21	1	Tapa cerrada eje entrada	
22	1	Tapa cerrada eje salida	
23	1	Tapa eje entrada	
24	1	Tapa izquierda eje intermedio	
25	17	ISO 4017 - M5 x 25	Tornillos de cabeza hexagonal
26	17	ISO 4161 - M5	Tuercas hexagonales con valona
27	23	ISO 4017 - M5 x 10	Tornillos de cabeza hexagonal
28	2	DIN 910 - M16 x 1,5	Tapones de llenado y vaciado
29	1	IS 3075-1 - 35 x 33	Anilla elástica
30	2	IS 3075-1 - 50 x 47	Anilla elástica
31	1	IS 3075-1 - 30 x 28,6	Anilla elástica
32	1	IS 3075-1 - 80 x 76,5	Anilla elástica
33	1	IS 3075-1 - 75 x 72	Anilla elástica
34	1	ISO 6194/1 - 35x50x8-Tipo 2	Juntas de labio de eje rotatorio
35	1	ISO 6194/1 - 80x100x10-Tipo 2	Juntas de labio de eje rotatorio
36	4	Pata	
37	8	ISO 4017 - M5 x 16	Tornillos de cabeza hexagonal
38	1	Anilla triangular	Para levantar el reductor

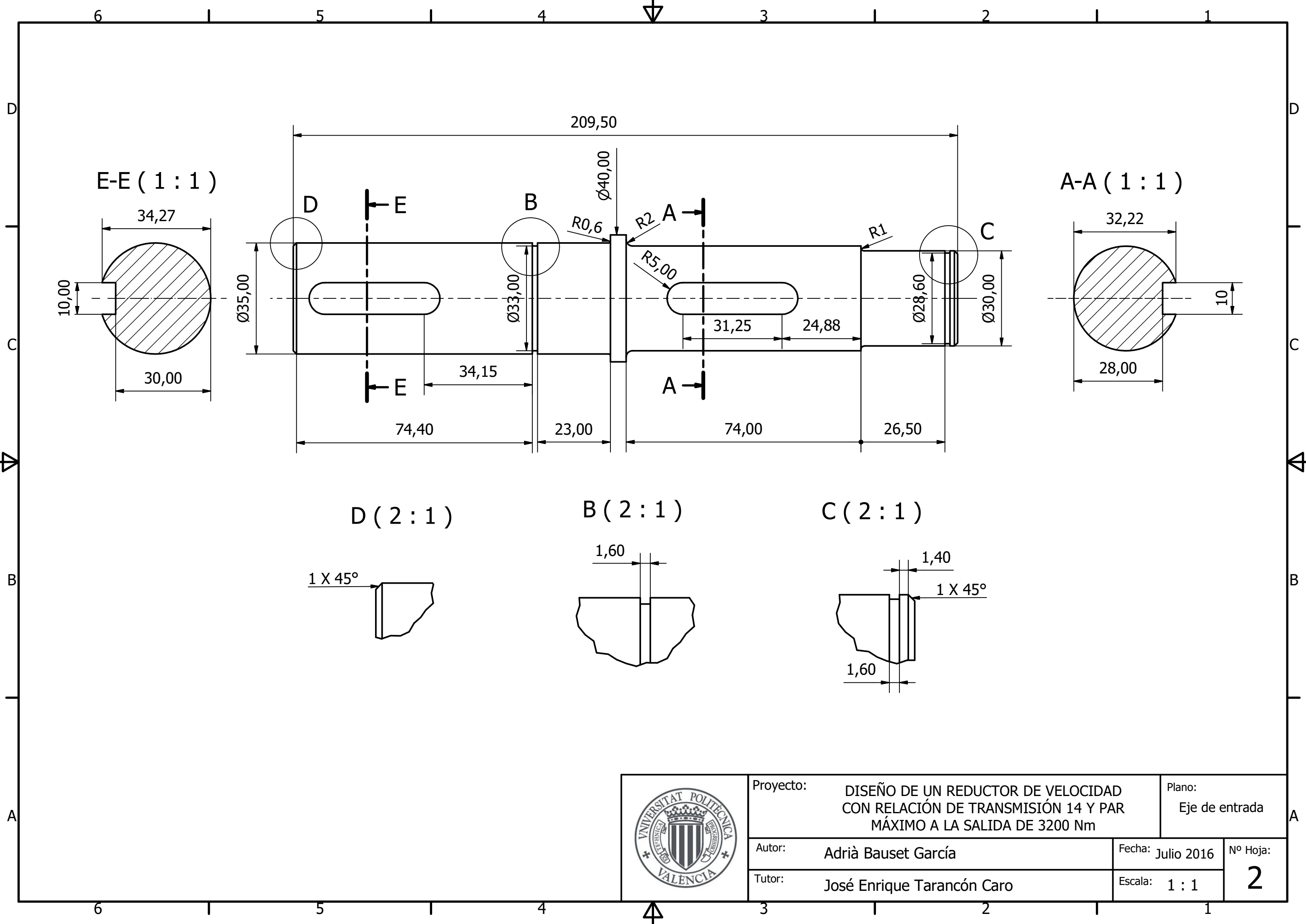
A (1:2)



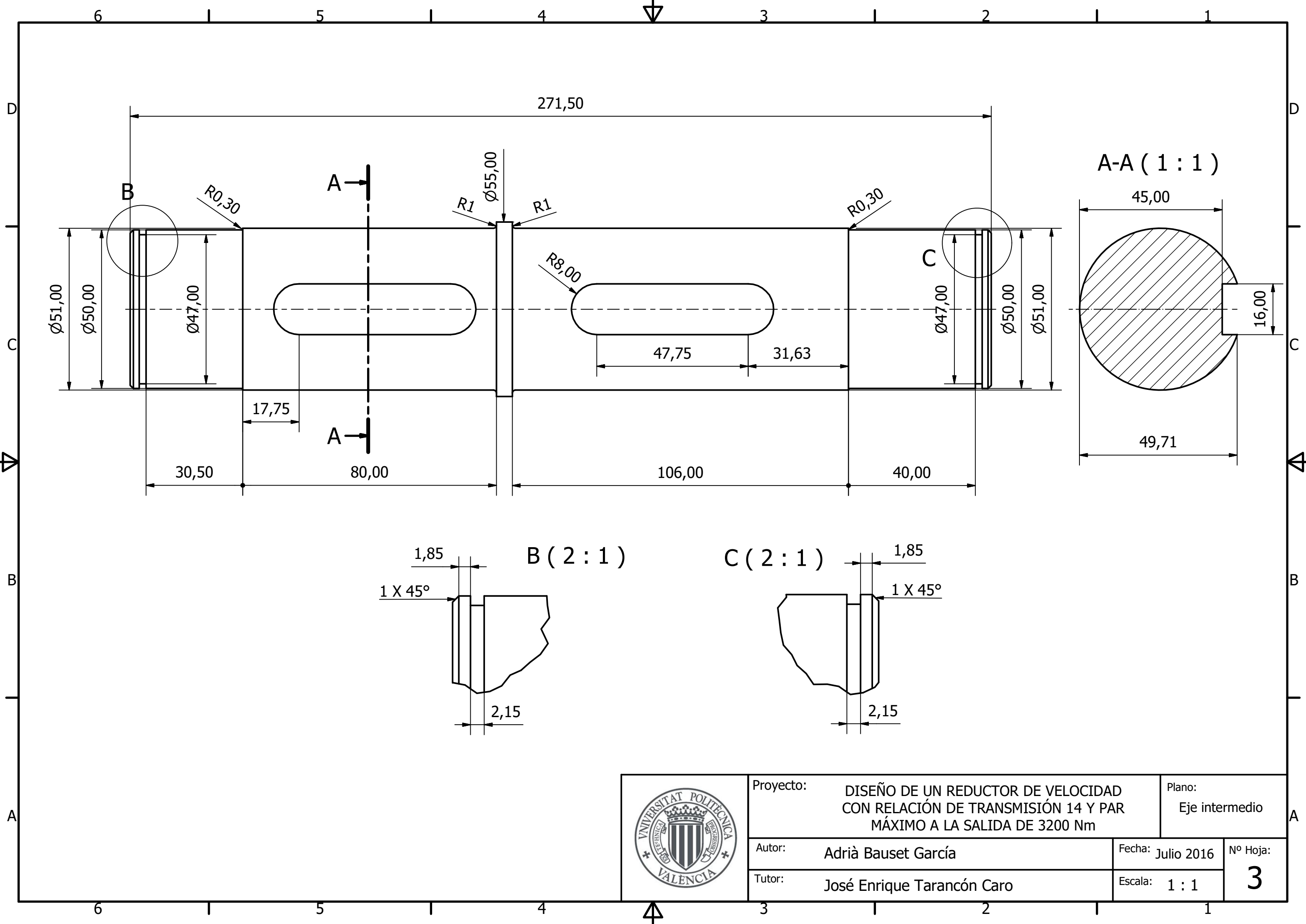
A-A (1:4)



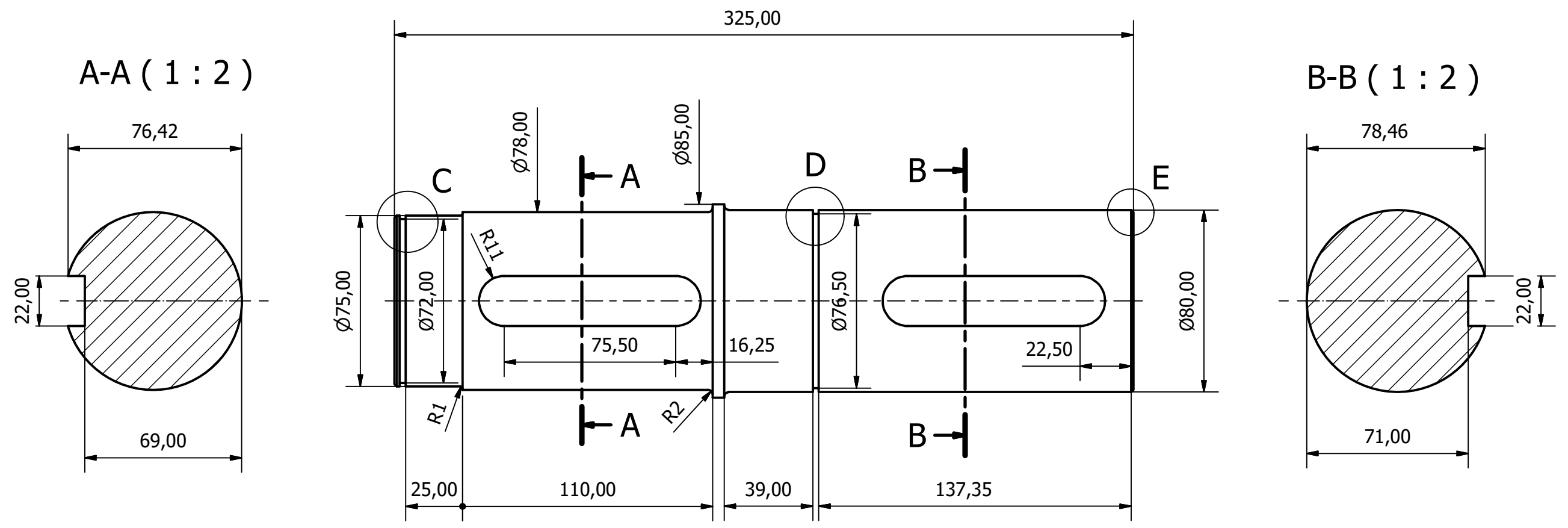
Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Plano de conjunto del reductor de velocidad	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Escala: 1:4
		1



Proyecto:	DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm		Plano:	Eje de entrada
Autor:	Adrià Bauset García		Fecha:	Julio 2016
Tutor:	José Enrique Tarancón Caro		Nº Hoja:	2
			Escala:	



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Eje intermedio	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Escala: 1 : 1
		Nº Hoja: 3



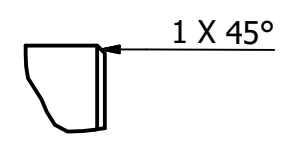
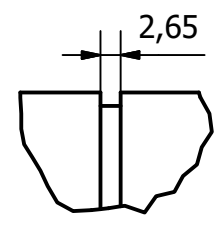
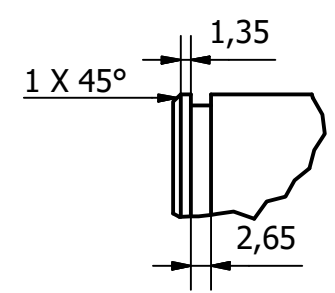
A-A (1 : 2)

B-B (1 : 2)

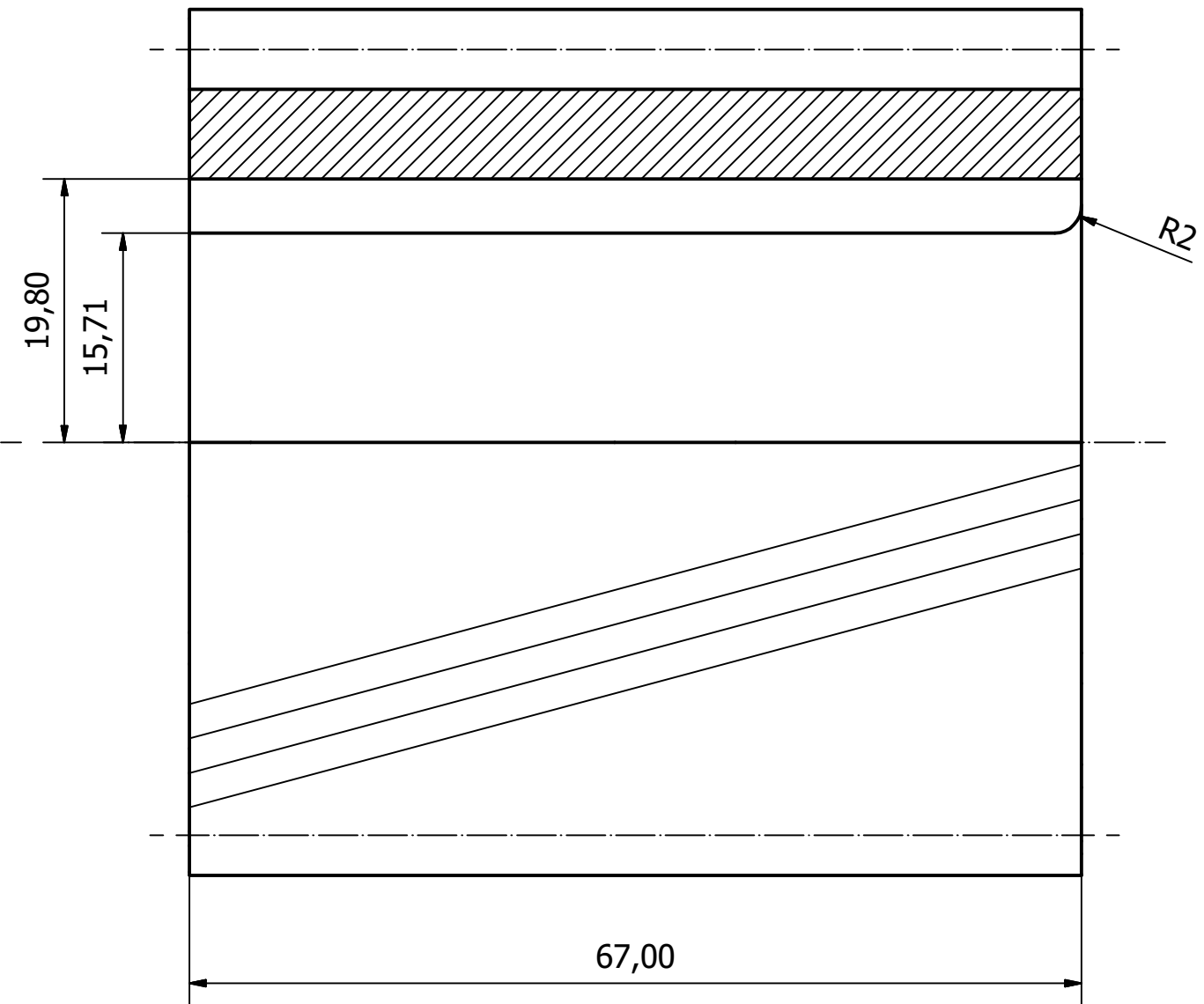
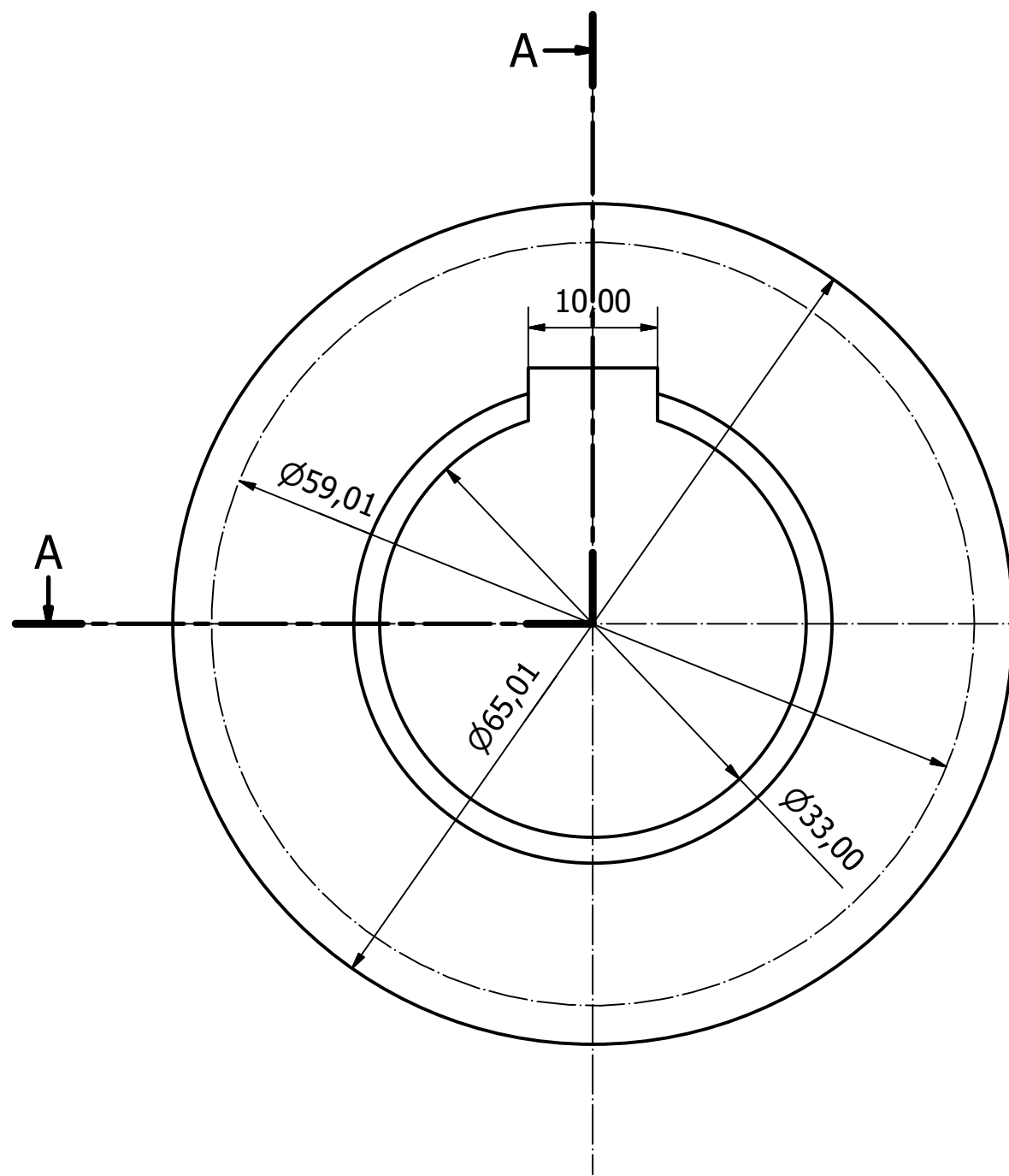
C (1 : 1)

D (1 : 1)

E (1 : 1)



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Eje de salida	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Escala: 1 : 2
		Nº Hoja: 4



DATOS PIÑÓN 1ª ETAPA	
Tipo de diente	Helicoidal
Módulo	3
Nº dientes	19
Ángulo de inclinación del dentado	15°
Ángulo de presión	20°



