



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología  
Sección de Ingeniería Industrial

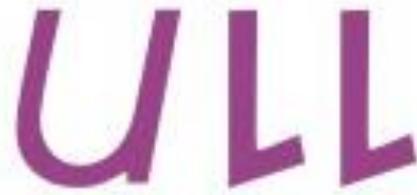
Diseño de una caja reductora con embrague de protección con  
sobrepotencia.



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología  
Sección de Ingeniería Industrial

Diseño de una caja reductora con embrague de protección con  
sobrepotencia.



---

Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

## **ÍNDICE GENERAL**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología  
Sección de Ingeniería Industrial

Diseño de una caja reductora con embrague de protección con  
sobrepotencia.

## Índice Memoria

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>0.</b> | <b>HOJA DE IDENTIFICACIÓN.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.</b> | <b>OBJECT.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2.</b> | <b>SCOPE.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>3.</b> | <b>ANTECEDENTES.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>4.</b> | <b>NORMAS Y REFERENCIAS.....</b>  | <b>8</b>  |
| 4.1       | NORMATIVA.....  | 8         |
| 4.2       | BIBLIOGRAFÍA.....   | 8         |
| 4.3       | CATÁLOGOS.....  | 9         |
| 4.4       | PROGRAMAS DE CÁLCULO.....   | 9         |
| <b>5.</b> | <b>REQUISITOS DE DISEÑO.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>6.</b> | <b>ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....</b>  | <b>11</b> |
| 6.1.      | IDEAS PREVIAS.....  | 11        |
| 6.1.1.    | <i>Tipo de engranajes.....</i>  | <i>11</i> |
| 6.1.2.    | <i>Disposición de los ejes.....</i>   | <i>14</i> |
| 6.1.3.    | <i>Sistema de fijación.....</i>   | <i>14</i> |
| 6.2.      | DISEÑO FINAL.....   | 14        |
| <b>7.</b> | <b>CRITERIOS APLICADOS Y BASES DE CÁLCULO.....</b>                                  | <b>15</b> |
| 7.1.      | CÁLCULO DE ENGRANAJES.....  | 15        |
| 7.1.1.    | <i>Dimensionamiento básico y selección de engranajes.....</i>                       | <i>15</i> |
| 7.1.2.    | <i>Selección del número de planetas.....</i>  | <i>17</i> |
| 7.1.3.    | <i>Cálculo de la carga sobre los engranajes rectos.....</i>                         | <i>19</i> |
| 7.1.4.    | <i>Esfuerzo en los engranes rectos.....</i>   | <i>21</i> |
| 7.1.5.    | <i>Esfuerzos superficiales.....</i>   | <i>25</i> |
| 7.1.6.    | <i>Resistencia de fatiga a la flexión en materiales para engranes.....</i>          | <i>27</i> |
| 7.1.7.    | <i>Resistencia de fatiga superficial.....</i>                                       | <i>30</i> |
| 7.2.      | CÁLCULO DE EJES.....  | 33        |
| 7.2.1.    | <i>Fuerzas y momentos que ejercen los elementos de máquinas sobre los ejes.....</i> | <i>33</i> |
| 7.2.2.    | <i>Diseño de ejes.....</i>  | <i>34</i> |
| 7.3.      | SOPORTE DE SATÉLITES.....   | 39        |
| 7.4.      | SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....   | 39        |
| 7.4.1.    | <i>Ajuste de los rodamientos.....</i>   | <i>40</i> |
| 7.5.      | CHAVETAS.....   | 44        |
| 7.6.      | ANILLOS DE RETENCIÓN.....   | 46        |

|   |           |
|---|-----------|
| 7.7. SELLOS Y JUNTAS. ....  | 47        |
| 7.7.1. Sellos. ....   | 47        |
| 7.7.2. Juntas de estanqueidad. ....   | 47        |
| 7.8. LUBRICACIÓN. ....  | 47        |
| 7.9. CARCASA. ....  | 47        |
| 7.10. EMBRAGUE. ....  | 48        |
| 7.11. VISTA PREVIA DEL DISEÑO DE LA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE DE SOBREPOTENCIA..... | 49        |
| <b>8. ÍNDICE DE FIGURAS. ....</b>   | <b>51</b> |
| <b>9. ÍNDICE DE TABLAS. ....</b>  | <b>52</b> |
| <b>10. ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>  | <b>53</b> |