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Plano: Piñón 1ª etapa

Autor: Adrià Bauset García

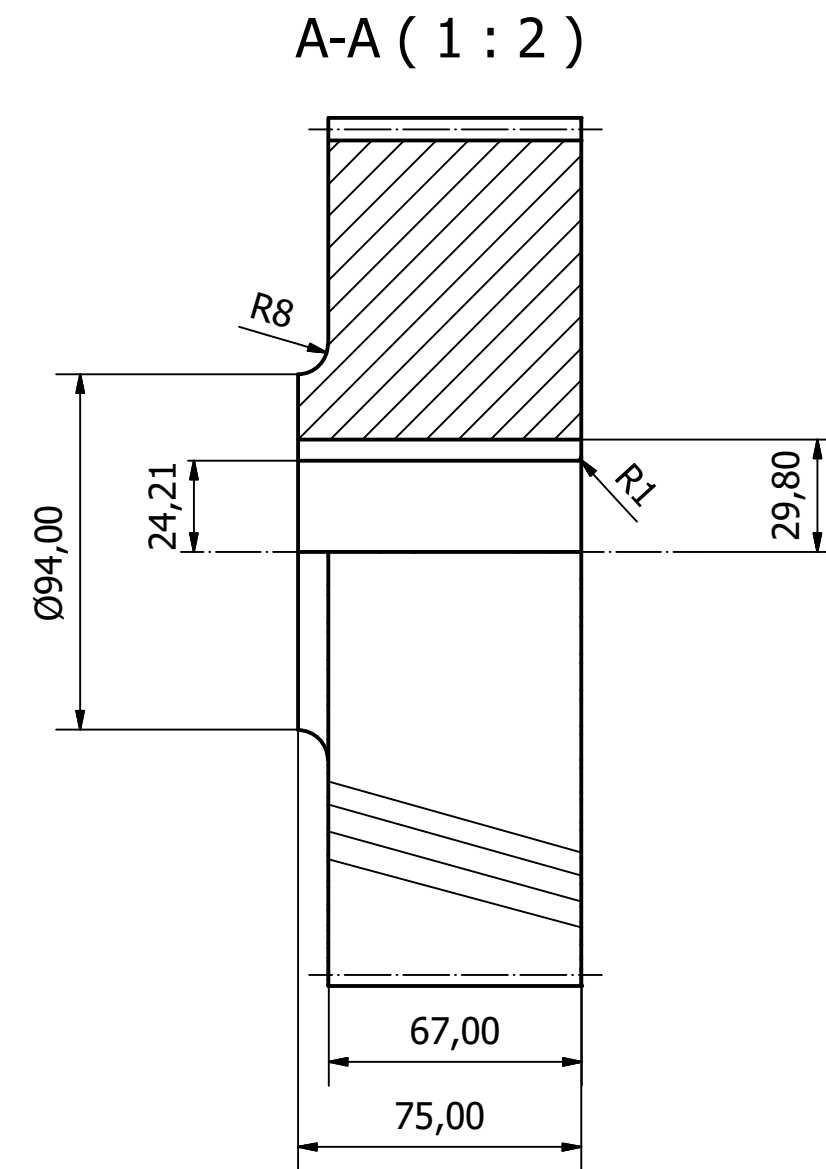
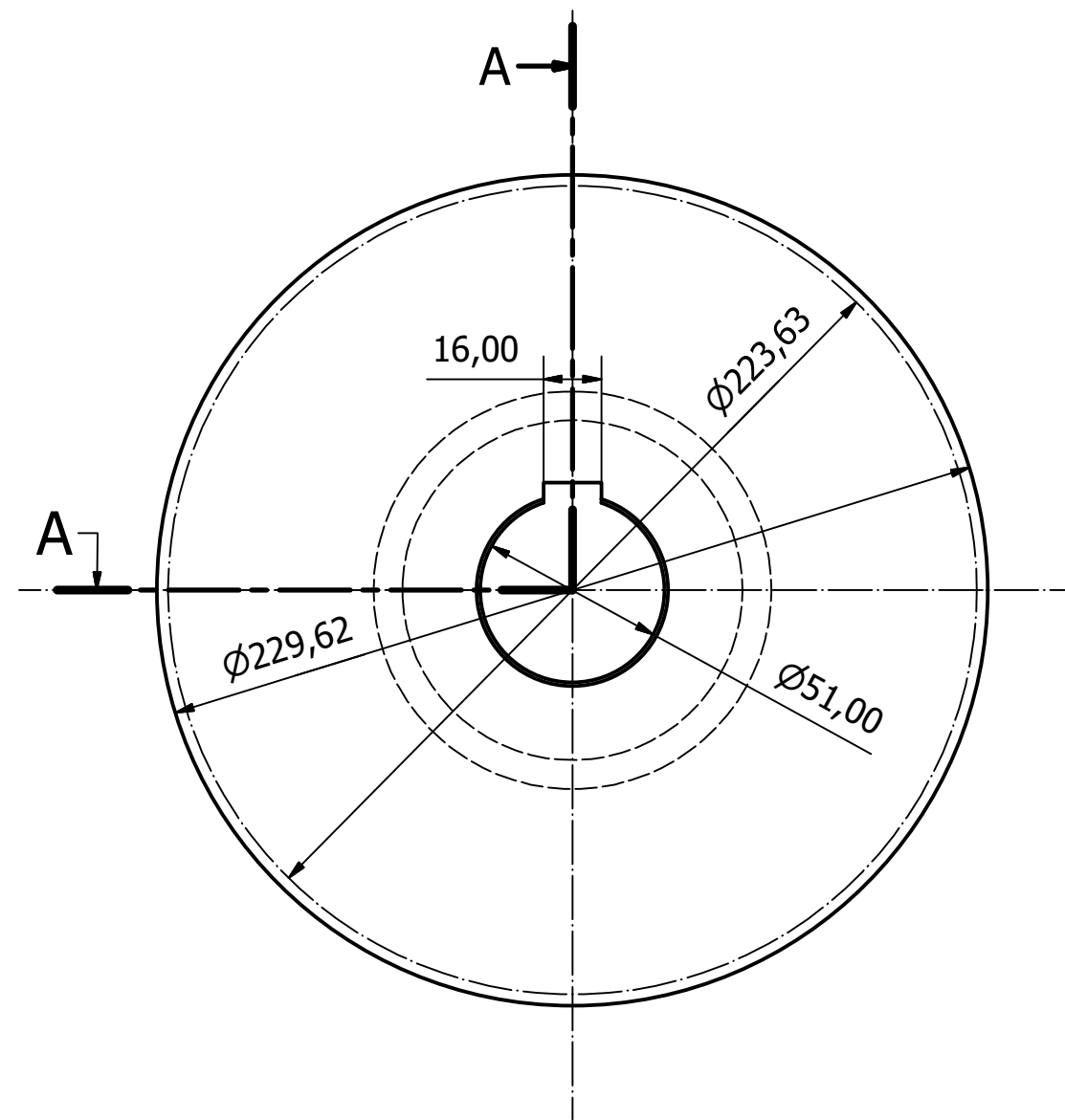
Fecha: Julio 2016

Nº Hoja:

Tutor: José Enrique Tarancón Caro

Escala: 2 : 1

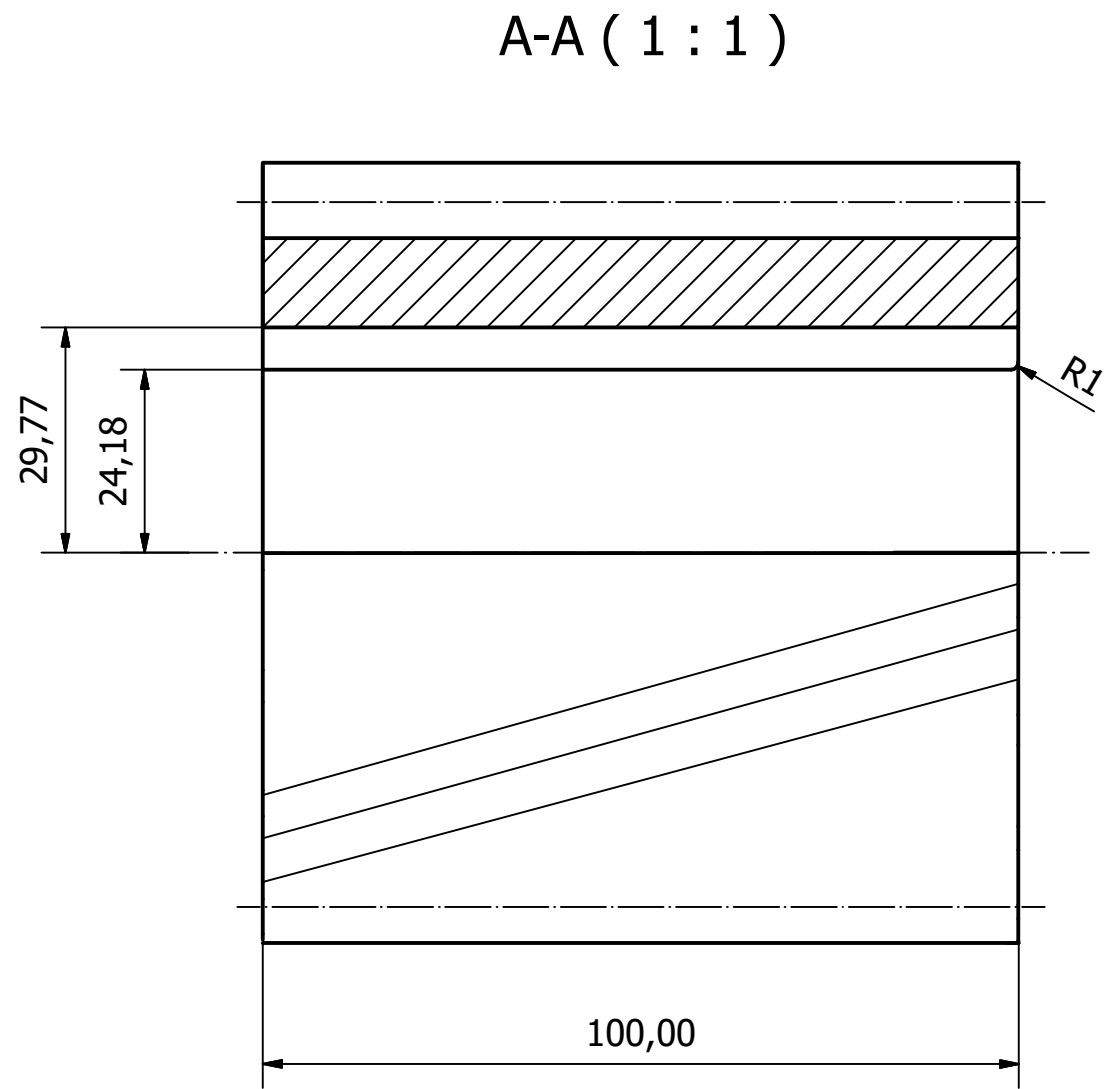
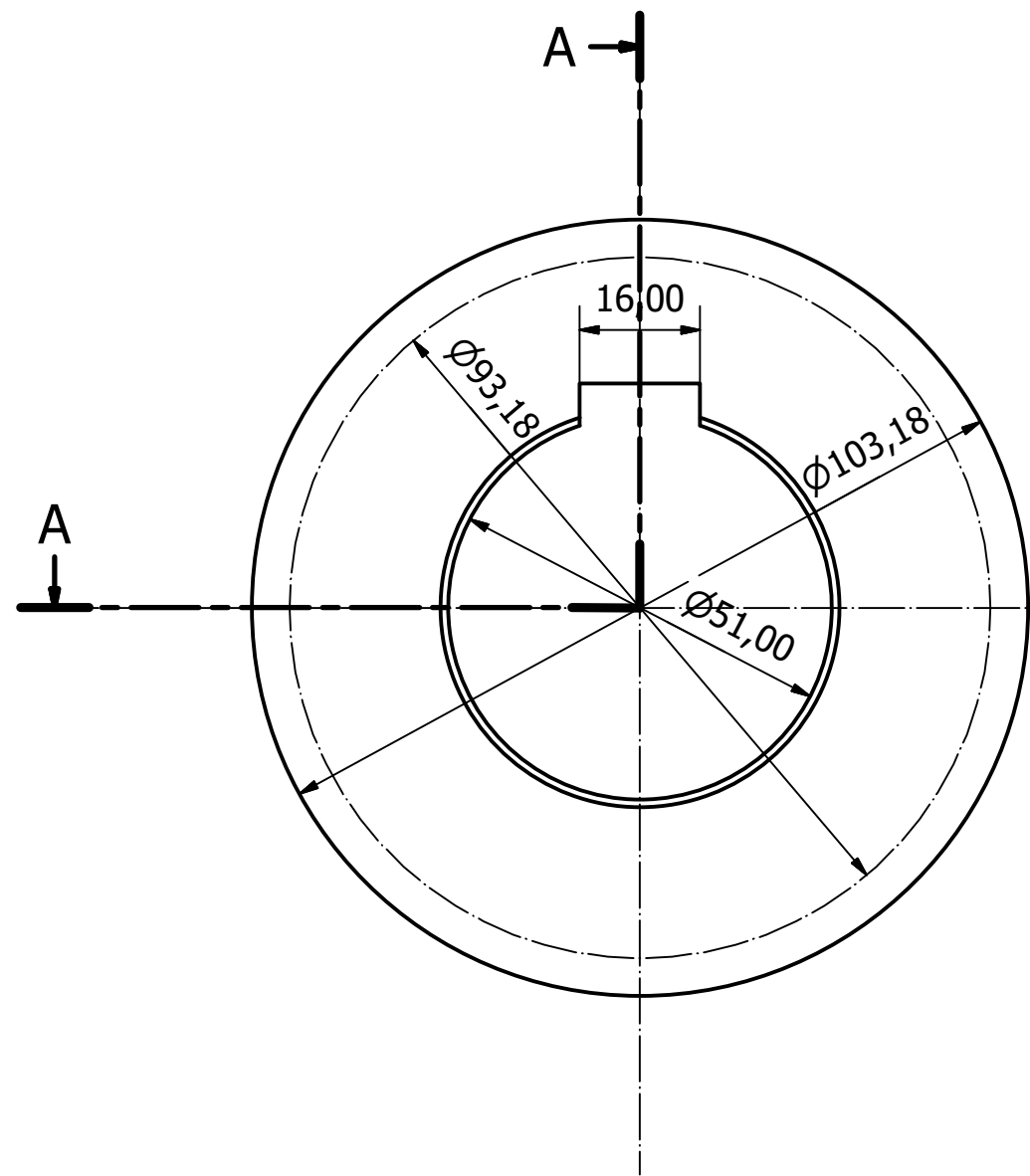
5



DATOS RUEDA 1ª ETAPA	
Tipo de diente	Helicoidal
Módulo	3
Nº dientes	72
Ángulo de inclinación del dentado	15°
Ángulo de presión	20°



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Rueda 1ª etapa	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Nº Hoja: 6
		Escala: 1 : 2

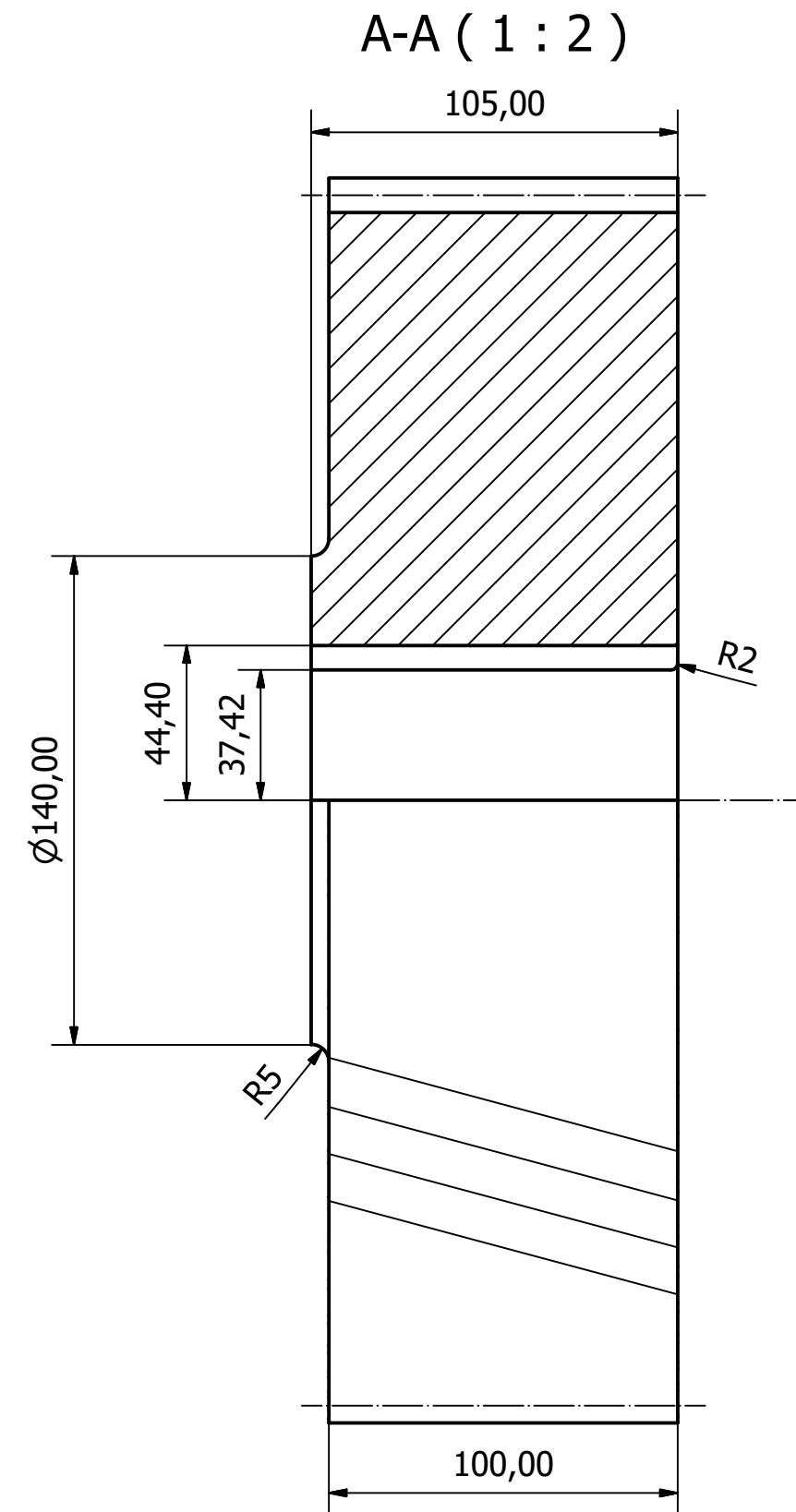
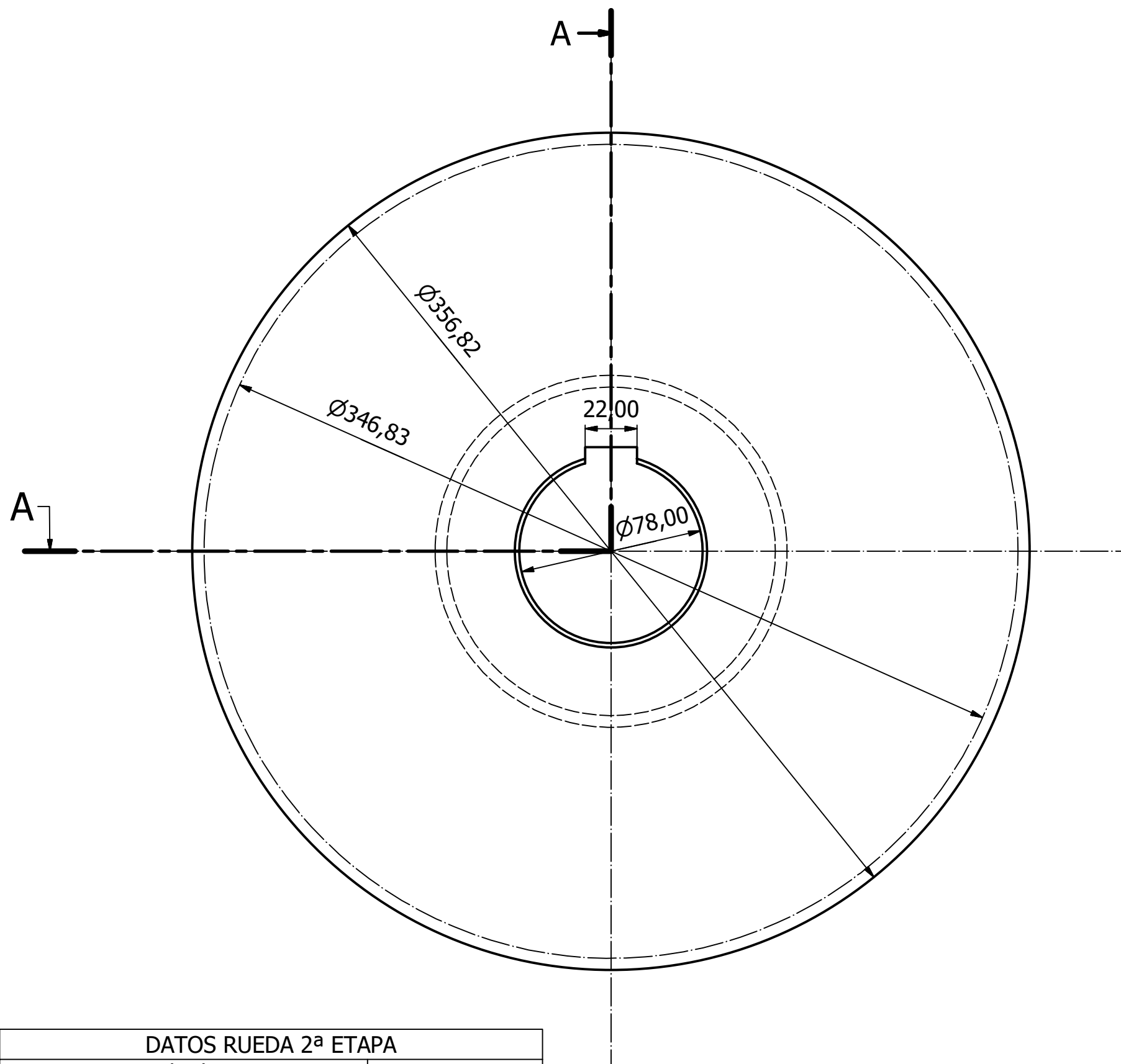


DATOS PIÑÓN 2ª ETAPA	
Tipo de diente	Helicoidal
Módulo	5
Nº dientes	18
Ángulo de inclinación del dentado	15°
Ángulo de presión	20°



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Piñón 2ª etapa	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Nº Hoja: 7

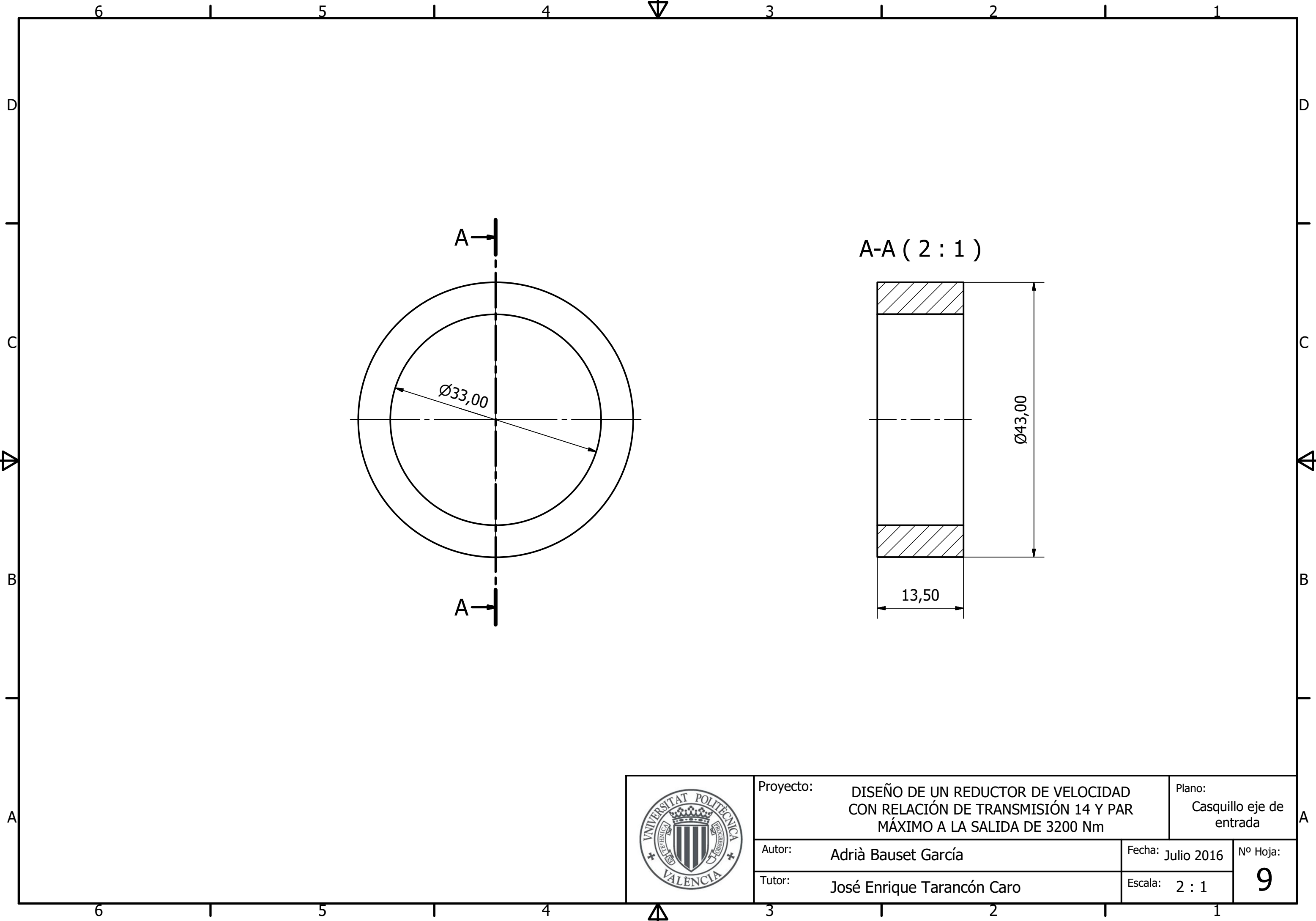
Fecha: Julio 2016	Nº Hoja: 7
Escala: 1 : 1	



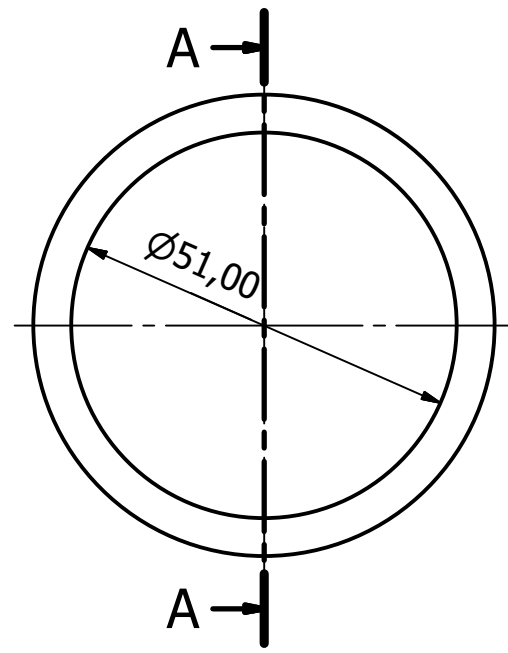
DATOS RUEDA 2ª ETAPA	
Tipo de diente	Helicoidal
Módulo	5
Nº dientes	67
Ángulo de inclinación del dentado	15°
Ángulo de presión	20°



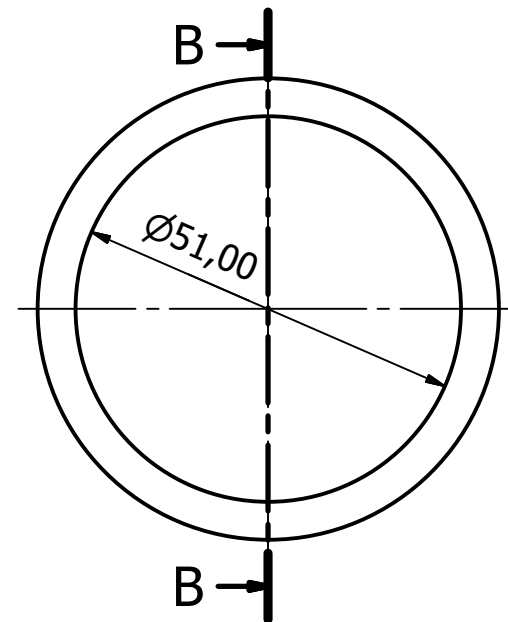
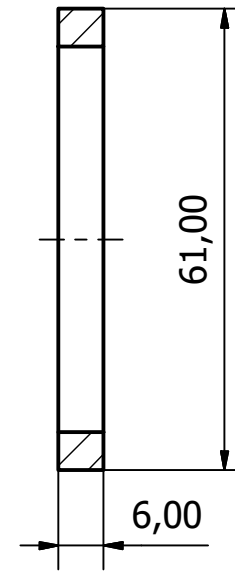
Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Rueda 2ª etapa	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Escala: 1 : 2
		Nº Hoja: 8



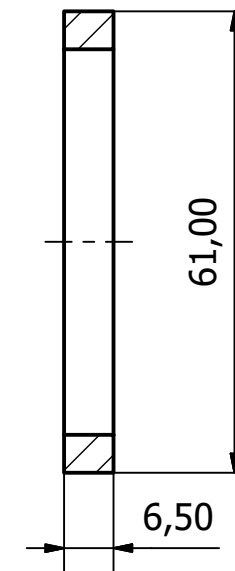
	Proyecto:	DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano:	Casquillo eje de entrada
	Autor:	Adrià Bauset García	Fecha:	Julio 2016
	Tutor:	José Enrique Tarancón Caro	Escala:	2 : 1
				9



A-A (1 : 1)



B-B (1 : 1)



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD
CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Plano: Casquillo eje
intermedio

Autor: Adrià Bauset García

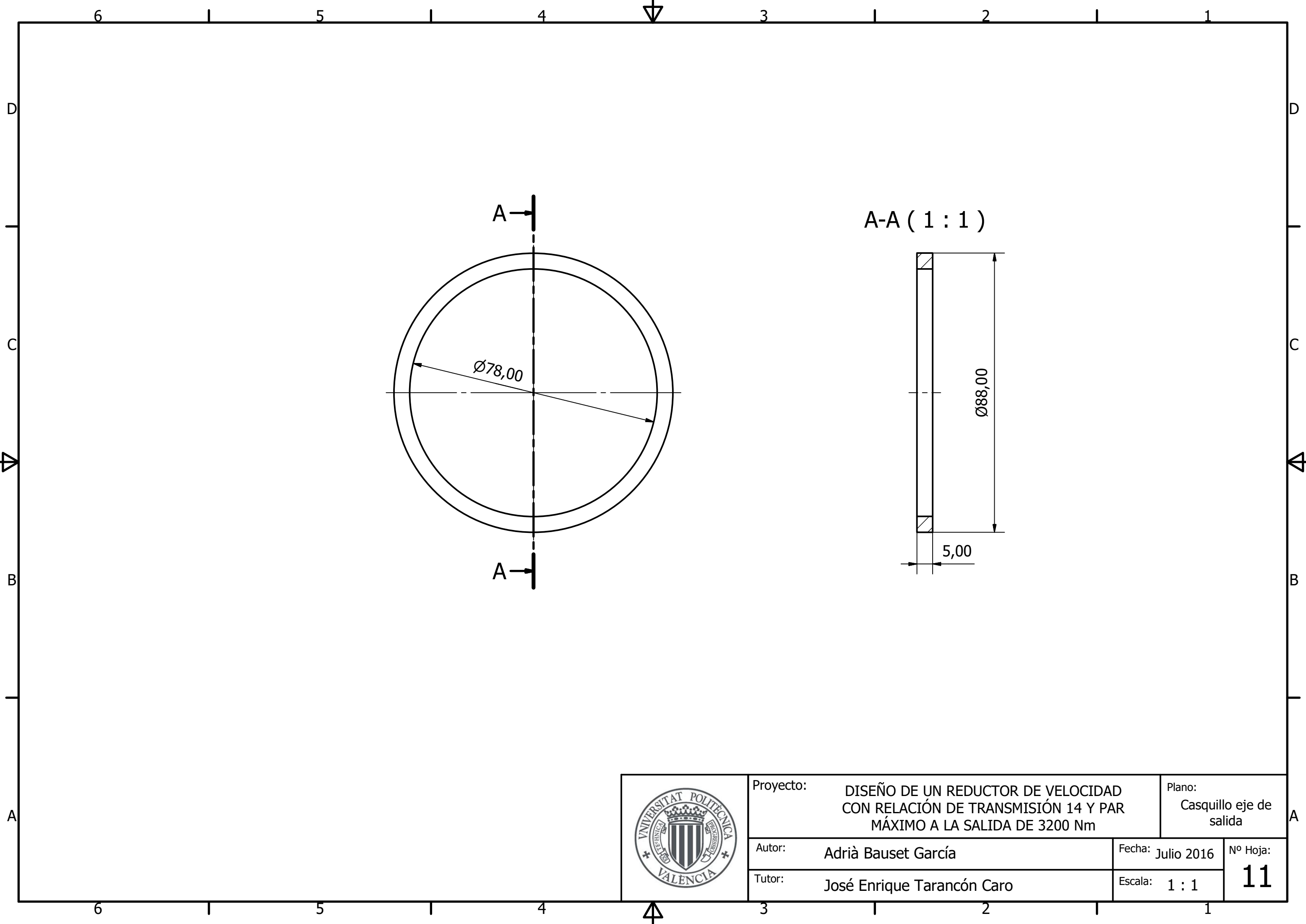
Fecha: Julio 2016

Nº Hoja:

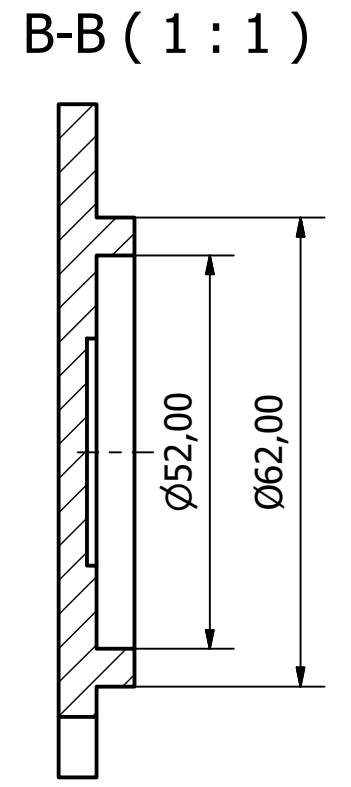
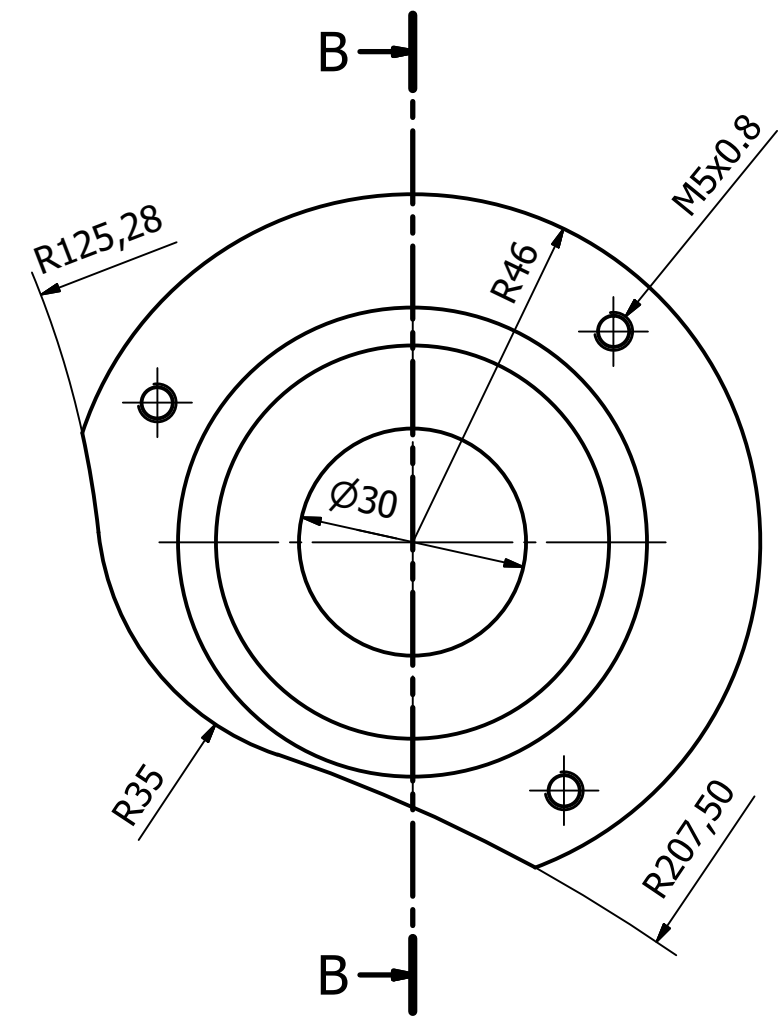
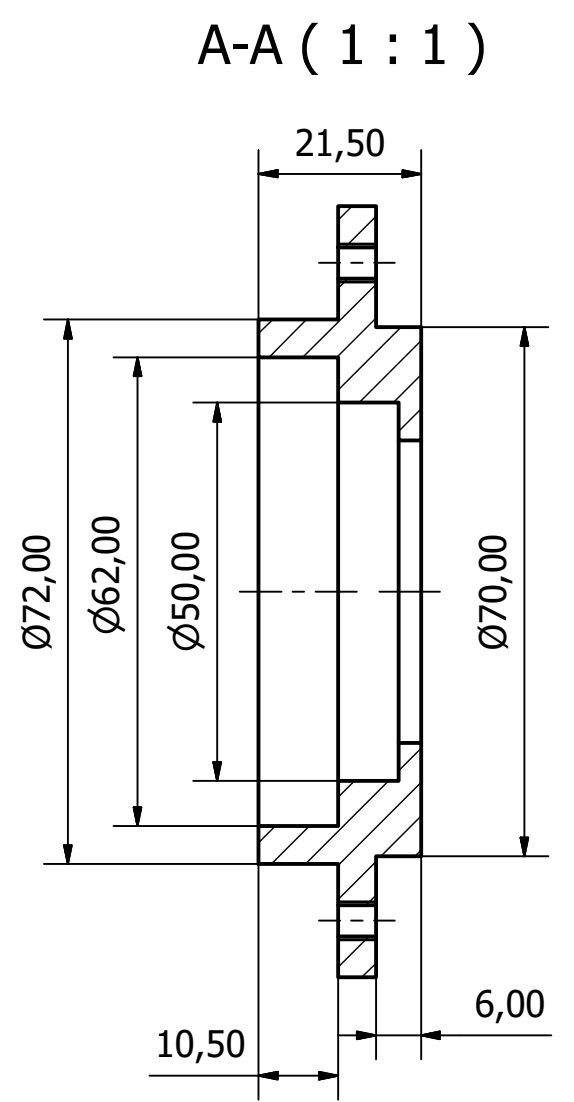
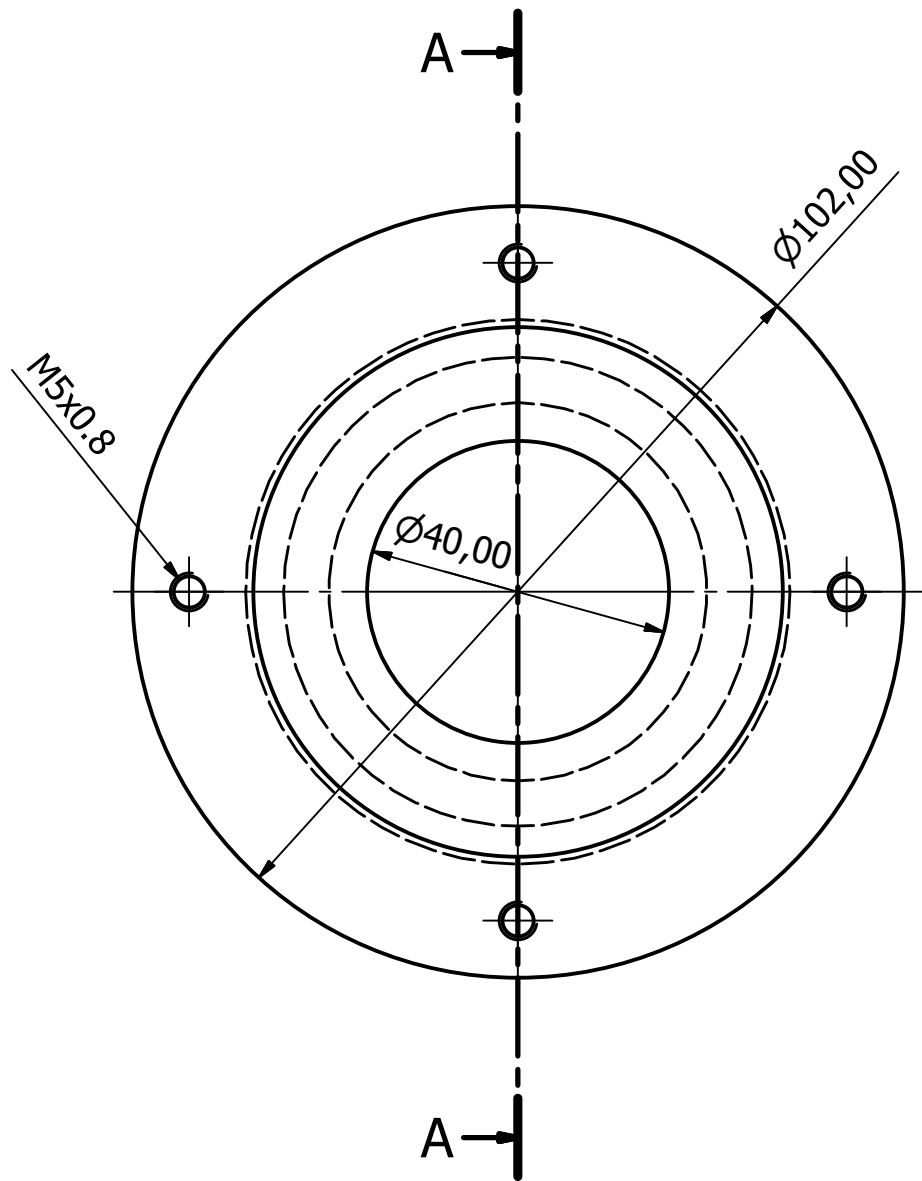
Tutor: José Enrique Tarancón Caro

Escala: 1 : 1

10

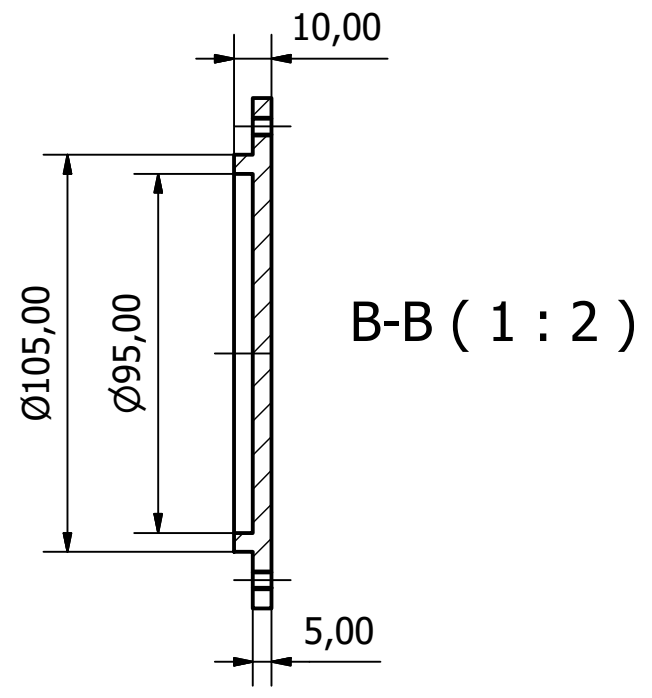
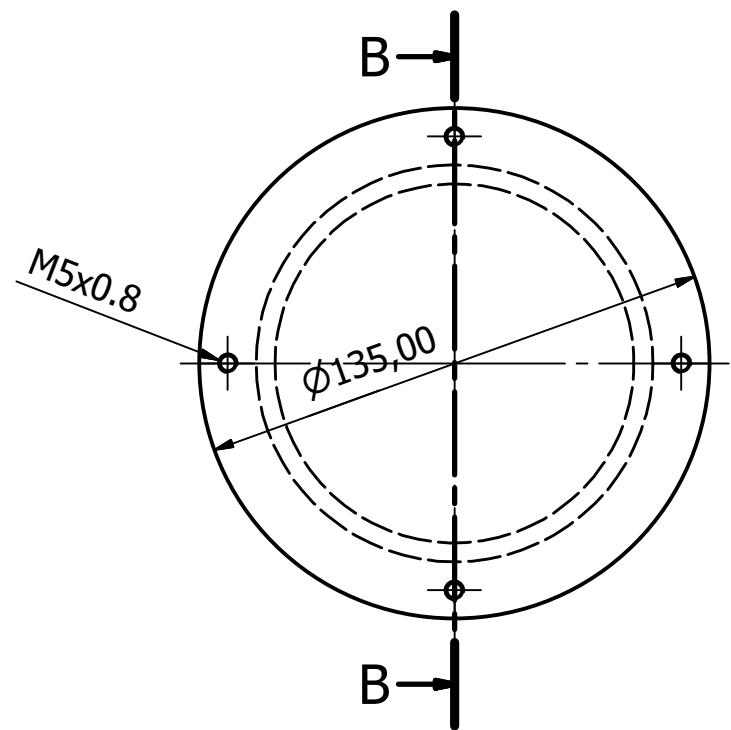
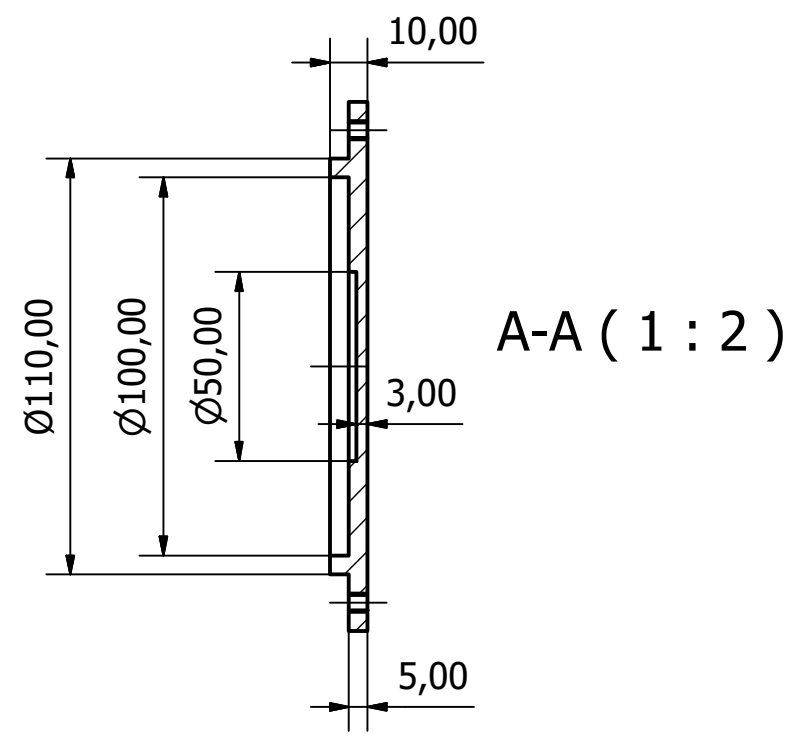
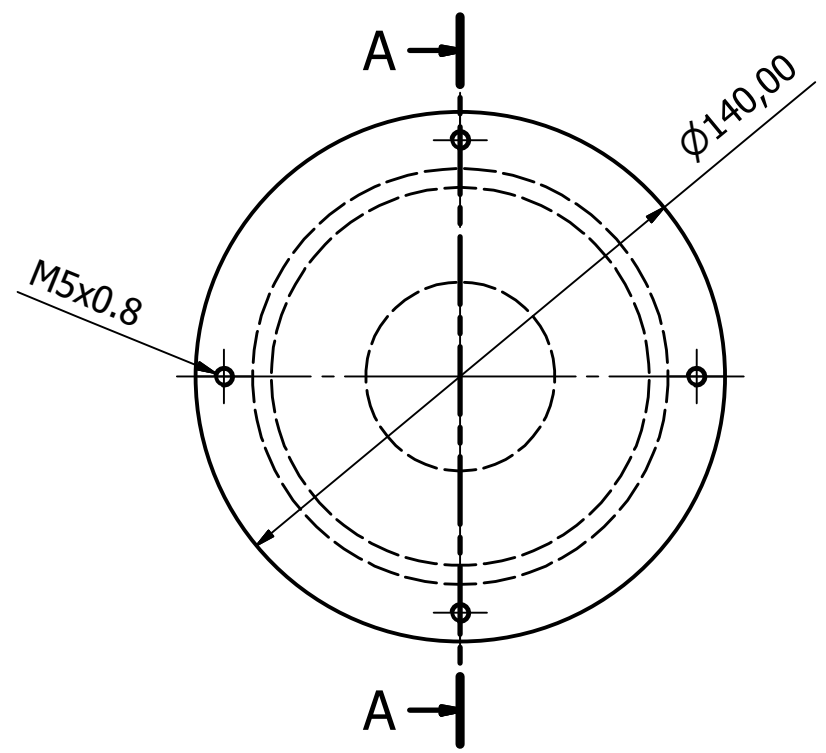