## Índice de anexos.

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ENGRANAJES.</b>                | <b>5</b>  |
| 1.1.      | DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE LOS ENGRANAJES                           | 5         |
| 1.2.      | CÁLCULO DE LA CARGA SOBRE LOS ENGRANAJES.                           | 7         |
| 1.3.      | ESFUERZO DE FLEXIÓN EN LOS ENGRANES RECTOS (ETAPA 1).               | 9         |
| 1.4.      | ESFUERZO SUPERFICIAL EN LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 1).            | 11        |
| 1.5.      | RESISTENCIA DE FATIGA A FLEXIÓN DE LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 1). | 11        |
| 1.6.      | RESISTENCIA DE FATIGA SUPERFICIAL DE ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 1).   | 11        |
| 1.7.      | VERIFICACIÓN MATERIAL Y ESPESOR ENGRANAJES (ETAPA 1).               | 12        |
| 1.8.      | ESFUERZO DE FLEXIÓN EN LOS ENGRANES RECTOS (ETAPA 2).               | 12        |
| 1.9.      | ESFUERZO SUPERFICIAL EN LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 2).            | 14        |
| 1.10.     | RESISTENCIA DE FATIGA A FLEXIÓN DE LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 2). | 14        |
| 1.11.     | RESISTENCIA DE FATIGA SUPERFICIAL DE ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 2).   | 14        |
| 1.12.     | VERIFICACIÓN MATERIAL Y ESPESOR ENGRANAJES (ETAPA 2).               | 15        |
| <b>2.</b> | <b>RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS EJES.</b>                      | <b>16</b> |
| 2.1.      | CARGAS EJE DE ENTRADA.  | 16        |
| 2.2.      | CARGAS EJE DE SALIDA.   | 17        |
|           | 2.2.1. Factor de concentración de esfuerzos:                        | 18        |
| 2.3.      | CARGAS EJE INTERMEDIO.  | 18        |
|           | 2.3.1. Factor de concentración de esfuerzos:                        | 19        |
| 2.4.      | CARGAS EJE SOPORTE SATÉLITES (ETAPA 1).                             | 19        |
| 2.5.      | CARGAS EJE SOPORTE SATÉLITES (ETAPA 2).                             | 21        |
| <b>3.</b> | <b>RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS SOPORTES DE SATÉLITES.</b>     | <b>23</b> |
| 3.1.      | RESULTADO CÁLCULOS DE SOPORTE SATÉLITES 1.                          | 23        |
|           | 3.1.1. Información del modelo.                                      | 23        |
|           | 3.1.2. Propiedades de estudio.                                      | 24        |
|           | 3.1.3. Propiedades de material.                                     | 25        |
|           | 3.1.4. Cargas y sujeciones.   | 25        |
|           | 3.1.5. Información de contacto.                                     | 26        |
|           | 3.1.6. Resultados del estudio.                                      | 27        |
| 3.2.      | RESULTADO CÁLCULOS DE SOPORTE SATÉLITES 2.                          | 30        |
|           | 3.2.1. Información del modelo.                                      | 30        |
|           | 3.2.2. Propiedades de estudio.                                      | 31        |
|           | 3.2.3. Propiedades de material.                                     | 31        |
|           | 3.2.4. Cargas y sujeciones.   | 32        |
|           | 3.2.5. Información de contacto.                                     | 33        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.2.6.     | <i>Resultados del estudio</i> .....               | 34        |
| <b>4.</b>  | <b>SELECCIÓN DE RODAMIENTOS</b> .....             | <b>37</b> |
| <b>5.</b>  | <b>SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE CHAVETAS</b> ..... | <b>40</b> |
| <b>6.</b>  | <b>SELECCIÓN DE ANILLOS DE RETENCIÓN</b> .....    | <b>42</b> |
| 6.1.       | ANILLO RETENCIÓN EJES PLANETARIOS (ETAPA 1).....  | 42        |
| 6.2.       | ANILLO RETENCIÓN EJES PLANETARIOS (ETAPA 2).....  | 43        |
| <b>7.</b>  | <b>SELECCIÓN DE SELLOS Y JUNTAS</b> .....         | <b>44</b> |
| <b>8.</b>  | <b>SELECCIÓN EMBRAGUE</b> .....                   | <b>45</b> |
| <b>9.</b>  | <b>ANEXO DE CATÁLOGOS</b> .....                   | <b>47</b> |
| 9.1.       | CATÁLOGO DE RODAMIENTOS.....                      | 48        |
| 9.2.       | CATÁLOGO DE RETENES.....                          | 50        |
| 9.3.       | CATÁLOGO EMBRAGUE.....                            | 54        |
| <b>10.</b> | <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                    | <b>55</b> |
| <b>11.</b> | <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                     | <b>56</b> |