	Proyecto:	DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano:	Casquillo eje de salida
	Autor:	Adrià Bauset García	Fecha:	Julio 2016
	Tutor:	José Enrique Tarancón Caro	Escala:	1 : 1
				11

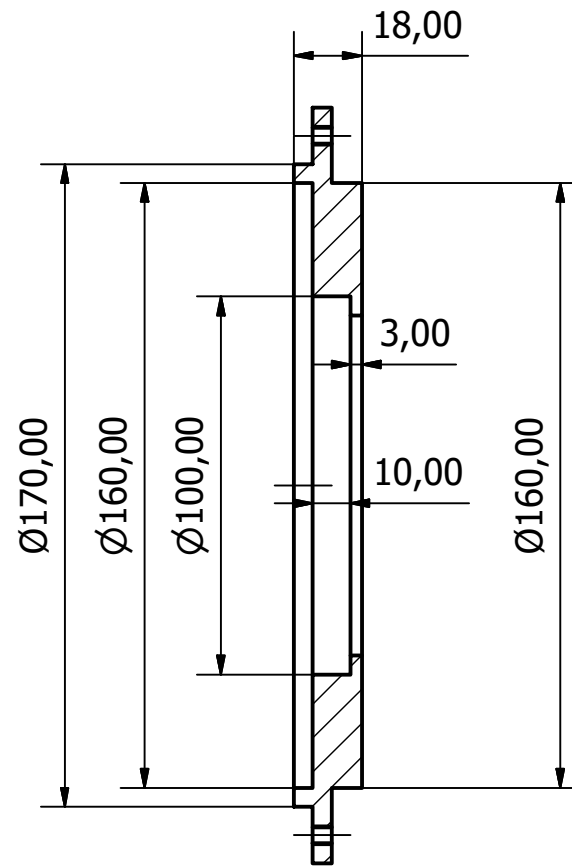
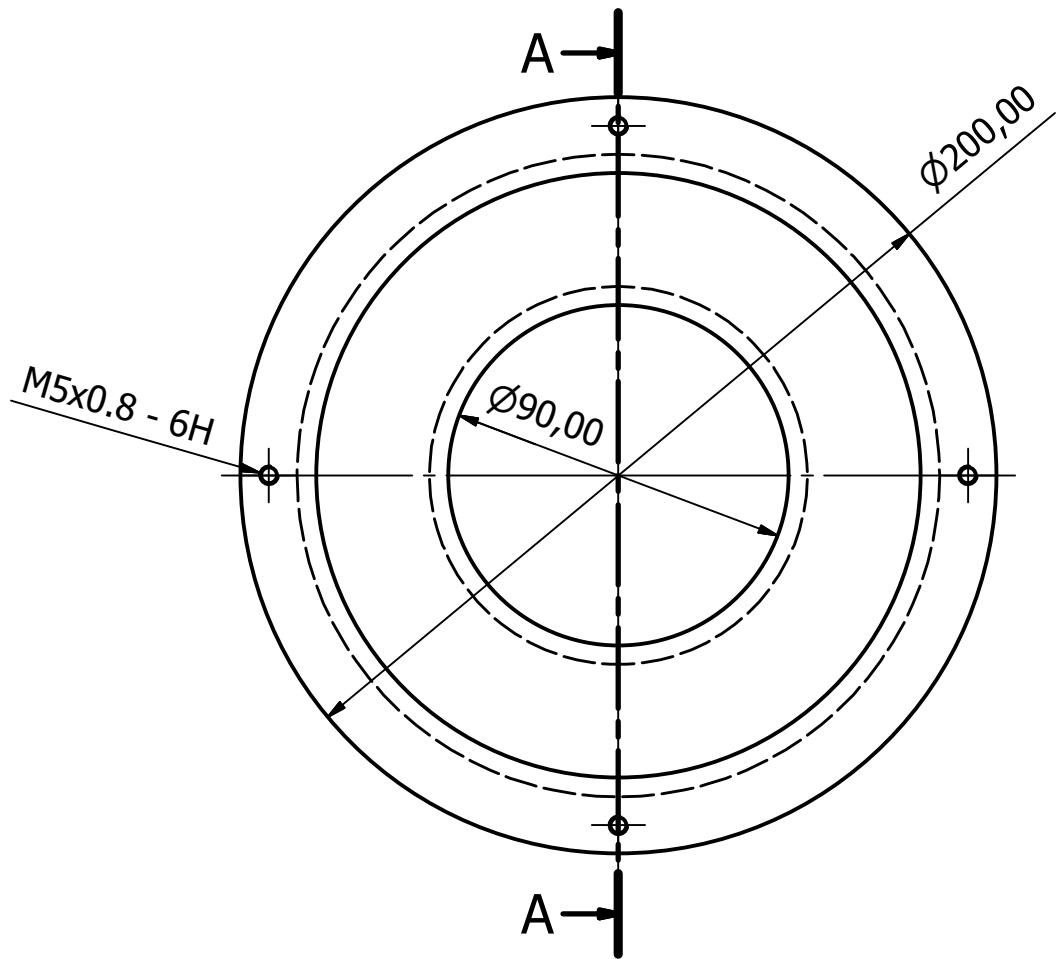


Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Tapas eje de entrada	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Nº Hoja: 12

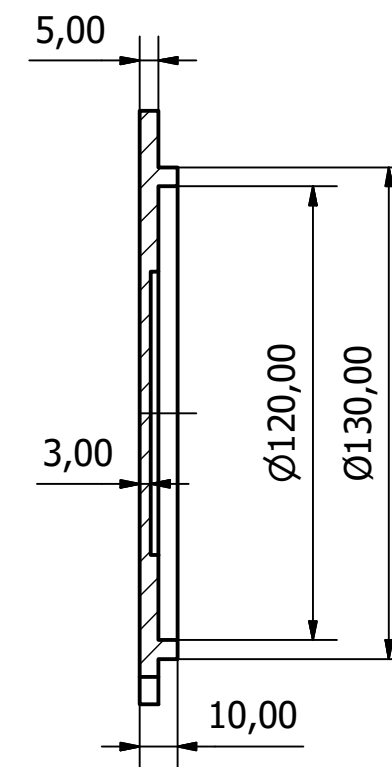
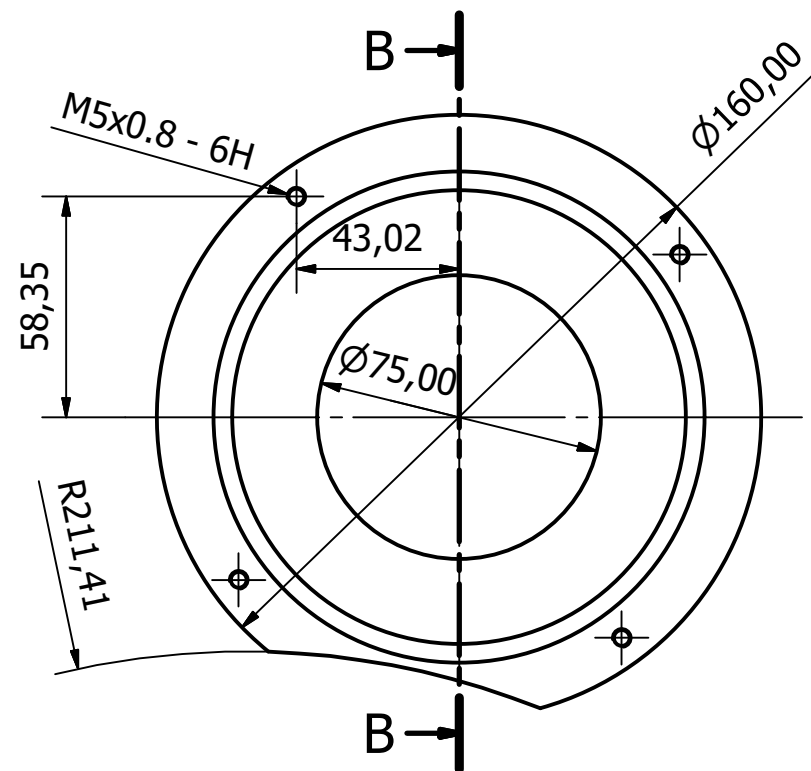
Escala: 1 : 1



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm	Plano: Tapas eje intermedio	
	Autor: Adrià Bauset García	Fecha: Julio 2016
	Tutor: José Enrique Tarancón Caro	Escala: 1 : 2
		Nº Hoja: 13



A-A (1 : 2)



B-B (1 : 2)



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Plano: Tapas eje de salida

Autor: Adrià Bauset García

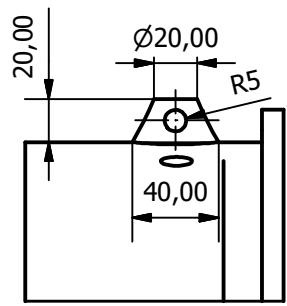
Fecha: Julio 2016

Nº Hoja:

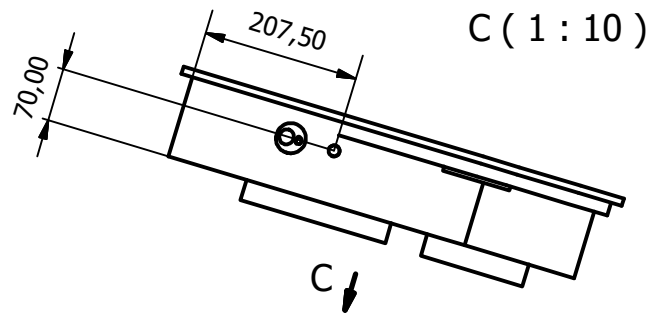
Tutor: José Enrique Tarancón Caro

Escala: 1 : 2

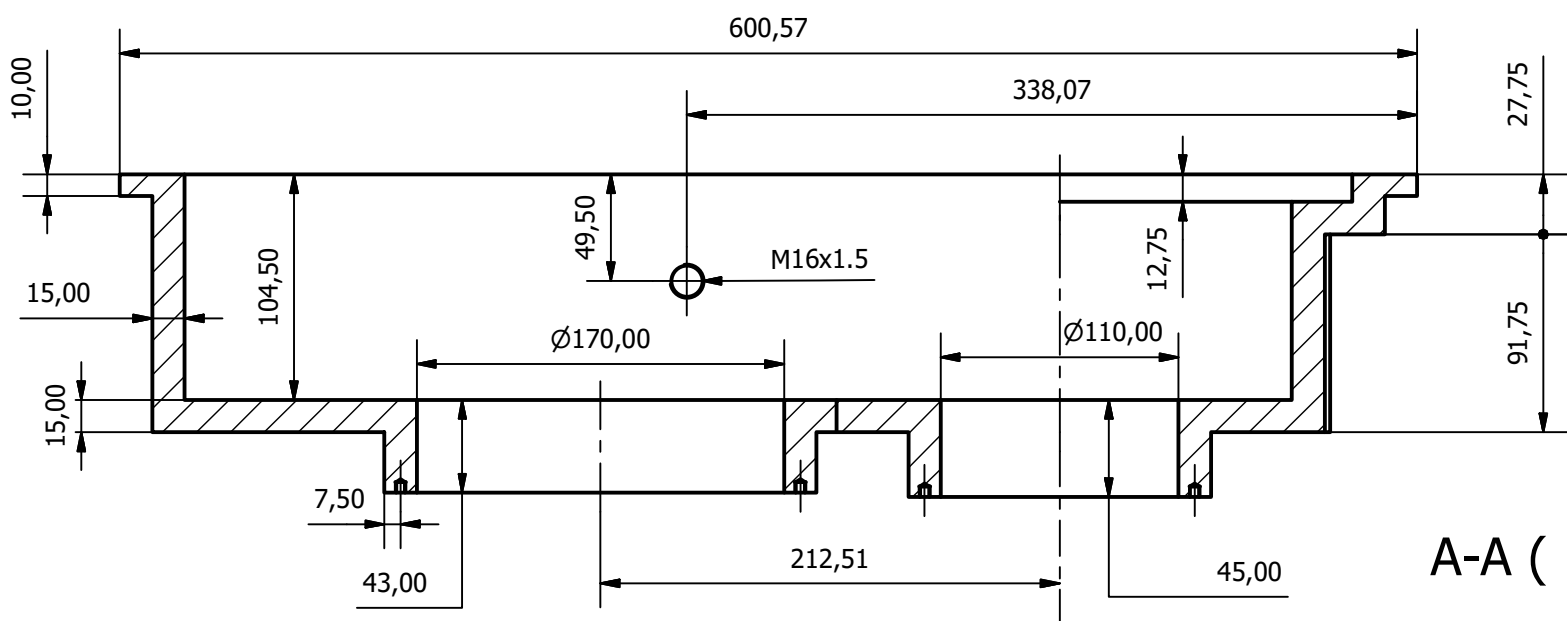
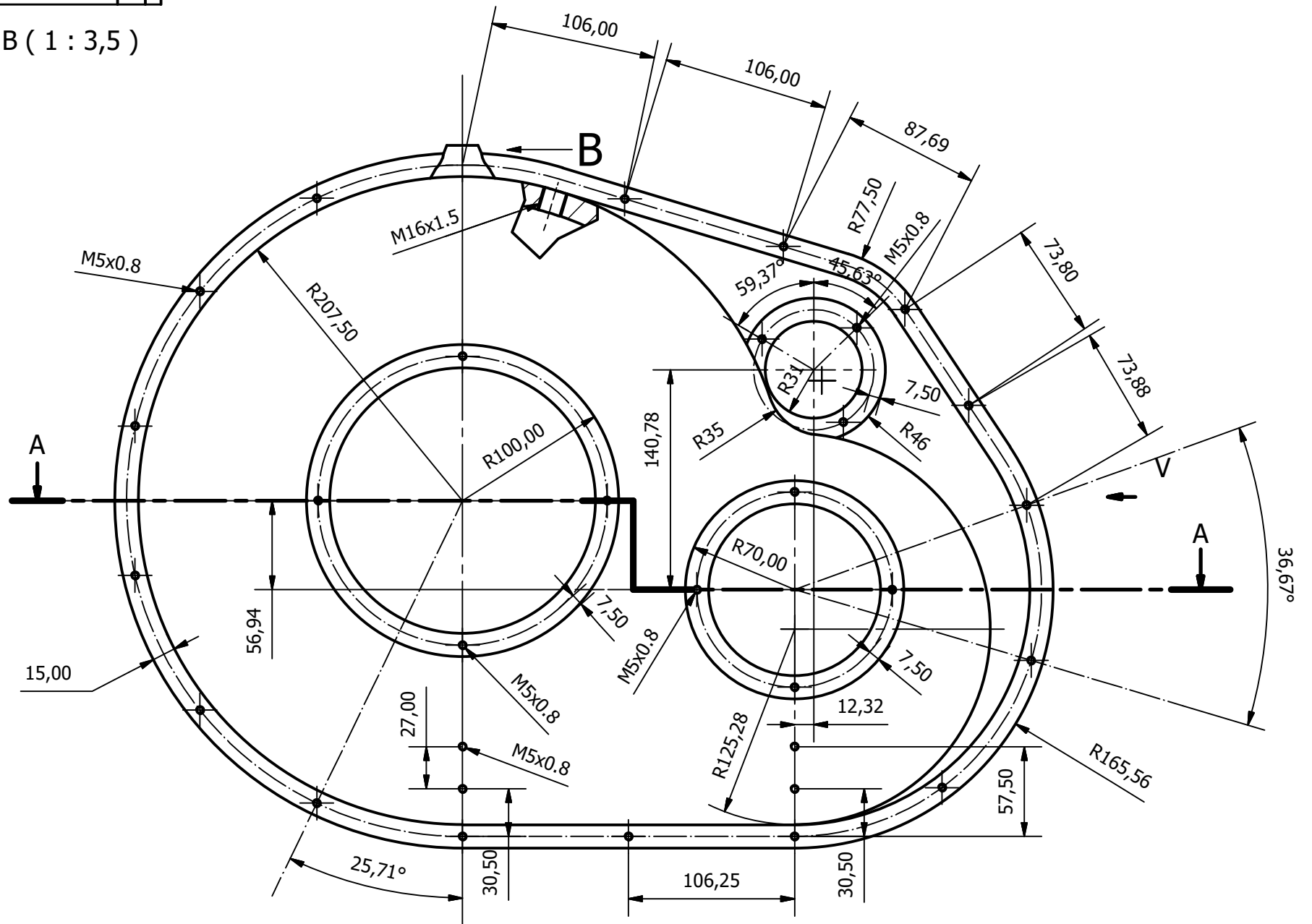
14



B (1 : 3,5)



C (1 : 10)



A-A (1 : 3,5)



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Plano: Cara derecha de la carcasa

Autor: Adrià Bauset García

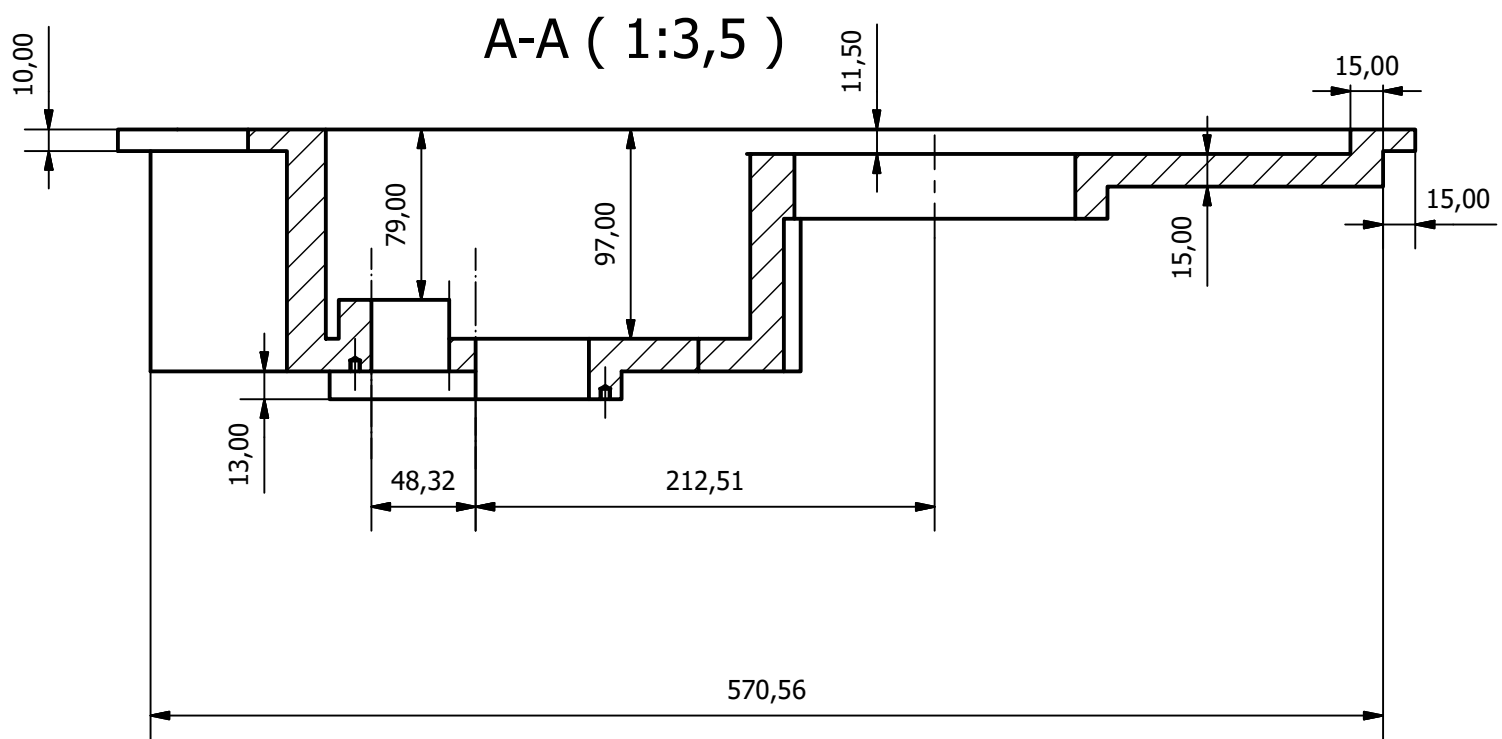
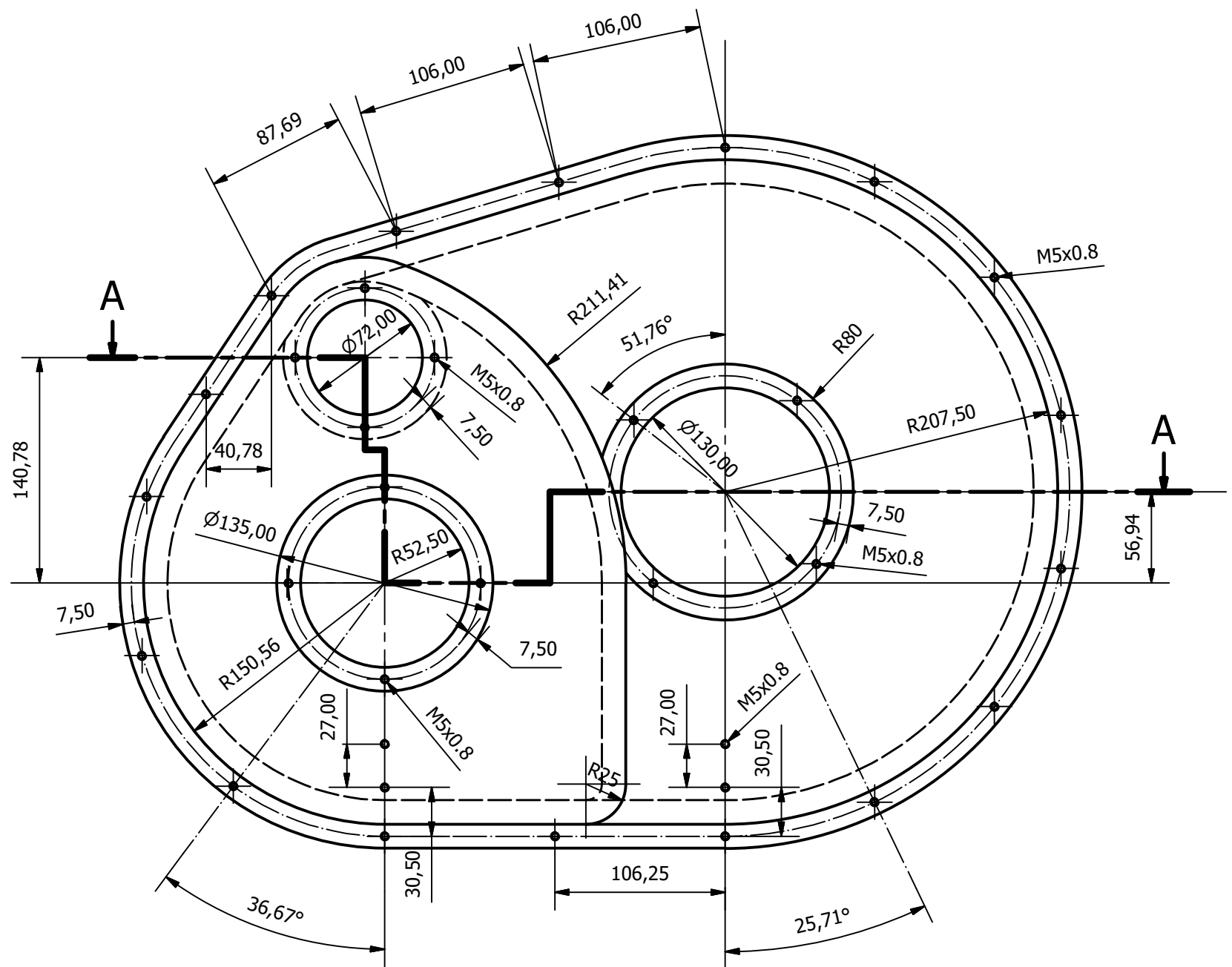
Fecha: Julio 2016

Nº Hoja:

Tutor: José Enrique Tarancón Caro

Escala: 1 : 3,5

15



Proyecto: DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD
CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Plano: Cara izquierda de
la carcasa

Autor: Adrià Bauset García

Fecha: Julio 2016

Nº Hoja:

Tutor: José Enrique Tarancón Caro

Escala: 1 : 3,5

16

DOCUMENTO Nº3

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA
SALIDA DE 3200 Nm**

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Cubicaciones	1
1.1. Ejes del reductor	1
1.1.1. Eje de entrada	1
1.1.2. Eje intermedio	1
1.1.3. Eje de salida	1
1.2. Engranajes	2
1.2.1. Piñón 1ª etapa	2
1.2.2. Rueda 1ª etapa	2
1.2.3. Piñón 2ª etapa	3
1.2.4. Rueda 2ª etapa	3
1.3. Carcasa	3
2. Listado de precios de unidades de obra	4
2.1. Materiales	4
2.2. Procesos mecánicos y tratamientos	5
2.3. Mano de obra	5
3. Cuadro de presupuesto	6
3.1. Cuadro de precios descompuestos	6
3.2. Presupuesto de ejecución material	8
3.3. Presupuesto de ejecución por contrata	8
3.4. Presupuesto base de licitación y precio final	8

1. CUBICACIONES

1.1. EJES DEL REDUCTOR.

Para la fabricación de los ejes, se partirá de cilindros del material seleccionado con unas dimensiones algo superiores al mayor diámetro de sección de cada eje y a la longitud total de éstos. A partir de estas piezas se procederá a realizar las distintas fases de mecanizado de la pieza hasta el conformado final de cada eje. La medición partirá del volumen del cilindro bruto inicial:

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L$$

Y teniendo en cuenta la expresión de la masa, obtendremos la medición del eje en Kg:

$$m = V \cdot \rho$$

1.1.1. Eje de entrada.

Las principales dimensiones para el eje de entrada son las siguientes:

- Material: Acero C45/F-1140
- Densidad: 7800 kg/m^3
- Diámetro: 45 mm.
- Longitud: 220 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,045^2}{4} \cdot 0,22 = 0,00035 \text{ m}^3 \rightarrow m = 0,00035 \cdot 7800 = 2,729 \text{ Kg}$$

1.1.2. Eje intermedio.

Las principales dimensiones para el eje intermedio son las siguientes:

- Material: Acero C45/F-1140
- Densidad: 7800 kg/m^3
- Diámetro: 60 mm.
- Longitud: 280 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,06^2}{4} \cdot 0,28 = 0,000792 \text{ m}^3 \rightarrow m = 0,000792 \cdot 7800 = 6,175 \text{ Kg}$$

1.1.3. Eje de salida.

Las principales dimensiones para el eje de salida son las siguientes:

- Material: Acero C45/F-1140
- Densidad: 7800 kg/m^3
- Diámetro: 90 mm.
- Longitud: 340 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,09^2}{4} \cdot 0,34 = 0,002163 \text{ m}^3 \rightarrow m = 0,002163 \cdot 7800 = 16,871 \text{ Kg}$$

1.2. ENGRANAJES.

Para la fabricación de los engranajes, se seguirá el mismo procedimiento realizado en la medición de los ejes, tomando cilindros brutos de material, esta vez con unas dimensiones algo superiores al diámetro exterior correspondiente a la cabeza del diente y al ancho de cada engranaje. De estos cilindros se realizarán las distintas fases de mecanizado de la pieza hasta el conformado final de cada engranaje. El volumen de la pieza inicial se obtendrá:

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot b$$

Y teniendo en cuenta la expresión de la masa, obtendremos la medición de cada engranaje en Kg:

$$m = V \cdot \rho$$

1.2.1. Piñón 1ª etapa.

Las principales dimensiones para el piñón de la primera etapa son las siguientes:

- Material: Acero F-1252 (42CrMo5)
- Densidad: 7850 kg/m^3
- Diámetro: 75 mm.
- Ancho de engranaje: 75 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,075^2}{4} \cdot 0,075 = 0,000331 \text{ m}^3 \rightarrow m = 0,000331 \cdot 7850 = 2,601 \text{ Kg}$$

1.2.2. Rueda 1ª etapa.

Las principales dimensiones para la rueda de la primera etapa son las siguientes:

- Material: Acero F-1252 (42CrMo5)
- Densidad: 7850 kg/m^3
- Diámetro: 240 mm.
- Ancho de engranaje: 85 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,24^2}{4} \cdot 0,085 = 0,003845 \text{ m}^3 \rightarrow m = 0,003845 \cdot 7850 = 30,186 \text{ Kg}$$

1.2.3. Piñón 2ª etapa.

Las principales dimensiones para el piñón de la segunda etapa son las siguientes:

- Material: Acero F-1252 (42CrMo5)
- Densidad: 7850 kg/m^3
- Diámetro: 120 mm.
- Ancho de engranaje: 115 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,12^2}{4} \cdot 0,115 = 0,0013 \text{ m}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,0013 \cdot 7850 = 10,21 \text{ Kg}$$

1.2.4. Rueda 2ª etapa.

Las principales dimensiones para la rueda de la segunda etapa son las siguientes:

- Material: Acero F-1252 (42CrMo5)
- Densidad: 7850 kg/m^3
- Diámetro: 370 mm.
- Ancho de engranaje: 120 mm.

$$V = \pi \cdot \frac{0,37^2}{4} \cdot 0,12 = 0,012903 \text{ m}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,012903 \cdot 7850 = 101,285 \text{ Kg}$$

1.3. CARCASA.

Dado que la forma de la carcasa y las tapas de cada eje son irregulares y difíciles de medir, se ha procedido a obtener el volumen de estas piezas mediante Autodesk Inventor, el mismo software utilizado para el modelado en 3D.

El material elegido para la construcción de la carcasa es Fundición Gris FG-20, con una densidad de 7150 kg/m^3 . Por tanto, las mediciones quedan de la siguiente manera:

- Cara izquierda de la carcasa: $V = 4526285,6 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 32,363 \text{ Kg}$
- Cara derecha de la carcasa: $V = 5360993,9 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 38,331 \text{ Kg}$
- Tapa abierta del eje de entrada: $V = 55251,35 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,395 \text{ Kg}$
- Tapa cerrada del eje de entrada: $V = 32711,59 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,234 \text{ Kg}$
- Tapa izquierda del eje intermedio: $V = 79154,49 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,566 \text{ Kg}$
- Tapa derecha del eje intermedio: $V = 81020,26 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,579 \text{ Kg}$
- Tapa abierta del eje de salida: $V = 232994,81 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 1,666 \text{ Kg}$
- Tapa cerrada del eje de salida: $V = 98228,28 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \quad m = 0,702 \text{ Kg}$

2. LISTADO DE PRECIOS DE UNIDADES DE OBRA

2.1. MATERIALES.

Aceros:

- Fundición gris FG 20: 1,1 €/Kg
- Acero F-1140: 1,3 €/Kg
- Acero F-1252: 1,85 €/Kg

Arandelas elásticas:

- Arandela elástica \varnothing 30: 0,12 €/ud.
- Arandela elástica \varnothing 35: 0,15 €/ud.
- Arandela elástica \varnothing 50: 0,24 €/ud.
- Arandela elástica \varnothing 75: 0,3 €/ud.
- Arandela elástica \varnothing 80: 0,32 €/ud.

Casquillos:

- Casquillo eje de entrada: 0,35 €/ud.
- Casquillo eje intermedio (apoyado en la rueda): 0,55 €/ud.
- Casquillo eje intermedio (apoyado en el piñón): 0,6 €/ud.
- Casquillo eje de salida: 0,8 €/ud.

Chavetas:

- Chaveta eje de entrada: 1,3 €/ud.
- Chaveta eje intermedio: 1,6 €/ud.
- Chaveta eje de salida: 2 €/ud.

Juntas de estanqueidad:

- Junta eje de entrada: 1,05 €/ud.
- Junta eje intermedio: 1,25 €/ud.
- Junta eje de salida: 1,5 €/ud.

Retenes:

- Retén eje de entrada: 2,25 €/ud.
- Retén eje de salida: 3,7 €/ud.

Rodamientos:

- Rodamientos NU 2207 ECP: 92,10 €/ud.
- Rodamientos 32206 BJ2/QCL7CVA606: 47,80 €/ud.
- Rodamientos T7FC 050/QCL7C: 153,50 €/ud.
- Rodamientos NU 2310 ECP: 235,50 €/ud.
- Rodamientos NU 215 ECP: 207 €/ud.
- Rodamientos 6316: 296,50 €/ud.

Tornillería:

- Tornillos: 0,2 €/ud.
- Tuercas: 0,15 €/ud.

Otros:

- Lubricante: 3,65 €/l
- Tapón para el lubricante: 0,35 €/ud.
- Mirilla de control de nivel del lubricante: 0,45 €/ud.
- Pintura en polvo termoendurecible: 4,35 €/l
- Moldes y demás procesos: 103,95 €/ud.

2.2. PROCESOS MECÁNICOS Y TRATAMIENTOS.

Procesos sobre los engranajes:

- Tronzado: 20 €/h
- Torneado: 40 €/h
- Taladrado: 15 €/h
- Mortajado: 15 €/h
- Fresado de dientes: 25 €/h
- Cementación: 35 €/h
- Rectificado: 35 €/h

Procesos sobre los ejes:

- Tronzado: 20 €/h
- Torneado: 40 €/h
- Fresado de chavetas: 25 €/h
- Rectificado: 35 €/h

Procesos sobre la carcasa:

- Taladrado: 15 €/h
- Roscado: 10 €/h

2.3. MANO DE OBRA.

La mano de obra y su coste se han incluido en cada uno de los procesos del apartado anterior. No obstante, debido a que es necesario estimar también el precio de montaje del reductor, se definirán siguiendo estos precios:

- Oficial 1ª: 9,5 €/h
- Oficial 2ª: 6 €/h

3. CUADRO DE PRESUPUESTO

CUADRO DE PRECIO DESCOMPUESTOS				
Capítulo 1 - Eje de entrada	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1140	Kg	2,729	1,30 €	3,55 €
Arandela elástica ø30	Ud	1	0,12 €	0,12 €
Arandela elástica ø35	Ud	1	0,15 €	0,15 €
Casquillo	Ud	1	0,35 €	0,35 €
Chaveta	Ud	1	1,30 €	1,30 €
Junta de estanqueidad	Ud	2	1,05 €	2,10 €
Retén	Ud	1	2,25 €	2,25 €
Rodamiento NU 2207 ECP	Ud	1	92,10 €	92,10 €
Rodamientos 32206 BJ2/QCL7CVA606	Ud	1	47,80 €	47,80 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Fresado de chavetas	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

TOTAL: 199,22 €

Capítulo 2 - Eje intermedio	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1140	Kg	6,175	1,30 €	8,03 €
Arandela elástica ø50	Ud	1	0,24 €	0,24 €
Casquillo (apoyado en rueda)	Ud	1	0,55 €	0,55 €
Casquillo (apoyado en piñón)	Ud	1	0,60 €	0,60 €
Chaveta	Ud	2	1,60 €	3,20 €
Junta de estanqueidad	Ud	2	1,25 €	2,50 €
Rodamientos T7FC 050/QCL7C	Ud	1	153,50 €	153,50 €
Rodamientos NU 2310 ECP	Ud	1	235,50 €	235,50 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Fresado de chavetas	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

TOTAL: 453,62 €

Capítulo 3 - Eje de salida	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1140	Kg	16,871	1,30 €	21,93 €
Arandela elástica ø75	Ud	1	0,30 €	0,30 €
Arandela elástica ø80	Ud	1	0,32 €	0,32 €
Casquillo	Ud	1	0,80 €	0,80 €
Chaveta	Ud	1	2,00 €	2,00 €
Junta de estanqueidad	Ud	2	1,50 €	3,00 €
Retén	Ud	1	3,70 €	3,70 €
Rodamientos NU 215 ECP	Ud	1	207,00 €	207,00 €
Rodamientos 6316	Ud	1	296,50 €	296,50 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Fresado de chavetas	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

TOTAL: 585,05 €

Capítulo 4 - Piñón 1ª etapa	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1252	Kg	2,601	1,85 €	4,81 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Taladrado	h	0,2	25,00 €	5,00 €
Mortajado	h	0,3	35,00 €	10,50 €
Fresado de dientes	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Cementación	h	0,75	2,25 €	1,69 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

TOTAL: 71,50 €

Capítulo 5 - Rueda 1ª etapa	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1252	Kg	30,186	1,85 €	55,84 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Taladrado	h	0,2	25,00 €	5,00 €
Mortajado	h	0,3	35,00 €	10,50 €
Fresado de dientes	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Cementación	h	0,75	2,25 €	1,69 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

TOTAL: 122,53 €

Capítulo 6 - Piñón 2ª etapa	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1252	Kg	10,210	1,85 €	18,89 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Taladrado	h	0,2	25,00 €	5,00 €
Mortajado	h	0,3	35,00 €	10,50 €
Fresado de dientes	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Cementación	h	0,75	2,25 €	1,69 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

TOTAL: 85,58 €

Capítulo 7 - Rueda 2ª etapa	Unidades	Medición	Precio	Importe
Acero F-1252	Kg	101,285	1,85 €	187,38 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Taladrado	h	0,2	25,00 €	5,00 €
Mortajado	h	0,3	35,00 €	10,50 €
Fresado de dientes	h	0,55	25,00 €	13,75 €
Cementación	h	0,75	2,25 €	1,69 €
Rectificado	h	0,25	35,00 €	8,75 €

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

TOTAL: 254,06 €

Capítulo 8 - Carcasa	Unidades	Medición	Precio	Importe
Fundición Gris FG 20	Kg	74,836	1,10 €	82,32 €
Moldes y demás procesos	Ud	1	103,95 €	103,95 €
Tapón para el lubricante	Ud	1	0,35 €	0,35 €
Mirilla de control de nivel	Ud	1	0,45 €	0,45 €
Tornillo	Ud	40	0,20 €	8,00 €
Tuerca	Ud	17	0,15 €	2,55 €
Pintura termoendurecible	l	5	4,35 €	21,75 €
Lubricante	l	20	3,65 €	73,00 €
Tronzado	h	0,15	20,00 €	3,00 €
Torneado	h	0,6	40,00 €	24,00 €
Taladrado	h	0,4	25,00 €	10,00 €
Roscado	h	0,3	35,00 €	10,50 €

TOTAL: 339,87 €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Eje de entrada	199,22 €
Eje intermedio	453,62 €
Eje de salida	585,05 €
Piñón 1ª etapa	71,50 €
Rueda 1ª etapa	122,53 €
Piñón 2ª etapa	85,58 €
Rueda 2ª etapa	254,06 €
Carcasa	339,87 €
Montaje del reductor (mano de obra)	12,00 €

TOTAL: 2.123,43 €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Presupuesto de ejecución material	2.123,43 €
Gastos generales (13%)	276,05 €
Beneficio industrial (6%)	127,41 €

TOTAL: 2.526,88 €

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

Presupuesto de ejecución por contrata	2.526,88 €
IVA (21%)	530,64 €

PRESUPUESTO FINAL: 3.057,52 €

Por tanto, el precio del presente reductor de velocidad asciende a un total de:

3.057,52 €

DOCUMENTO Nº4

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA
SALIDA DE 3200 Nm**

ANEJOS

ÍNDICE DE LOS ANEJOS

1. Cálculos	1
1.1. Selección de módulos válidos	1
1.1.1. Primera etapa	1
1.1.2. Segunda etapa	1
1.2. Selección del material	2
1.2.1. Primera etapa	2
1.2.2. Segunda etapa	5
1.2.3. Módulos finalmente seleccionados	8
1.3. Cálculo del ancho de los engranajes	9
1.3.1. Primera etapa	9
1.3.2. Segunda etapa	10
1.4. Cálculo de fuerzas	11
1.5. Factores modificadores del límite de fatiga	12
1.6. Cálculo de los rodamientos	14
1.6.1. Factores de corrección de vida	14
1.6.2. Cálculo de la fuerza equivalente en rodamientos	16
2. Elementos estandarizados	18
2.1. Chavetas	18
2.2. Arandelas elásticas	18
2.3. Rodamientos	19
3. Materiales utilizados en la fabricación de engranajes	24

1. CÁLCULOS

1.1. SELECCIÓN DE MÓDULOS VÁLIDOS.

1.1.1. Primera etapa.

Módulo normal	Módulo aparente	D piñón estimado	Z piñón estimado	Z piñón normalizada	D piñón normalizada	Z rueda	Z rueda normalizada	Z rueda (Sin divisores comunes)	D rueda normalizado	Relación velocidades
0,5	0,518	42,850	82,778	83	42,965	315,400	315	315	163,060	3,795
0,6	0,621	43,500	70,028	70	43,483	266,000	266	266	165,234	3,800
0,8	0,828	44,800	54,090	54	44,725	205,200	205	205	169,790	3,796
1	1,035	46,100	44,528	45	46,589	171,000	171	171	177,037	3,800
1,25	1,294	47,725	36,878	37	47,883	140,600	141	141	182,472	3,811
1,5	1,553	49,350	31,778	32	49,695	121,600	122	123	191,014	3,844
2	2,071	52,600	25,403	25	51,765	95,000	95	96	198,778	3,840
2,5	2,588	55,850	21,578	22	56,942	83,600	84	85	220,002	3,864
3	3,106	59,100	19,028	19	59,012	72,200	72	72	223,626	3,789
4	4,141	65,600	15,841	16	66,259	60,800	61	61	252,614	3,813
5	5,177	72,100	13,928	14	72,471	53,200	53	53	274,356	3,786
6	6,212	78,600	12,653	13	80,754	49,400	49	49	304,379	3,769
8	8,282	91,600	11,060	11	91,107	41,800	42	42	347,862	3,818
10	10,353	104,600	10,103	10	103,530	38,000	38	38	393,415	3,800
12	12,424	117,600	9,466	9	111,813	34,200	34	34	422,404	3,778
16	16,565	143,600	8,669	9	149,084	34,200	34	34	563,205	3,778
20	20,706	169,600	8,191	8	165,649	30,400	30	30	621,182	3,750
25	25,883	202,100	7,808	8	207,061	30,400	30	30	776,478	3,750

1.1.2. Segunda etapa.

Módulo normal	Módulo aparente	D piñón estimado	Z piñón estimado	Z piñón normalizada	D piñón normalizada	Z rueda	Z rueda normalizada	Z rueda (Sin divisores comunes)	D rueda normalizado	Relación velocidades
0,5	0,518	62,850	121,414	122	63,154	449,448	450	451	233,461	3,697
0,6	0,621	63,500	102,224	103	63,982	379,452	380	380	236,049	3,689
0,8	0,828	64,800	78,238	79	65,431	291,036	292	292	241,847	3,696
1	1,035	66,100	63,846	64	66,259	235,776	236	236	244,332	3,688
1,25	1,294	67,725	52,332	53	68,589	195,252	196	196	253,649	3,698
1,5	1,553	69,350	44,657	45	69,883	165,780	166	166	257,791	3,689
2	2,071	72,600	35,062	36	74,542	132,624	133	133	275,391	3,694
2,5	2,588	75,850	29,305	30	77,648	110,520	111	111	287,297	3,700
3	3,106	79,100	25,468	26	80,754	95,784	96	97	301,273	3,731
4	4,141	85,600	20,670	21	86,966	77,364	78	78	323,015	3,714
5	5,177	92,100	17,792	18	93,177	66,312	67	67	346,827	3,722
6	6,212	98,600	15,873	16	99,389	58,944	59	59	366,498	3,688
8	8,282	111,600	13,474	14	115,954	51,576	52	52	430,686	3,714
10	10,353	124,600	12,035	13	134,590	47,892	48	48	496,946	3,692
12	12,424	137,600	11,076	12	149,084	44,208	45	45	559,064	3,750
16	16,565	163,600	9,876	9	149,084	33,156	34	34	563,205	3,778
20	20,706	189,600	9,157	9	186,355	33,156	34	34	704,007	3,778
25	25,883	222,100	8,581	8	207,061	29,472	30	30	776,478	3,750

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

1.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL.