## Índice de planos:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ENSAMBLAJE GENERAL.....</b>              | <b>4</b>  |
| SUBENSAMBLAJE CARCASA .....                 | 5         |
| <i>Tapa eje de entrada.....</i>             | <i>6</i>  |
| <i>Tapa eje de salida .....</i>             | <i>7</i>  |
| <i>Corte tornillo tapón de llenado.....</i> | <i>8</i>  |
| <i>Soporte reductora.....</i>               | <i>9</i>  |
| <i>Engranaje interno .....</i>              | <i>10</i> |
| SUBENSAMBLAJE MECANISMO .....               | 11        |
| <i>Engranaje sol etapa 1 .....</i>          | <i>12</i> |
| <i>Engranaje satélite etapa 1.....</i>      | <i>13</i> |
| <i>Engranaje satélite etapa 2.....</i>      | <i>14</i> |
| <i>Engranaje sol etapa 2 .....</i>          | <i>15</i> |
| <i>Eje satélites etapa 1.....</i>           | <i>16</i> |
| <i>Eje satélites etapa 2.....</i>           | <i>17</i> |
| <i>Eje de entrada.....</i>                  | <i>18</i> |
| <i>Soporte satélites etapa 1 .....</i>      | <i>19</i> |
| <i>Soporte satélites etapa 2 .....</i>      | <i>20</i> |

## Índice Pliego de Condiciones

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| <b>1.</b> | <b>CONDICIONES GENERALES.....</b> | <b>4</b> |
| 1.1.      | CONDICIONES DE USO GENERAL. ....  | 4        |
| <b>2.</b> | <b>CONDICIONES TÉCNICAS.....</b>  | <b>4</b> |
| 2.1.      | ACABADOS SUPERFICIALES. ....      | 4        |
| 2.2.      | MONTAJE.....                      | 4        |
| 2.3.      | ORDEN DE MONTAJE. ....            | 5        |
| <b>3.</b> | <b>MANTENIMIENTO. ....</b>        | <b>6</b> |