1.2.1. Primera etapa.

Datos generales			Tabla de materiales				Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
			Nº	Material de los engranajes	HB _{r1}	HB _{r2}	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		b _{final}		
X	1,25		1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Pot	33510,22 W		2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	1,39 -	O.K.	-		
i	3,81		3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,02 -	CAMBIAR	-		
ω _{piñón}	1400 rpm		4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
m _n	1,25 mm		5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
β	15 °		6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	1,57	O.K.	-		
α _n	20 °		7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	1,09	CAMBIAR	-		
d ₁	47,883 mm		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Datos eje			9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	1,17	CAMBIAR	-		
E eje	2,06E+11 N/m ²		10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	26,95	O.K.	0,52	CAMBIAR	-		
v _{eje}	0,3		11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	49,02	O.K.	0,65	CAMBIAR	-		
θ/L _{max}	1,5 °/m		12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	44,38	O.K.	0,67	CAMBIAR	-		
d _{eje}	33 mm		13	Ac. de nitrocarburation	450	450			-	CAMBIAR	0,98	CAMBIAR	-		
Datos Engranajes			Tabla de materiales				Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
			Nº	Material de los engranajes	HB _{r1}	HB _{r2}	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		b _{final}		
v ₄₀	320 mm ² /s		1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Qiso	5		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
K _A	1,5		3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Datos para KHβ			4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Ajuste			5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
			6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
			7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	1,54 - 1,55	O.K.	-		
			8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Unidades			9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	1,75	CAMBIAR	-		
Dureza	en	HB ó HV	10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	26,95	O.K.	0,52	CAMBIAR	-		
Sy1	en	N/mm ²	11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	59,37	O.K.	0,69	CAMBIAR	-		
Sy2	en	N/mm ²	12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	44,38	O.K.	0,67	CAMBIAR	-		
bH	en	mm	13	Ac. de nitrocarburation	300	300			-	CAMBIAR	1,07	CAMBIAR	-		
b _{final}	en	mm													

Datos generales			Tabla de materiales				Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
			Nº	Material de los engranajes	HB _{r1}	HB _{r2}	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		b _{final}		
X	1,25		1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	0,72	CAMBIAR	-		
Pot	33510,22 W		2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	1,63 -	O.K.	-		
i	3,84		3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,18 -	CAMBIAR	-		
ω _{piñón}	1400 rpm		4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
m _n	1,5 mm		5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
β	15 °		6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	1,81	O.K.	-		
α _n	20 °		7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	157779,35	CAMBIAR	1,26 - 1,27	O.K.	-		
d ₁	49,695 mm		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Datos eje			9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	1,35	O.K.	-		
E eje	2,06E+11 N/m ²		10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	24,65	O.K.	0,61	CAMBIAR	-		
v _{eje}	0,3		11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	42,58	O.K.	0,76	CAMBIAR	-		
θ/L _{max}	1,5 °/m		12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	39,12	O.K.	0,79	CAMBIAR	-		
d _{eje}	33 mm		13	Ac. de nitrocarburation	450	450			1502,81	CAMBIAR	1,15	CAMBIAR	-		
Datos Engranajes			Tabla de materiales				Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
			Nº	Material de los engranajes	HB _{r1}	HB _{r2}	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		b _{final}		
v ₄₀	320 mm ² /s		1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Qiso	5		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
K _A	1,5		3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,83 -	O.K.	-		
Datos para KHβ			4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Ajuste			5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
			6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
			7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	1,78 - 1,79	O.K.	-		
			8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Unidades			9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	2,02 - 2,03	O.K.	-		
Dureza	en	HB ó HV	10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	24,65	O.K.	0,61	CAMBIAR	-		
Sy1	en	N/mm ²	11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	49,35	O.K.	0,79	CAMBIAR	-		
Sy2	en	N/mm ²	12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	39,12	O.K.	0,79	CAMBIAR	-		
bH	en	mm	13	Ac. de nitrocarburation	300	300			-	CAMBIAR	1,25	CAMBIAR	-		
b _{final}	en	mm													

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	0,76	CAMBIAR	-
i	3,84	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	1,7 -	O.K.	-
ω _{piñón}	1400 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,2 -	CAMBIAR	-
m _n	2 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	1,85 - 1,86	O.K.	-
d ₁	51,765 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	189,39	CAMBIAR	1,32 - 1,33	O.K.	-
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215			-	CAMBIAR	1,98	O.K.	-
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	1,38	O.K.	-
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	23,1	O.K.	0,63	CAMBIAR	-
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	37,93	O.K.	0,78	CAMBIAR	-
d _{eje}	33 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	35,14	O.K.	0,82	CAMBIAR	-
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburação	450	450			93,3	CAMBIAR	1,23	CAMBIAR	-
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Ajuste	b,c	3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,87 -	O.K.	-
		4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	1,82 - 1,84	O.K.	-
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	2,07	O.K.	-
		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	23,1	O.K.	0,63	CAMBIAR	-
		11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	43,07	O.K.	0,82	CAMBIAR	-
		12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	35,14	O.K.	0,82	CAMBIAR	-
		13	Ac. de nitrocarburação	300	300			-	CAMBIAR	1,29	O.K.	-
Unidades												
Dureza	en HB ó HV											
Sy1	en N/mm ²											
Sy2	en N/mm ²											
bH	en mm											
bfinal	en mm											

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	1,05	CAMBIAR	-
i	3,86	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	2,36 -	O.K.	-
ω _{piñón}	1400 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	2977,05	CAMBIAR	1,65 -	O.K.	-
m _n	2,5 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	2,52 - 2,53	O.K.	-
d ₁	56,942 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	66,7	O.K.	1,8 - 1,82	CAMBIAR	67
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215			-	CAMBIAR	2,67	O.K.	-
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	122,64	CAMBIAR	1,94 - 1,95	O.K.	-
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	20,42	O.K.	0,91	CAMBIAR	-
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	29,63	O.K.	1,08	CAMBIAR	-
d _{eje}	33 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	28,2	O.K.	1,16	CAMBIAR	-
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburação	450	450			50,03	O.K.	1,68	O.K.	51
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Ajuste	b,c	3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	2,55 -	O.K.	-
		4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	3,22 - 3,23	O.K.	-
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	2,49 - 2,52	O.K.	-
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	3,25	O.K.	-
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	2,83 - 2,84	O.K.	-
		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	20,42	O.K.	0,91	CAMBIAR	-
		11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	32,65	O.K.	1,12	CAMBIAR	-
		12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	28,2	O.K.	1,16	CAMBIAR	-
		13	Ac. de nitrocarburação	300	300			437,8	CAMBIAR	1,83	O.K.	-
Unidades												
Dureza	en HB ó HV											
Sy1	en N/mm ²											
Sy2	en N/mm ²											
bH	en mm											
bfinal	en mm											

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Datos generales			Tabla de materiales				Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _f	bfinal				
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	1,05	CAMBIAR	-			
i	3,79	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	2,34 -	O.K.	-			
ω _{piñón}	1400 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	171,56	O.K.	1,67 -	O.K.	-			
m _n	3 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-			
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	3,57 - 3,6	O.K.	-			
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	2,48 - 2,49	O.K.	-			
d ₁	59,012 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	59,33	O.K.	1,77 - 1,8	O.K.	60			
Datos eje			8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215		-	CAMBIAR	2,62	O.K.	-			
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	89,42	CAMBIAR	1,91	O.K.	90			
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	19,87	O.K.	0,91	CAMBIAR	-			
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	29,31	O.K.	1,09	CAMBIAR	-			
d _{eje}	33 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	27,81	O.K.	1,18	CAMBIAR	-			
Datos Engranajes			13	Ac. de nitrocarburation	450	450		45,06	O.K.	1,67	O.K.	46			
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales				Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión			
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _f	bfinal				
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	1,23	CAMBIAR	-			
Datos para KHβ			2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Ajuste			3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	2,49 -	O.K.	-		
Unidades			4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Dureza	en HB ó HV	5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-			
Sy1	en N/mm ²	6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	3,16 - 3,17	CAMBIAR	-			
Sy2	en N/mm ²	7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	19,87	O.K.	2,44 - 2,47	O.K.	-			
bH	en mm	8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	3,19	O.K.	-			
bfinal	en mm	9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	2,78	O.K.	-			
			10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	31,75	O.K.	0,91	CAMBIAR	-		
			11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	27,81	O.K.	1,13	CAMBIAR	-		
			12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	104,68	CAMBIAR	1,18	CAMBIAR	-		
			13	Ac. de nitrocarburation	300	300			-	CAMBIAR	1,83	O.K.	105		

Datos generales			Tabla de materiales				Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _f	bfinal				
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	1,24	CAMBIAR	-			
i	3,81	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	2,76 -	O.K.	-			
ω _{piñón}	1400 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	69,09	O.K.	1,92 -	O.K.	70			
m _n	4 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	4,47 -	O.K.	-			
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	4,13 - 4,18	O.K.	-			
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	7059,8	CAMBIAR	2,89 - 2,9	O.K.	-			
d ₁	66,259 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	43,85	O.K.	2,1 - 2,13	O.K.	44			
Datos eje			8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215		-	CAMBIAR	3,04	O.K.	-			
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	55,96	O.K.	2,22 - 2,23	O.K.	56			
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	16,44	O.K.	1,09	CAMBIAR	-			
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	24,65	O.K.	1,33	O.K.	25			
d _{eje}	33 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	23,33	O.K.	1,45	O.K.	24			
Datos Engranajes			13	Ac. de nitrocarburation	450	450		35,9	O.K.	2,04	O.K.	36			
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales				Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión			
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _f	bfinal				
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	1,46	O.K.	-			
Datos para KHβ			2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	4,59 -	O.K.	-		
Ajuste			3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	2,88 -	O.K.	-		
Unidades			4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-		
Dureza	en HB ó HV	5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-			
Sy1	en N/mm ²	6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	3,66 - 3,68	O.K.	-			
Sy2	en N/mm ²	7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	103,77	CAMBIAR	2,94 - 2,99	O.K.	104			
bH	en mm	8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	3,7	O.K.	-			
bfinal	en mm	9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	48105,43	CAMBIAR	3,23 - 3,24	O.K.	-			
			10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	16,44	O.K.	1,09	CAMBIAR	-		
			11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	26,77	O.K.	1,38	O.K.	27		
			12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	23,33	O.K.	1,45	O.K.	24		
			13	Ac. de nitrocarburation	300	300			52,6	O.K.	2,14	O.K.	53		

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

1.2.2. Segunda etapa.

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
i	3,69	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	1,87 -	O.K.	-
Φ _{piñón}	368,421 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,37 -	O.K.	-
m _n	2 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	2,1	O.K.	-
d ₁	74,542 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	1,45 - 1,46	O.K.	-
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	1,56	O.K.	-
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	47,71	O.K.	0,77	CAMBIAR	-
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	91,71	O.K.	0,96	CAMBIAR	-
d _{eje}	51 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	81,46	O.K.	0,99	CAMBIAR	-
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburation	450	450			-	CAMBIAR	1,4	O.K.	-
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Ajuste	b,c	3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	2,06 - 2,07	O.K.	-
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	2,34	O.K.	-
Unidades		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	47,71	O.K.	0,77	CAMBIAR	-
Dureza	en HB ó HV	11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	119,62	CAMBIAR	1	CAMBIAR	-
Sy1	en N/mm ²	12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	78,02	O.K.	0,96	CAMBIAR	-
Sy2	en N/mm ²	13	Ac. de nitrocarburation	300	300			-	CAMBIAR	1,43	O.K.	-
bH	en mm											
bfinal	en mm											

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	CAMBIAR	0,91	CAMBIAR	-
i	3,7	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	CAMBIAR	2,05 -	O.K.	-
Φ _{piñón}	368,421 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	-	CAMBIAR	1,48 -	O.K.	-
m _n	2,5 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	2,27	O.K.	-
d ₁	77,648 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	10106,43	CAMBIAR	1,58 - 1,59	O.K.	-
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	1,69	O.K.	-
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	43,08	O.K.	0,83	CAMBIAR	-
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	76,14	O.K.	1,03	CAMBIAR	-
d _{eje}	51 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	69,5	O.K.	1,08	CAMBIAR	-
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburation	450	450			49354,95	CAMBIAR	1,53	O.K.	-
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima				Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH		X _F		bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
Ajuste	b,c	3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	CAMBIAR	2,29 -	O.K.	-
		4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	CAMBIAR	2,23 - 2,25	O.K.	-
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130			-	CAMBIAR	-	CAMBIAR	-
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	CAMBIAR	2,54	O.K.	-
Unidades		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	43,08	O.K.	0,83	CAMBIAR	-
Dureza	en HB ó HV	11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	89,87	O.K.	1,08	CAMBIAR	-
Sy1	en N/mm ²	12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	67,09	O.K.	1,05	CAMBIAR	-
Sy2	en N/mm ²	13	Ac. de nitrocarburation	300	300			-	CAMBIAR	1,57	O.K.	-
bH	en mm											
bfinal	en mm											

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH	X _F	bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	0,99	CAMBIAR
i	3,73	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	2,22 -	O.K.
ω _{piñón}	368,421 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	-	1,57 -	O.K.
m _n	3 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	-	CAMBIAR
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	2,41 - 2,42	O.K.
d ₁	80,754 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	217,23	1,72 - 1,74	O.K.
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215	-	-	-	2,55	O.K.
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	-	1,8	O.K.
v eje	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	39,17	0,88	CAMBIAR
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	66,25	1,1	CAMBIAR
d eje	51 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	61,18	1,16	CAMBIAR
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburação	450	450	-	-	189,66	1,68	O.K.
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH <td>X_F</td> <td>bfinal</td>	X _F	bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	-	CAMBIAR
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	-	CAMBIAR
Ajuste	b,c	3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	2,44 -	O.K.
		4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	-	CAMBIAR
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	3,08 - 3,09	O.K.
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	2,38 - 2,4	O.K.
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130	-	-	-	-	CAMBIAR
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	2,7 - 2,71	O.K.
		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	39,17	0,88	CAMBIAR
		11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	75,85	1,15	CAMBIAR
		12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	59,29	1,13	CAMBIAR
		13	Ac. de nitrocarburação	300	300	-	-	-	1,68	O.K.
Dureza	en HB ó HV									
Sy1	en N/mm ²									
Sy2	en N/mm ²									
bH	en mm									
bfinal	en mm									

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH	X _F	bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	1,12	CAMBIAR
i	3,71	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	2,5 -	O.K.
ω _{piñón}	368,421 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	958041,71	1,73 -	O.K.
m _n	4 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	-	CAMBIAR
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	2,66 - 2,67	O.K.
d ₁	86,966 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	114,84	1,91 - 1,93	O.K.
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215	-	-	-	2,81	O.K.
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	253,45	2,06	O.K.
v eje	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	36,02	1,01	CAMBIAR
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	53,66	1,21	CAMBIAR
d eje	51 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	50,07	1,29	O.K.
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburação	450	450	-	-	93,48	1,87	O.K.
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH <td>X_F</td> <td>bfinal</td>	X _F	bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	-	CAMBIAR
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	-	CAMBIAR
Ajuste	b,c	3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	2,68 -	O.K.
		4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	-	CAMBIAR
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	3,4 - 3,41	O.K.
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	2,63 - 2,66	O.K.
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130	-	-	-	-	CAMBIAR
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	2,99	O.K.
		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	36,02	1,01	CAMBIAR
		11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	60,04	1,27	O.K.
		12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	48,7	1,26	O.K.
		13	Ac. de nitrocarburação	300	300	-	-	20072,13	1,89	O.K.
Dureza	en HB ó HV									
Sy1	en N/mm ²									
Sy2	en N/mm ²									
bH	en mm									
bfinal	en mm									

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH	X _F	bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	1,22	CAMBIAR
i	3,72	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	2,71 -	O.K.
ω _{piñón}	368,421 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	191,47	1,91 -	O.K.
m _n	5 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	4,1 - 4,14	O.K.
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	2,85 - 2,86	O.K.
d ₁	93,177 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	89,55	2,04 - 2,07	O.K.
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215	-	-	-	3,01	O.K.
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	127,8	2,2	O.K.
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	32,67	1,1	CAMBIAR
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	48,26	1,32	O.K.
d _{eje}	51 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	45,79	1,44	O.K.
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburation	450	450	-	-	72,27	2	O.K.
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH	X _F	bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	1,42	O.K.
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	-	CAMBIAR
Ajuste		3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	2,86 -	O.K.
	b,c	4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	-	CAMBIAR
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	3,63 - 3,65	O.K.
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	-	2,81 - 2,85	O.K.
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130	-	-	-	3,66	O.K.
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	3,19 - 3,2	O.K.
		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	32,67	1,1	CAMBIAR
		11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	52,38	1,37	O.K.
		12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	44,81	1,41	O.K.
		13	Ac. de nitrocarburation	300	300	-	-	135	2,11	O.K.
Dureza	en HB ó HV									
Sy1	en N/mm ²									
Sy2	en N/mm ²									
bH	en mm									
bfinal	en mm									

Datos generales		Tabla de materiales		Para dureza de Brinell máxima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
X	1,25	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH	X _F	bfinal
Pot	33510,22 W	1	Fundición Gris	240	240	-	-	-	1,28	O.K.
i	3,69	2	F. maleable corazón negro	250	250	300 -	300 -	-	2,84 -	O.K.
ω _{piñón}	368,421 rpm	3	F. nodular	300	300	250 -	250 -	126,36	1,98 -	O.K.
m _n	6 mm	4	Acero moldeado no aleado	210	210	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
β	15 °	5	Ac. no aleado	210	210	280 - 430	280 - 430	-	4,28 - 4,33	O.K.
α _n	20 °	6	Ac. no alead templado y revenido	215	215	430 - 520	430 - 520	-	2,97 - 2,99	O.K.
d ₁	99,389 mm	7	Ac. aleado templado y revenido	360	360	580 - 1030	580 - 1030	74,91	2,14 - 2,18	O.K.
Datos eje		8	Ac. moldeado no aleado templado	215	215	-	-	-	3,15	O.K.
E eje	2,06E+11 N/m ²	9	Ac. aleado moldeado templado	360	360	650 - 700	650 - 700	100,22	2,3 - 2,31	O.K.
v _{eje}	0,3	10	Ac. de cementación	800	800	735 - 1100	735 - 1100	29,38	1,16	CAMBIAR
θ/L _{max}	1,5 °/m	11	Ac. endurec a la llama o inducción	615	615	786 - 1200	786 - 1200	43,85	1,41	O.K.
d _{eje}	51 mm	12	Ac. de nitruració	900	900	680 - 900	680 - 900	41,53	1,54	O.K.
Datos Engranajes		13	Ac. de nitrocarburation	450	450	-	-	62,98	2,13	O.K.
v ₄₀	320 mm ² /s	Tabla de materiales		Para dureza de Brinell mínima		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Qiso	5	Nº	Material de los engranajes	HBr1	HBr2	Sy1 (min - max)	Sy2 (min - max)	bH	X _F	bfinal
K _A	1,5	1	Fundición Gris	150	150	-	-	-	1,49	O.K.
Datos para KHβ		2	F. maleable corazón negro	135	135	300 -	300 -	-	4,71 -	O.K.
Ajuste		3	F. nodular	175	175	250 -	250 -	-	2,96 -	O.K.
	b,c	4	Acero moldeado no aleado	140	140	240 -	240 -	-	-	CAMBIAR
		5	Ac. no aleado	110	110	280 - 430	280 - 430	-	-	CAMBIAR
		6	Ac. no alead templado y revenido	115	115	430 - 520	430 - 520	-	3,79 - 3,81	O.K.
		7	Ac. aleado templado y revenido	200	200	580 - 1030	580 - 1030	224,85	3,06	O.K.
		8	Ac. moldeado no aleado templado	130	130	-	-	-	3,83	O.K.
		9	Ac. aleado moldeado templado	200	200	650 - 700	650 - 700	-	3,34 - 3,35	O.K.
		10	Ac. de cementación	660	660	735 - 1100	735 - 1100	29,38	1,16	CAMBIAR
		11	Ac. endurec a la llama o inducción	500	500	786 - 1200	786 - 1200	47,69	1,46	O.K.
		12	Ac. de nitruració	450	450	680 - 900	680 - 900	40,62	1,51	O.K.
		13	Ac. de nitrocarburation	300	300	-	-	96,32	2,21	O.K.
Dureza	en HB ó HV									
Sy1	en N/mm ²									
Sy2	en N/mm ²									
bH	en mm									
bfinal	en mm									

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

1.2.3. Módulos finalmente seleccionados.

-1ª Etapa:

Datos generales		Datos eje			Datos para K _{Hβ}				
X	1,25	E eje	2,06E+11	N/m ²	Ajuste b,c				
Pot	33510,22 W	v _{eje}	0,3						
i	3,79	θ/L _{max}	1,5	º/m	Unidades				
ω _{piñón}	1400 rpm	d eje	33	mm	Dureza	en	HB ó HV		
m _n	3 mm	Datos Engranajes			Su	en	N/mm ²		
β	15 º	v ₄₀	320	mm ² /s	Sy	en	N/mm ²		
α _n	20 º	Q _{iso}	5		bH	en	mm		
d ₁	59,012 mm	K _A	1,5		b _{final}	en	mm		
		Límite de Fluencia	Dureza Brinell		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Nº	Material	Su	Sy	HBr	bH		X _F		b _{final}
7	20NiCrMoS2-2	850	580	267	123,13	CAMBIAR	2,16	O.K.	-
7	20MnCr5	980	735	317	74,73	O.K.	1,94	O.K.	75
7	34CrMo4	1000-1200	800	326	70,75	O.K.	1,91	O.K.	71
7	42CrMo5	1100-1300	950	337	66,53	O.K.	1,88	O.K.	67
7	34NiCrMo16	1230-1420	1030	368	57,38	O.K.	1,78	O.K.	58

-2ª Etapa:

Datos generales		Datos eje			Datos para K _{Hβ}				
X	1,25	E eje	2,06E+11	N/m ²	Ajuste b,c				
Pot	33510,22 W	v _{eje}	0,3						
i	3,72	θ/L _{max}	1,5	º/m	Unidades				
ω _{piñón}	368,421 rpm	d eje	51	mm	Dureza	en	HB ó HV		
m _n	5 mm	Datos Engranajes			Su	en	N/mm ²		
β	15 º	v ₄₀	320	mm ² /s	Sy	en	N/mm ²		
α _n	20 º	Q _{iso}	5		bH	en	mm		
d ₁	93,177 mm	K _A	1,5		b _{final}	en	mm		
		Límite de Fluencia	Dureza Brinell		Anchura a fallo superficial		Coef. de seguridad a flexión		
Nº	Material	Su	Sy	HBr	bH		X _F		b _{final}
7	20NiCrMoS2-2	850	580	267	158,15	CAMBIAR	2,48	O.K.	159
7	20MnCr5	980	735	317	110,24	O.K.	2,24	O.K.	111
7	34CrMo4	1000-1200	800	326	105,08	O.K.	2,2	O.K.	106
7	42CrMo5	1100-1300	950	337	99,46	O.K.	2,16	O.K.	100
7	34NiCrMo16	1230-1420	1030	368	94,57	O.K.	2,17	O.K.	95

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

1.3. CÁLCULO DEL ANCHO DE LOS ENGRANAJES.

1.3.1. Primera etapa.

Datos generales				Geometría dentado				Resultados eje por Torsión									
X	1,25			α_i	20,65 °	0,3604 rad		G	7,92E+10 N/m ²								
Pot	33510,22 W			β_b	14,08 °	0,2457 rad		T	228,57 N·m								
i	3,79			m_t	3,11			1,5	32,5 mm								
$\omega_{\text{piñón}}$	1400 rpm	146,61 rad/s		b_{ini}	59,012 mm			1° en 20-d	32,3 mm								
m_n	3 mm			h_t	6,750 mm	altura diente		d	32,5 mm								
β	15 °	0,2618 rad		h_z	3,3 mm	h chavetero cubo		d_t	59,1 mm	estimado							
α_n	20 °	0,3491 rad		S_R	5,96 mm	S_R/h_t	0,88										
d_t	59,012 mm																
Datos eje				Datos generales				Interferencia dentado helicoidal									
E eje	2,06E+11 N/m ²			Z ₁	19 dientes	d ₁ real	59,01 mm	Z _{1min}	15,54								
v eje	0,3			Z ₂	72 dientes	d ₂ real	223,62 mm										
θ/L_{max}	1,5 °/m	0,0262 rad/m		Z _{1v}	21,08 dientes	Dc	141,32 mm										
d eje	33 mm			Z _{2v}	79,89 dientes	Par (T)	228,57 N/m										
				F _{tang}	7746,75 N	V _{Z1/100R}	0,795 m/s										
				V _{tang}	4,33 m/s	i real=	3,7895										
Datos Engranajes				Coef. a fallo superficial				Coeficientes de tensión a flexión				Coef. de funcionamiento					
Nº Material piñón = 7				Z _H	2,42			Y _{fa1}	2,86	Y _{fa2}	2,24			K _{2f}	0,0193		
Ac. aleado templado y revenido				Z _E	189,81 (N/mm ²) ^{0,5}			ϵ_α	1,65			K _{2h}	0,0087				
E1	2,06E+05 N/mm ²			Z _p	1,02			Y ϵ	0,71			K ₃	1,79				
v1	0,3							Y _{sa1}	1,67	Y _{sa2}	1,99						
Nº Material rueda = 7								Y _B	1,49			K _{Hα}	1,00				
Ac. aleado templado y revenido												K _{Fα}	1,00				
E2	2,06E+05 N/mm ²			Cálculos previos material													
v2	0,3	min	max	ρ_r	8,2												
HBR1	337 O.K.	200	360	R _{ZH}	3,00	1,53											
HBR2	337 O.K.	200	360	CZL1	0,83	CZL2	0,83										
SHL1	815,5 N/mm ²			CZV1	0,85	CZV2	0,85										
SFL1	330,2 N/mm ²			CZR1	0,15	CZR2	0,15										
SHL2	815,5 N/mm ²			R _{Z10}	1,49												
SFL2	330,2 N/mm ²							Material a fallo superficial				Material a flexión					
Sy1	950 N/mm ²							Z _N	1,000	Y _{NT}	1,000						
Sy2	950 N/mm ²							Z _{L1}	1,090	Z _{L2}	1,090	Y _{ST}	2,100				
v ₄₀	320 mm ² /s							Z _{V1}	0,955	Z _{V2}	0,955	Y _{σT1}	0,000	0,876	Y _{σT2}	0,000	0,995
Qiso	5							Z _{R1}	1,110	Z _{R1}	1,110	Y _{RσT1}	1,097		Y _{RσT2}	1,097	
K _{1 r}	7,5							Z _W	1	1,078	1	Y _{X1}	1,000		Y _{X2}	1,000	
K _{1 h}	6,7							SHP1	941,83	SHP2	941,83 N/mm ²	SFP1	666,35 N/mm ²	SFP2	756,80 N/mm ²		
Rz1	1,4 η m							bH=	76,9110	Z _c ² ·K _{Hβ} ·K _v	mm	PIÑÓN					
Rz2	1,4 η m											Anchura a fallo superficial					
Rz	1,4 η m							bH0	ϵ_β	Z ϵ	K _{Hβ}	K _{Fβ} /b	K _{vα}	K _{vβ}	K _v	bH	
K _A	1,5							59,01	1,62	0,78	1,287	196,92	1,082	1,061	1,061	63,69	
								63,69	1,75	0,78	1,317	182,45	1,086	1,065	1,065	65,42	
								65,42	1,80	0,78	1,329	177,62	1,087	1,066	1,066	66,09	
								66,09	1,82	0,78	1,333	175,81	1,088	1,066	1,066	66,36	
								66,36	1,82	0,78	1,335	175,11	1,088	1,067	1,067	66,46	
								66,46	1,83	0,78	1,336	174,83	1,088	1,067	1,067	66,51	
								66,51	1,83	0,78	1,336	174,72	1,088	1,067	1,067	66,52	
								66,52	1,83	0,78	1,336	174,68	1,088	1,067	1,067	66,53	
								66,53	1,83	0,78	1,336	174,66	1,088	1,067	1,067	66,53	
								66,53	1,83	0,78	1,336	174,66	1,088	1,067	1,067	66,53	
												PIÑÓN					
Otros coeficientes				Coeficiente de seguridad a flexión				$X_{\text{deseado}} = 1,25$				d ₁ 59,0 mm					
Coef Y _{aT}				N _F	K _{Fβ}	Y β	σ_F piñón	σ_F rueda	X _F					b _{min}	14,8 mm		
A1	0	A2	0	0,8995	1,298	0,88	355,28 N/mm ²	221,82 N/mm ²	1,88 O.K.					b _{max}	118,0 mm		
B1	0	B2	0														
Coef Y _{rT}																	
Ref1	1,12	Ref2	1,12														
A1	1,674	A2	1,674														
B1	-0,529	B2	-0,529														
exp1 0,1 exp2 0,1																	
Coef Y _x																	
A1	1,03	A2	1,03														
B1	-0,006	B2	-0,006														
Cte1 0,85 Cte2 0,85																	
												b= 67 mm					