## Índice Presupuesto y Mediciones

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>CUADRO DE PRECIOS.....</b>                 | <b>4</b>  |
| 1.1.      | MANO DE OBRA.....                             | 4         |
| 1.2.      | MATERIALES.....                               | 4         |
| 1.3.      | MAQUINARIA.....                               | 5         |
| <b>2.</b> | <b>ESTADO DE MEDICIONES.....</b>              | <b>6</b>  |
| <b>3.</b> | <b>CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTO.....</b>    | <b>7</b>  |
| 3.1.      | ENGRANAJES.....                               | 7         |
| 3.2.      | EJES.....                                     | 8         |
| 3.3.      | CARCASA.....                                  | 9         |
| 3.4.      | SOPORTE SATÉLITES.....                        | 10        |
| 3.5.      | RODAMIENTOS.....                              | 10        |
| 3.6.      | EMBRAGUE.....                                 | 10        |
| 3.7.      | RETENES.....                                  | 10        |
| 3.8.      | CIRCLIPS.....                                 | 11        |
| 3.9.      | CHAVETAS.....                                 | 11        |
| 3.10.     | ARANDELAS.....                                | 11        |
| 3.11.     | TORNILLERÍA.....                              | 11        |
| 3.12.     | MONTAJE.....                                  | 11        |
| 3.13.     | ELEMENTOS AUXILIARES.....                     | 12        |
| <b>4.</b> | <b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....</b> | <b>13</b> |
| <b>5.</b> | <b>PRESUPUESTO DE BASE POR CONTRATA.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>6.</b> | <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>                  | <b>15</b> |

## Diseño de una caja reductora con embrague de protección con sobrepotencia.



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

**MEMORIA**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017



## Índice Memoria

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>0.</b> | <b>HOJA DE IDENTIFICACIÓN.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.</b> | <b>OBJECT.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2.</b> | <b>SCOPE.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>3.</b> | <b>ANTECEDENTES.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>4.</b> | <b>NORMAS Y REFERENCIAS.....</b>  | <b>8</b>  |
| 4.1       | NORMATIVA.....  | 8         |
| 4.2       | BIBLIOGRAFÍA.....   | 8         |
| 4.3       | CATÁLOGOS.....  | 9         |
| 4.4       | PROGRAMAS DE CÁLCULO.....   | 9         |
| <b>5.</b> | <b>REQUISITOS DE DISEÑO.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>6.</b> | <b>ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....</b>  | <b>11</b> |
| 6.1.      | IDEAS PREVIAS.....  | 11        |
| 6.1.1.    | <i>Tipo de engranajes.....</i>  | <i>11</i> |
| 6.1.2.    | <i>Disposición de los ejes.....</i>   | <i>14</i> |
| 6.1.3.    | <i>Sistema de fijación.....</i>   | <i>14</i> |
| 6.2.      | DISEÑO FINAL.....   | 14        |
| <b>7.</b> | <b>CRITERIOS APLICADOS Y BASES DE CÁLCULO.....</b>                                  | <b>15</b> |
| 7.1.      | CÁLCULO DE ENGRANAJES.....  | 15        |
| 7.1.1.    | <i>Dimensionamiento básico y selección de engranajes.....</i>                       | <i>15</i> |
| 7.1.2.    | <i>Selección del número de planetas.....</i>  | <i>17</i> |
| 7.1.3.    | <i>Cálculo de la carga sobre los engranajes rectos.....</i>                         | <i>19</i> |
| 7.1.4.    | <i>Esfuerzo en los engranes rectos.....</i>   | <i>21</i> |
| 7.1.5.    | <i>Esfuerzos superficiales.....</i>   | <i>25</i> |
| 7.1.6.    | <i>Resistencia de fatiga a la flexión en materiales para engranes.....</i>          | <i>27</i> |
| 7.1.7.    | <i>Resistencia de fatiga superficial.....</i>                                       | <i>30</i> |
| 7.2.      | CÁLCULO DE EJES.....  | 33        |
| 7.2.1.    | <i>Fuerzas y momentos que ejercen los elementos de máquinas sobre los ejes.....</i> | <i>33</i> |
| 7.2.2.    | <i>Diseño de ejes.....</i>  | <i>34</i> |
| 7.3.      | SOPORTE DE SATÉLITES.....   | 39        |
| 7.4.      | SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....   | 39        |
| 7.4.1.    | <i>Ajuste de los rodamientos.....</i>   | <i>40</i> |
| 7.5.      | CHAVETAS.....   | 44        |
| 7.6.      | ANILLOS DE RETENCIÓN.....   | 46        |