1.4. CÁLCULO DE FUERZAS.

La fuerza provocada en un engranaje cilíndrico de dientes helicoidales se puede estudiar mediante el desglose de ésta en tres componentes: fuerza tangencial (F_t), fuerza radial (F_r) y fuerza axial (F_a). Dado que el engranaje queda definido mediante su diámetro primitivo (d), el ángulo de inclinación de la hélice (β) y el ángulo de presión (ya sea normal (α_n) o circunferencial(α_t)), el cálculo de fuerzas queda definido en la siguiente figura:

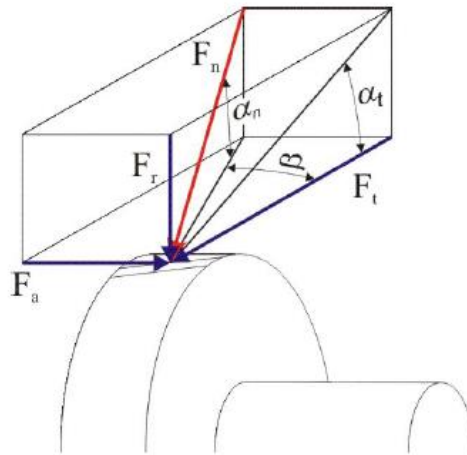


Figura 1 – Fuerzas en un engranaje de dientes helicoidales

Por tanto, las distintas fuerzas se calculan mediante las expresiones siguientes:

$$F_{tg} = \frac{T_1}{d_1/2} = \frac{T_2}{d_2/2} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$F_{rad} = F_t \cdot \text{tg } \alpha_t \quad (\text{Ec. 2})$$

$$F_a = F_t \cdot \text{tg } \beta \quad (\text{Ec. 3})$$

Se debe tener en cuenta que la resultante entre la fuerza tangencial y la axial es normal a la superficie del diente. Además, el sentido de giro del engranaje será opuesto al sentido de la fuerza tangencial en el caso de engranajes motrices, e igual en el caso de que los engranajes sean conducidos. La siguiente figura muestra el caso concreto de un engranaje motriz:

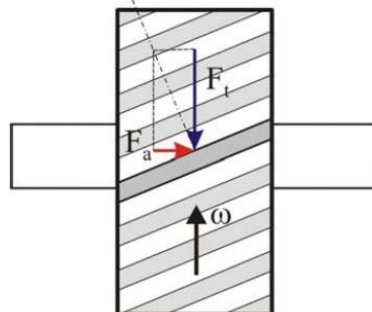


Figura 2 – Fuerzas y sentido de giro en un engranaje motriz

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

Para el caso particular que trata la presente memoria, es importante recordar que el plano que contiene los ejes de los engranajes de la segunda etapa tiene un desfase de 10° con respecto al plano horizontal. Como se puede ver en el apartado 2.6.3 y 2.6.4 de la memoria descriptiva, las fuerzas correspondientes a la segunda etapa que aparecen en los planos vertical y horizontal son generadas por las componentes horizontales y verticales de la fuerza tangencial y la fuerza radial, quedando ambas definidas por las siguientes expresiones:

$$F_v = F_{rad} \cdot \text{sen } 10^\circ + F_{tg} \cdot \text{cos } 10^\circ \quad (\text{Ec. 4})$$

$$F_h = F_{rad} \cdot \text{cos } 10^\circ - F_{tg} \cdot \text{sen } 10^\circ \quad (\text{Ec. 5})$$

De manera análoga, los momentos producidos por las fuerzas axiales también deben descomponerse según esta peculiaridad, ya que se requiere en el cálculo a deflexión lateral.

Los valores absolutos de las distintas fuerzas quedan representadas en la siguiente tabla:

	Diámetro (m)	Torsor (Nm)	Ftg (N)	Fr (N)	Fa (N)	Ma (N·m)	F total (N)
Piñón Etapa 1	0,0590	226,87	7688,76	2897,20	2060,20	60,79	8216,49
Rueda Etapa 1	0,2236	859,70	7688,76	2897,20	2060,20	230,36	8216,49
Piñón Etapa 2	0,0932	859,70	18453,01	6953,28	4944,47	230,36	19719,58
Rueda Etapa 2	0,3468	3200,00	18453,01	6953,28	4944,47	857,44	19719,58

Tabla 1 – Fuerzas de los engranajes

1.5. FACTORES MODIFICADORES DEL LÍMITE DE FATIGA.

Los factores que modifican el valor del límite de fatiga son los siguientes, quedando definidos cada uno de la siguiente manera:

- K_a : factor de superficie, obtenido de la siguiente expresión:

$$K_a = a \cdot S_u^b \quad (\text{Ec. 6})$$

Los valores de “ a ” y “ b ” se obtienen de la siguiente tabla. En el caso del presente reductor, se ha escogido un acabado superficial por mecanizado o laminado en frío.

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

Tabla 2 – Cálculo de K_a

- K_b : factor de tamaño, obtenido a partir de las siguientes expresiones según sea el valor del diámetro del eje:

$$K_b = \left(\frac{d}{7.62} \right)^{-0.107} \quad 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 7})$$

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

$$K_b = 0.859 - 0.000837 \cdot d \quad 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 8})$$

- K_c : factor de tipo de carga, en nuestro caso a flexión y $K_c = 1$.
- K_d : factor de temperatura, obtenido a partir de la tabla siguiente:

T, °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S_{eT}/S_e	1.000	1.010	1.020	1.025	1.020	1.00	0.975	0.927	0.922	0.840	0.766	0.670	0.546

Tabla 3 – Cálculo de K_d

- K_e : factor de confiabilidad, obtenido a partir de la siguiente tabla:

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

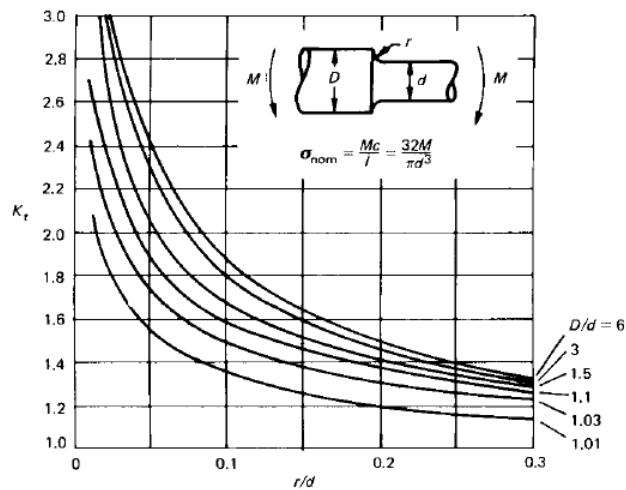
Tabla 4 – Cálculo de K_e

- K_f : factor de concentrador de tensiones, definido por la siguiente expresión:

$$q = \frac{k_f - 1}{k_t - 1} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

- K_t se obtiene a partir del siguiente gráfico:



- q se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$q = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{\rho}} \quad (\text{Ec. 10})$$

Siendo:

- ρ : radio de entalla.
- α : constante del material calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\alpha = 0.025 \left(\frac{2070 \text{ Mpa}}{S_u} \right)^{1.8} \text{ mm} \quad (\text{Ec. 11})$$

En las secciones en las que aparezca un chavetero, K_f toma un valor constante y directo obtenido de la siguiente tabla (en nuestro caso es 2):

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

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

Tabla 5 – Valores para Kf

1.6. CÁLCULO DE RODAMIENTOS.

1.6.1. Factores de corrección de vida.

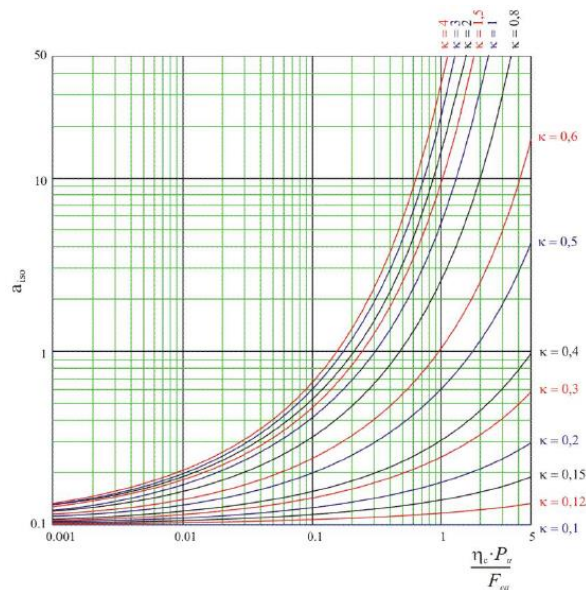
Los factores correctores de vida quedan definidos cada uno de la siguiente manera:

- a_1 : coeficiente de corrección por fiabilidad, obtenido a partir de la siguiente tabla:

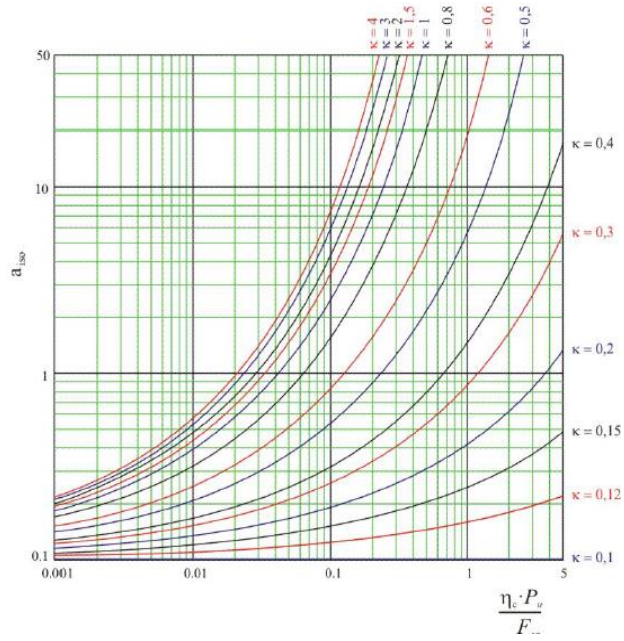
Fiabilidad %	a_1
90	1
95	0.64
96	0.55
97	0.47
98	0.37
99	0.25
99.2	0.22
99.4	0.19
99.6	0.16
99.8	0.12
99.9	0.093
99.92	0.087
99.94	0.080
99.95	0.077

Tabla 6 – Valores para a_1

- a_{ISO} : coeficiente de corrección por condiciones de trabajo, obtenido a partir de los siguientes gráficos, según sean rodamientos rígidos de bolas o de rodillos:

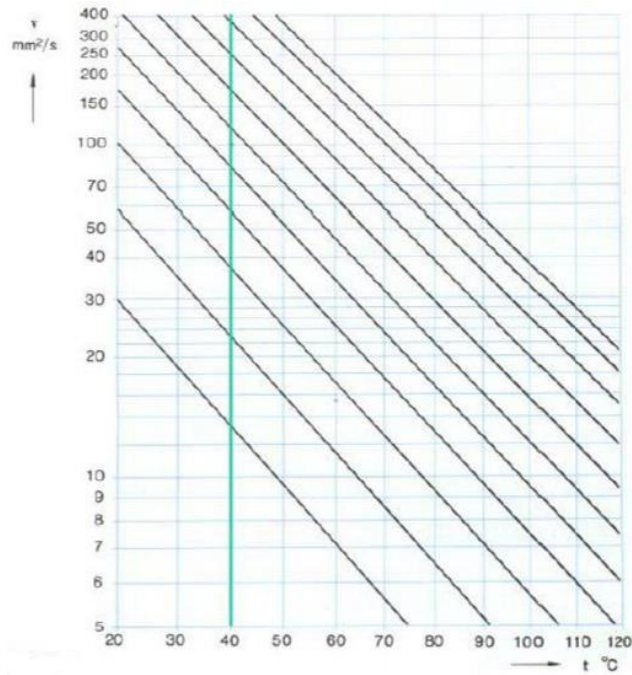


DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm



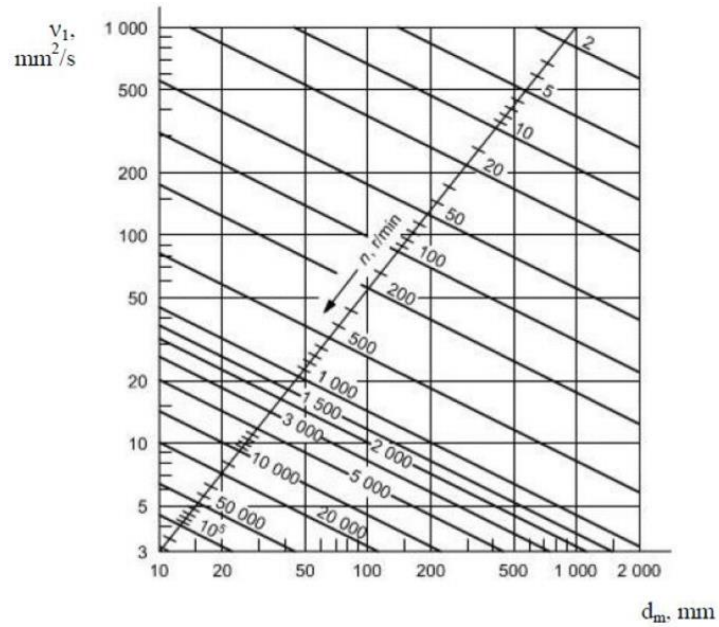
Este coeficiente depende a su vez de otros parámetros:

- ν_1 : viscosidad del lubricante, obtenida del siguiente gráfico:



- ν : viscosidad de trabajo, función del diámetro medio y la velocidad angular, y obtenida del siguiente gráfico:

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm



- $K = v_1/v$
- P_u : carga límite a fatiga del rodamiento, obtenida en el catálogo del rodamiento.
- η_c : factor de contaminación, obtenido a partir de la siguiente tabla:

Condición	$d_m < 100 \text{ mm}$	$d_m \geq 100 \text{ mm}$
Limpieza extrema Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza Aceite filtrado a través de un filtro extremadamente fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y obturados	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal Aceite filtrado a través de un filtro fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integrales, filtrado grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas del exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación alta Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición de rodamientos con obturación inadecuada	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy alta η_c puede estar fuera de la escala produciendo una reducción mayor de la vida útil de lo establecido por la ecuación Ec. 7	0	0

Tabla 7 – Condiciones de contaminación

1.6.2. Cálculo de la fuerza equivalente en rodamientos.

En rodamientos de rodillos cilíndricos solo se trasmite fuerza radial y por tanto es igual a la fuerza equivalente que debe soportar el rodamiento.

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

En rodamientos rígidos de bolas, si actúan como extremo libre seguirán el criterio comentado para los de rodillos cilíndricos, y si actúan como extremo fijo la fuerza equivalente se calculará mediante la siguiente expresión:

$$F_{eq} = x \cdot F_{rad} + y \cdot F_a \quad (\text{Ec. 12})$$

Los valores de “x” e “y” se obtienen a partir de la siguiente tabla:

$f_0 \cdot F_a / C_0$	e	$F_a / F_r > e$	
		x	y
0.3	0.22	0.56	2.00
0.5	0.24	0.56	1.80
0.9	0.28	0.56	1.58
1.6	0.32	0.56	1.40
3.0	0.36	0.56	1.20
6.0	0.43	0.56	1.00

Tabla 8 – Valores para el cálculo de la F_{eq}

Por último, en rodamientos de rodillos cónicos se produce una peculiaridad tanto si actúan como extremo libre como para extremo fijo, ya que producen una fuerza axial que debe tenerse en cuenta en el cálculo de la fuerza equivalente. El valor de la fuerza axial producida se representa en la siguiente figura:

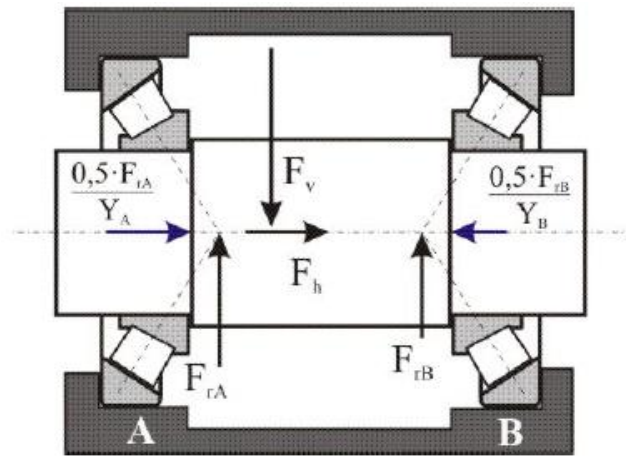


Figura 3 – Fuerzas en rodamientos de rodillos cónicos

La fuerza equivalente se calcula siguiendo el criterio expuesto a continuación:

- Cuando $F_{rad} / F_{rad} < e \rightarrow F_{eq} = F_{rad} \quad (\text{Ec. 13})$
- Cuando $F_{rad} / F_{rad} > e \rightarrow F_{eq} = 0,4 \cdot F_{rad} + y \cdot F_a \quad (\text{Ec. 14})$

Los valores de “e” y el de “y” se obtienen directamente del catálogo de rodamientos.

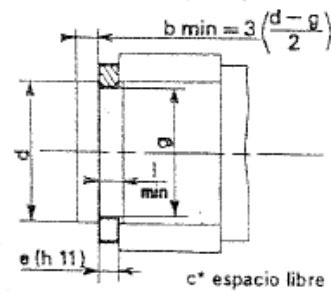
2. ELEMENTOS ESTANDARIZADOS.

2.1. CHAVETAS.

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

2.2. ARANDELAS ELÁSTICAS.

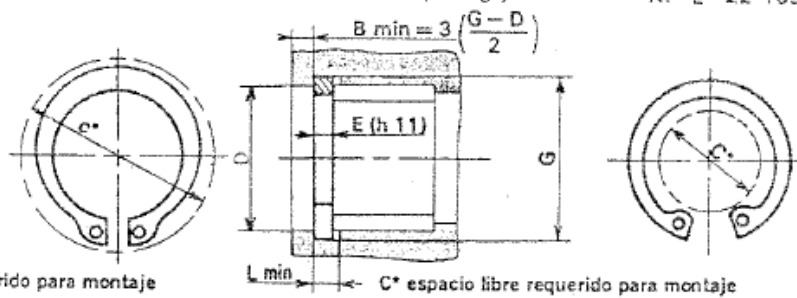
Arandelas elásticas para ejes



NF E 22-163

Arandelas elásticas para agujeros

NF E 22-165



c* espacio libre requerido para montaje

L min C* espacio libre requerido para montaje

d	e	c	l	g	Tol. g	d	e	c	l	g	Tol. g	D	E	C	L	G	Tol. G	D	E	C	L	G	Tol. G
5	0.6	10.7	0.7	4.8	0	35	1.50	47.2	1.60	33	0	10	1	3.7	1.1	10.4	0	52	2	37.6	2.15	55	0
6	0.7	12.2	0.8	5.7	-0.075	40	1.75	53	1.85	37.5	0	12	1	4.7	1.1	12.5	0	55	2	40.4	2.15	58	0
8	0.8	15.2	0.9	7.8	0	45	1.75	59.4	1.85	42.5	-0.25	15	1	7	1.1	15.7	+ 0.11	60	2	44.4	2.15	63	+ 0.30
10	1	17.6	1.1	9.8	-0.09	50	2	64.8	2.15	47	0	17	1	8.4	1.1	17.8	0	82	2	48.4	2.15	65	0
12	1	19.6	1.1	11.5	0	55	2	70.4	2.15	52	0	20	1	10.6	1.1	21	+ 0.21	65	2.5	48.8	2.65	66	0
14	1	22	1.1	13.4	0	60	2	75.8	2.15	57	0	25	1.2	15	1.3	26.2	0	70	2.5	53.4	2.65	73	0
15	1	23.2	1.1	14.3	0	65	2.5	81.6	2.65	62	0	30	1.2	19.4	1.3	31.4	0	72	2.5	55.4	2.65	75	0
16	1	24.4	1.1	15.2	-0.11	70	2.5	87.2	2.65	67	-0.30	32	1.2	20.2	1.3	33.7	+ 0.25	75	2.5	58.4	2.65	78	0
17	1	25.6	1.1	16.2	0	75	2.5	92.8	2.65	72	0	35	1.5	23.2	1.6	37	0	80	2.5	62	2.65	83.5	+ 0.35
18	1.2	26.8	1.3	17	0	80	2.5	98.2	2.65	76.5	0	40	1.75	27.4	1.85	42.5	0	85	3	65.8	3.15	89.5	0
20	1.2	29	1.3	19	0	85	3	104	3.15	81.5	0	45	1.75	31.6	1.85	47.5	0	90	3	71.8	3.15	93.5	0
25	1.2	34.8	1.3	23.9	-0.21	90	3	109	3.15	86.5	-0.35	47	1.75	33.2	1.85	49.5	+ 0.30	100	3	81	3.15	103.5	+ 0.54
30	1.5	41	1.6	28.6	0	100	3	121	3.15	96.5	0	50	2	36	2.15	53	0	110	4	88.2	4.15	114	0

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm

2.3. RODAMIENTOS.

-Rodamientos cónicos del eje de entrada:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation	Dimension series to ISO 355 (ABMA)									
d	D	T	dynamic C	static C ₀	P _u	Reference speed	Limiting speed												
mm			kN		kN	r/min		kg	-	-									
30	55	17	35,8	44	4,55	9000	12 000	0,17	32006 X/Q	4CC									
	62	17,25	40,2	44	4,8	8500	11 000	0,23	30206 J2/Q	3DB									
	62	21,25	49,5	58,5	6,55	8000	11 000	0,3	32206 BJ2/QCL7CVA606	5DC									
	62	21,25	50,1	57	6,3	8500	11 000	0,29	32206 J2/Q	3DC									
	62	25	64,4	76,5	8,5	7500	11 000	0,35	33206/Q	2DE									
	72	20,75	56,1	56	6,4	7500	10 000	0,38	30306 J2/Q	2FB									
	72	20,75	47,3	50	5,7	6700	9 500	0,39	31306 J2/Q	7FB									
	72	28,75	76,5	85	9,65	7000	10 000	0,55	32306 J2/Q	2FD									
	52	22,25	44	45,5	5	10 000	14 000	0,23	32304 J2/Q	2FD									
	Dimensions			Abutment and fillet dimensions						Calculation factors									
	d	d ₁	B	C	r _{1,2} min.	r _{3,4} min.	a	d _a max.	d _b min.	D _a min.	D _a max.	D _b min.	C _a min.	C _b min.	r _a max.	r _b max.	e	Y	Y ₀
	mm							mm					-						
	30	43,6	17	13	1	1	13	35	36	48	49	52	3	4	1	1	0,43	1,4	0,8
		45,3	16	14	1	1	14	37	36	53	56	57	2	3	1	1	0,37	1,6	0,9
48,2		20	17	1	1	18	36	36	50	56	60	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6	
45,2		20	17	1	1	15	37	36	52	56	59	3	4	1	1	0,37	1,6	0,9	
45,8		25	19,5	1	1	16	36	36	53	56	59	5	5,5	1	1	0,35	1,7	0,9	
48,4		19	16	1,5	1,5	15	40	37	62	65	66	3	4,5	1,5	1,5	0,31	1,9	1,1	
52,7		19	14	1,5	1,5	22	40	37	55	65	68	3	6,5	1,5	1,5	0,83	0,72	0,4	
48,7		27	23	1,5	1,5	18	39	37	59	65	66	4	5,5	1,5	1,5	0,31	1,9	1,1	

-Rodamientos cilíndricos del eje de entrada:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designations	Alternative standard cage ¹⁾
d	D	B	dynamic C	static C ₀	P _u	Reference speed	Limiting speed		Bearing with standard cage	
mm			kN		kN	r/min		kg	-	
35	62	14	35,8	38	4,55	13 000	13 000	0,16	NU 1007 ECP	PH
	72	17	56	48	6,1	11 000	12 000	0,29	* NU 207 ECP	J, M, ML, PH
	72	17	56	48	6,1	11 000	12 000	0,3	* NJ 207 ECP	J, M, ML, PH
	72	17	56	48	6,1	11 000	12 000	0,31	* NUP 207 ECP	J, M, ML, PH
	72	17	56	48	6,1	11 000	12 000	0,3	* N 207 ECP	-
	72	23	69,5	63	8,15	11 000	12 000	0,4	* NU 2207 ECP	J, ML, PH
	72	23	69,5	63	8,15	11 000	12 000	0,41	* NJ 2207 ECP	J, ML, PH
	72	23	69,5	63	8,15	11 000	12 000	0,42	* NUP 2207 ECP	J, ML, PH
	80	21	75	63	8,15	9 500	11 000	0,47	* NU 307 ECP	J, M, ML
	80	21	75	63	8,15	9 500	11 000	0,49	* NJ 307 ECP	J, M, ML
	80	21	75	63	8,15	9 500	11 000	0,5	* NUP 307 ECP	J, M, ML
	80	21	75	63	8,15	9 500	11 000	0,48	* N 307 ECP	-
	80	31	106	98	12,7	9 500	11 000	0,72	* NU 2307 ECP	PH
	80	31	106	98	12,7	9 500	11 000	0,73	* NJ 2307 ECP	PH
	80	31	106	98	12,7	9 500	11 000	0,76	* NUP 2307 ECP	PH
	100	25	76,5	69,5	9	8 000	9 500	1	NU 407	-
	100	25	76,5	69,5	9	8 000	9 500	1	NJ 407	-

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

Dimensions							Abutment and fillet dimensions						Calculation factor k_r	Angle ring Designation	Mass	Dimensions	
d	d_1	D_1	F, E	$r_{1,2}$ min.	$r_{3,4}$ min.	$s^{1)}$	d_a min.	d_a max.	d_b, D_a min.	D_a max.	r_a max.	r_b max.				B_1	B_2
mm							mm						-	-	kg	mm	
35	-	54,5	42	1	0,6	1	38	41	44	56,5	1	0,6	0,1	-			
	48,1	60,7	44	1,1	0,6	1,3	39,8	42,2	46	65,1	1	0,6	0,15	HJ 207 EC	0,033	4	7
	48,1	60,7	44	1	0,6	1,3	41,8	42,2	50	65,1	1	0,6	0,15	HJ 207 EC	0,033	4	7
	48,1	60,7	44	1,1	0,6	-	41,8	-	50	65,1	1	0,6	0,15	-			
	48,1	-	64	1,1	0,6	1,3	41,8	62	66	67,2	1	0,6	0,12	-			
	-	60,7	44	1,1	0,6	2,8	39,8	42,2	46	65,1	1	0,6	0,2	-			
	48,1	60,7	44	1,1	0,6	2,8	41,8	42,2	50	65,1	1	0,6	0,2	-			
	48,1	60,7	44	1,1	0,6	-	41,8	-	50	65,1	1	0,6	0,2	-			
	51	66,3	46,2	1,5	1,1	1,2	42	44	48	72,2	1,5	1	0,15	HJ 307 EC	0,058	6	9,5
	51	66,3	46,2	1,5	1,1	1,2	43	44	53	72,2	1,5	1	0,15	HJ 307 EC	0,058	6	9,5
	51	66,3	46,2	1,5	1,1	-	43	-	53	72,2	1,5	1	0,15	-			
	51	-	70,2	1,5	1,1	1,2	43	68	72	73,4	1,5	1	0,12	-			
	-	66,3	46,2	1,5	1,1	2,7	42	44	48	72,2	1,5	1	0,25	-			
	51	66,3	46,2	1,5	1,1	2,7	43	44	53	72,2	1,5	1	0,25	-			
	51	66,3	46,2	1,5	1,1	-	43	-	53	72,2	1,5	1	0,25	-			
	-	76,1	53	1,5	1,5	1,7	48	51	55	90	1,5	1,5	0,15	-			
	59	76,1	53	1,5	1,5	1,7	48	51	61	90	1,5	1,5	0,15	-			

-Rodamientos cónicos del eje intermedio:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation	Dimension series to ISO 355 (ABMA)
d	D	T	dynamic C	static C_0		Refer- ence speed	Limit- ing speed			
mm			kN		kN	r/min		kg	-	-
50	80	20	60,5	88	9,65	6 000	8 000	0,38	32010 X/Q	3CC
	80	20	60,5	88	9,65	6 000	8 000	0,38	32010 X/QCL7CVB026	3CC
	80	24	69,3	102	11,4	6 000	8 000	0,45	33010/Q	2CE
	82	21,5	72,1	100	11	6 000	8 500	0,43	JLM 10 4948 AA/910 AA/Q	2CC
	85	26	85,8	122	13,4	5 600	7 500	0,58	33110/Q	3CE
	90	21,75	76,5	91,5	10,4	5 600	7 500	0,54	30210 J2/Q	3DB
	90	24,75	82,5	100	11,4	5 600	7 500	0,62	32210 J2/Q	3DC
	90	28	106	140	16	5 300	8 000	0,75	JM 205149/110 A/Q	(M 205100)
	90	28	106	140	16	5 300	8 000	0,75	JM 205149/110/Q	2DD
	90	32	114	160	18,3	5 000	7 000	0,86	33210/Q	3DE
	100	36	154	200	22,4	5 000	7 500	1,3	T2ED 050/Q	2ED
	105	32	108	137	16	4 300	6 300	1,25	T7FC 050/QCL7C	7FC
	110	29,25	143	140	16,6	5 300	6 300	1,25	* 30310 J2/Q	2FB
	110	29,25	122	120	14,3	4 500	6 000	1,2	* 31310 J2/QCL7C	7FB
	110	42,25	183	216	24,5	4 500	6 000	1,95	* 32310 BJ2/QCL7C	5FD
	110	42,25	172	212	24	4 300	6 300	1,85	32310 J2/Q	2FD

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

Dimensions						Abutment and fillet dimensions								Calculation factors				
d	d ₁	B	C	r _{1,2}	r _{3,4}	a	d _a	d _b	D _a	D _a	D _b	C _a	C _b	r _a	r _b	e	Y	Y ₀
						mm								-				
50	65,9	20	15,5	1	1	18	56	56	72	74	77	4	4,5	1	1	0,43	1,4	0,8
	65,9	20	15,5	3	1	18	56	56	72	74	77	4	4,5	1	1	0,43	1,4	0,8
	65,3	24	19	1	1	17	56	56	72	74	76	4	5	1	1	0,31	1,9	1,1
	65,1	21,5	17	3,6	1,2	16	57	62	74	76	78	4	4,5	3,4	1,2	0,3	2	1,1
	68	26	20	1,5	1,5	20	56	57	74	78	82	4	6	1,5	1,5	0,4	1,5	0,8
	68	20	17	1,5	1,5	19	58	57	79	83	85	3	4,5	1,5	1,5	0,43	1,4	0,8
	68,6	23	19	1,5	1,5	21	58	57	78	83	85	3	5,5	1,5	1,5	0,43	1,4	0,8
	68,8	28	23	3	2,5	20	58	64	78	85	85	5	5	2,5	0,8	0,33	1,8	1
	68,8	28	23	3	2,5	20	58	64	78	78	85	5	5	2,5	2,5	0,33	1,8	1
	70,8	32	24,5	1,5	1,5	23	57	57	77	83	87	5	7,5	1,5	1,5	0,4	1,5	0,8
	73,5	35	30	2,5	2,5	25	59	60	84	88	94	6	6	2,5	2,5	0,35	1,7	0,9
	81,3	29	22	3	3	36	60	62	78	91	100	4	10	2,5	2,5	0,88	0,68	0,4
	77,2	27	23	2,5	2	23	65	60	95	100	102	4	6	2,5	2	0,35	1,7	0,9
	81,5	27	19	2,5	2	34	62	60	87	100	104	4	10	2,5	2	0,83	0,72	0,4
	83,1	40	33	2,5	2	34	60	60	83	100	103	5	9	2,5	2	0,54	1,1	0,6
	77,8	40	33	2,5	2	27	62	60	90	100	102	5	9	2,5	2	0,35	1,7	0,9

-Rodamientos cilíndricos del eje intermedio:

Principal dimensions	Basic load ratings		Fatigue load limit P _u	Speed ratings		Mass	Designations	Alternative standard cage ¹⁾		
	dynamic C	static C ₀		Reference speed	Limiting speed					
d	D	B	kN	kN	r/min	kg				
50	80	16	46,8	56	6,7	9 500	9 500	0,27	NU 1010 ECP	-
	90	20	73,5	69,5	8,8	8 500	9 000	0,48	* NU 210 ECP	J, M, ML
	90	20	73,5	69,5	8,8	8 500	9 000	0,49	* NJ 210 ECP	J, M, ML
	90	20	73,5	69,5	8,8	8 500	9 000	0,51	* NUP 210 ECP	J, M, ML
	90	20	73,5	69,5	8,8	8 500	9 000	0,48	* N 210 ECP	M
	90	23	90	88	11,4	8 500	9 000	0,56	* NU 2210 ECP	J, M, ML, PH
	90	23	90	88	11,4	8 500	9 000	0,57	* NJ 2210 ECP	J, M, ML, PH
	90	23	90	88	11,4	8 500	9 000	0,59	* NUP 2210 ECP	J, M, ML, PH
	110	27	127	112	15	6 700	8 000	1,15	* NU 310 ECP	J, M, ML, PH
	110	27	127	112	15	6 700	8 000	1,15	* NJ 310 ECP	J, M, ML, PH
	110	27	127	112	15	6 700	8 000	1,15	* NUP 310 ECP	J, M, ML, PH
	110	27	127	112	15	6 700	8 000	1,15	* N 310 ECP	-
	110	40	186	186	24,5	6 700	8 000	1,75	* NU 2310 ECP	J, ML, PH
	110	40	186	186	24,5	6 700	8 000	1,75	* NJ 2310 ECP	J, ML, PH
	110	40	186	186	24,5	6 700	8 000	1,75	* NUP 2310 ECP	J, ML, PH
	130	31	130	127	16,6	6 000	7 000	2	NU 410	-
	130	31	130	127	16,6	6 000	7 000	2,05	NJ 410	-

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

Dimensions							Abutment and fillet dimensions						Calculation factor	Angle ring Designation	Mass	Dimensions B ₁ B ₂	
d	d ₁	D ₁	F, E	r _{1,2}	r _{3,4}	s ¹⁾	d _a	d _a	d _b , D _a	D _a	r _a	r _b	k _r				
mm							mm						-	-	kg	mm	
50	-	70	57,5	1	0,6	1	53,4	56	59	74,6	1	0,6	0,1	-			
	64	78	59,5	1,1	1,1	1,5	57	57,5	61	82,4	1	1	0,15	HJ 210 EC	0,058	5	9
	64	78	59,5	1,1	1,1	1,5	57	57,5	66	82,4	1	1	0,15	HJ 210 EC	0,058	5	9
	64	78	59,5	1,1	1,1	-	57	-	66	82,4	1	1	0,15	-			
	64	-	81,5	1,1	1,1	1,5	57	79	83	84	1	1	0,12	-			
	-	78	59,5	1,1	1,1	1,5	57	57,5	61	82,4	1	1	0,2	-			
	64	78	59,5	1,1	1,1	1,5	57	57,5	66	82,4	1	1	0,2	-			
	64	78	59,5	1,1	1,1	-	57	-	66	82,4	1	1	0,2	-			
	71,2	92,1	65	2	2	1,9	60	63	67	99,6	2	2	0,15	HJ 310 EC	0,15	8	13
	71,2	92,1	65	2	2	1,9	60	63	73	99,6	2	2	0,15	HJ 310 EC	0,15	8	13
	71,2	92,1	65	2	2	-	60	-	73	99,6	2	2	0,15	-			
	71,2	-	97	2	2	1,9	60	95	99	101	2	2	0,12	-			
	-	92,1	65	2	2	3,4	60	63	67	99,6	2	2	0,25	-			
	71,2	92,1	65	2	2	3,4	60	63	73	99,6	2	2	0,25	-			
	71,2	92,1	65	2	2	-	60	-	73	99,6	2	2	0,25	-			
	78,8	102	70,8	2,1	2,1	2,6	64	68	73	116	2	2	0,15	HJ 410	0,15	9	14,5
	78,8	102	70,8	2,1	2,1	2,6	64	68	81	116	2	2	0,15	HJ 410	0,15	9	14,5

-Rodamientos rígidos de bolas del eje de salida:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C ₀	P _u	Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	-
80	100	10	13	15	0,64	13 000	8 000	0,15	61816
	110	16	25,1	20,4	1,02	12 000	7 500	0,38	61916
	125	14	35,1	31,5	1,32	11 000	7 000	0,61	* 16016
	125	22	49,4	40	1,66	11 000	7 000	0,87	* 6016
	140	26	72,8	55	2,2	9 500	6 000	1,45	* 6216
	170	39	130	86,5	3,25	8 500	5 300	3,65	* 6316
	200	48	163	125	4,5	7 500	4 800	6,85	6416

Dimensions				Abutment and fillet dimensions				Calculation factors	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2}	d _a	D _a	r _a	k _r	f ₀
mm				mm				-	
80	86,6	93,4	-	0,6	83,2	96,8	0,6	0,015	17
	89,8	101	103	1	84,6	105	1	0,02	14
	95,3	110	-	0,6	83,2	121	0,6	0,02	16
	94,4	111	115	1,1	86	119	1	0,025	16
	101	123	127	2	91	129	2	0,025	15
	108	142	147	2,1	92	158	2	0,03	13
	116	163	-	3	96	184	2,5	0,035	12

**DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD CON RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 14 Y PAR
MÁXIMO A LA SALIDA DE 3200 Nm**

-Rodamientos cilíndricos del eje de salida:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designations Bearing with standard cage	Alternative standard cage ¹⁾							
d	D	B	dynamic C	static C_0		Refer- ence speed	Limiting speed										
mm			kN		kN	r/min		kg	-								
75	115	20	58,3	71	8,5	6 700	10 000	0,75	NU 1015 ML	M							
	130	25	150	156	20,4	5 600	6 000	1,25	* NU 215 ECP	J, M, ML							
	130	25	150	156	20,4	5 600	6 000	1,3	* NJ 215 ECP	J, M, ML							
	130	25	150	156	20,4	5 600	6 000	1,3	* NUP 215 ECP	J, M, ML							
	130	25	150	156	20,4	5 600	6 000	1,2	* N 215 ECP	-							
	130	31	186	208	27	5 600	6 000	1,6	* NU 2215 ECP	J, ML, PH							
	130	31	186	208	27	5 600	6 000	1,6	* NJ 2215 ECP	J, ML, PH							
	130	31	186	208	27	5 600	6 000	1,6	* NUP 2215 ECP	J, ML, PH							
	160	37	280	265	33,5	4 500	5 300	3,3	* NU 315 ECP	J, M, ML							
	160	37	280	265	33,5	4 500	5 300	3,35	* NJ 315 ECP	J, M, ML							
	160	37	280	265	33,5	4 500	5 300	3,45	* NUP 315 ECP	J, M, PH							
	160	37	280	265	33,5	4 500	5 300	3,3	* N 315 ECP	M							
	160	55	380	400	50	4 500	5 300	4,8	* NU 2315 ECP	J, ML							
	160	55	380	400	50	4 500	5 300	5	* NJ 2315 ECP	J, ML							
	160	55	380	400	50	4 500	5 300	5	* NUP 2315 ECP	J, ML							
	190	45	264	280	34	4 000	4 800	6,2	NU 415	-							
	190	45	264	280	34	4 000	4 800	6,4	NJ 415	-							
Dimensions				Abutment and fillet dimensions								Calculation factor k_r	Angle ring Designation	Mass	Dimensions		
d	d_1	D_1	F, E	$r_{1,2}$ min.	$r_{3,4}$ min.	$s^{1)}$	d_a min.	d_a max.	d_b, D_a min.	D_a max.	r_a max.				r_b max.	B_1	B_2
mm															kg	mm	
75	-	101	85	1,1	1	3	80	83	87	109	1	1	0,15	-			
	94,3	114	88,5	1,5	1,5	1,2	84	86	91	121	1,5	1,5	0,15	HJ 215 EC	0,16	7	11
	94,3	114	88,5	1,5	1,5	1,2	84	86	97	121	1,5	1,5	0,15	HJ 215 EC	0,16	7	11
	94,3	114	88,5	1,5	1,5	-	84	-	97	121	1,5	1,5	0,15	-			
	94,3	-	118,5	1,5	1,5	1,2	84	116	121	122	1,5	1,5	0,12	-			
	-	114	88,5	1,5	1,5	1,7	84	86	91	121	1,5	1,5	0,2	-			
	94,3	114	88,5	1,5	1,5	1,7	84	86	97	121	1,5	1,5	0,2	-			
	94,3	114	88,5	1,5	1,5	-	84	-	97	121	1,5	1,5	0,2	-			
	104	136	95	2,1	2,1	1,8	87	92	97	148	2	2	0,15	HJ 315 EC	0,39	11	16,5
	104	136	95	2,1	2,1	1,8	87	92	107	148	2	2	0,15	HJ 315 EC	0,39	11	16,5
	104	136	95	2,1	2,1	-	87	-	107	148	2	2	0,15	-			
	104	-	143	2,1	2,1	1,8	87	140	146	148	2	2	0,12	-			
	104	136	95	2,1	2,1	4,8	87	92	97	148	2	2	0,25	HJ 2315 EC	0,42	11	19,5
	104	136	95	2,1	2,1	4,8	87	92	107	148	2	2	0,25	HJ 2315 EC	0,42	11	19,5
	104	136	95	2,1	2,1	-	87	-	107	148	2	2	0,25	-			
	116	148	104,5	3	3	3,8	91	101	107	174	2,5	2,5	0,15	HJ 415	0,71	13	21,5
	116	148	104,5	3	3	3,8	91	101	119	174	2,5	2,5	0,15	HJ 415	0,71	13	21,5

3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE ENGRANAJES.

MATERIAL	Denominación	Su (N/mm ²)	Sy (N/mm ²)	Dureza superficial
		min - max	min - max	
Fundiciones grises UNE EN 1561:2012	GJL-200	200 - 300	-	HB (150-230)
	GJL-250	250 - 350	-	HB (170-250)
	GJL-350	350 - 450	-	HB (210-275)
Fundiciones maleables de corazón negro UNE EN 1562:2012	GJMB-500-5	500 -	300 -	HB (165-215)
	GJMB-550-4	550 -	340 -	HB (180-230)
	GJMB-600-3	600 -	390 -	HB (195-245)
	GJMB-650-2	650 -	430 -	HB (210-260)
Fundiciones con grafito esferoidal (nodular o dúctil) UNE-EN1563:2012	GJS-400-15	400 -	250 -	HB (150-180)
	GJS-600-3	600 -	380 -	HB (210-250)
	GJS-800-2	800 -	480 -	HB (260-300)
Acero moldeado no aleado UNE-EN10293:2006	GE240	450 - 600	240 -	HB 140
	GE300	520 - 670	300 -	HB 175
Acero no aleado forjado	C25	400	280	HB 140
	C35	580	380	HB 180
	C45	680	430	HB 207
Acero no aleado forjado, templado y revenido UNE-EN10083- 2:2008	C25	570	430	HV 170
	C35	600 - 750	430 - 520	HV 216
Aceros aleados templados y revenidos UNE-EN10083-3:2008	20NiCrMoS2-2	850	580	HV 267
	20MnCr5	980	735	HV 317
	34CrMo4	1000 - 1200	800	HV 326
	42CrMo4	1100 - 1300	950	HV 337
	34NiCrMo16	1230 - 1420	1030	HV 368
Acero moldeado no aleado templado				HV 130-215
Acero moldeado aleado templado	G35CrMo4	750-980	650	HV 305
	G42CrMo4	800-1025	700	HV 320
Acero forjado de cementación. UNE- EN10084:2010	20MnCr5	980	735	HV 720
	20NiCrMoS2-2	850	600	HV 600
	15 NiCr13	950	750	HV 700
	14NiCrMo13	1300	1100	HV 740
Acero forjado o moldeado, endurecido superficialmente a la llama o por inducción	C45	1034	786	HV 560
	37Cr4	1150		HV 550 - 610
	42CrMo4	1300	1200	HV 615
Acero forjado de nitruación, acero templado de nitruación, acero de nitruación UNE-EN10085:2001	42CrMo4	1450		HV 700
	24CrMo13-6	1100	900	HV 700
	31CrMoV9	1000	800	HV 700
	41 CrAlMo7-10	950 - 1150	750	HV 850 - 950
	34CrAlNi7-10	900-1100	680	HV 850 - 950
Acero forjado de nitrocarburoización				HV 300-650