|   |           |
|---|-----------|
| 7.7. SELLOS Y JUNTAS. ....  | 47        |
| 7.7.1. Sellos. ....   | 47        |
| 7.7.2. Juntas de estanqueidad. ....   | 47        |
| 7.8. LUBRICACIÓN. ....  | 47        |
| 7.9. CARCASA. ....  | 47        |
| 7.10. EMBRAGUE. ....  | 48        |
| 7.11. VISTA PREVIA DEL DISEÑO DE LA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE DE SOBREPOTENCIA..... | 49        |
| <b>8. ÍNDICE DE FIGURAS. ....</b>   | <b>51</b> |
| <b>9. ÍNDICE DE TABLAS. ....</b>  | <b>52</b> |
| <b>10. ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>  | <b>53</b> |

## 0. Hoja de Identificación.

|  |
|--|
| <b>Título del proyecto</b>   |
| Diseño de una caja reductora con embrague de protección con sobrepotencia. |

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Peticionario</b> | Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología (ESIT)<br>Universidad de La Laguna                    |
| <b>Dirección</b>    | Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, S/n<br>San Cristóbal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife. |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Autor del proyecto</b> | Saúl Negrín Masagué  |
| <b>DNI</b>                | 43832456E  |
| <b>Dirección</b>          | C/ Medio Camino, N°7 (El Carretón) Arafo<br>Santa Cruz de Tenerife |
| <b>Contacto</b>           | saulnm@gmail.com   |

|              |                             |
|--------------|-----------------------------|
| <b>Tutor</b> | Carmelo Militello Militello |
|--------------|-----------------------------|

## 1. Object.

The purpose of this Final Project is the calculation and design of a gearbox with a overpower clutch. The design must comply with the criteria of load, in addition of ensuring a useful life.

In this way, is intended to establish:

- Suitable criteria of quality in the fabrication process and inspection.
- Easy assembly/disassembly.
- Revision period, reparation and parts change that can be subjected to wear as bearings, seals,...
- The base for the fabrication in series of this product.

## 2. Scope.

This document have as finality specify the characteristics and dimensions of a gearbox that reduce the velocity since 1800 rpm to 150 rpm for 4 kW of potency.

Also, will be detailed the characteristics of a gearbox that disengage the input shaft of the electric motor in the case of overpower to protect the component. The movement is obtained from an electric motor and all the set will be use to move a machine.

This Project seeks to apply the knowledge obtained during the Grade of Mechanical Engineering of the La Laguna University. Specially, they will see knowledge of the subject of calculation and design of machines, elasticity and resistance of materials, graphical engineering, industrial technology,...

### 3. Antecedentes.

Las cajas reductoras tienen como finalidad adaptar la velocidad de los motores eléctricos, de explosión o de otro tipo, a la velocidad requerida por la máquina a la que se va a acoplar. A consecuencia de disminuir la velocidad del motor, tiene lugar un aumento de la potencia mecánica, por lo que el motor puede, por ejemplo, mover grandes cargas sin suponer un esfuerzo para el mismo.

La adición de un embrague de sobrepotencia protege el motor en caso de un atasco en la máquina u obstrucción, ya que en el caso de no haber dicho embrague, en el caso de un motor eléctrico, éste se bloquearía sin que se detenga el paso de la corriente eléctrica a través del circuito interno del motor, por lo que el cortocircuito comenzará a generar calor, pudiendo quemar el bobinado y dejarlo inservible.

En la industria, las cajas reductoras tienen gran importancia y se pueden encontrar en la mayor parte de las máquinas de un taller, de una nave, de una planta de producción,... Es por ello, que hay muchas empresas que se dedican exclusivamente a fabricar estas cajas reductoras y ofrecen una gran variedad de opciones de relación de transmisión, tamaños, formatos,...

## 4. Normas y referencias.

### 4.1 Normativa.

- Acotación de los planos: UNE 1039-94 (ISO 129-1973).
- Aplicación de tolerancias dimensionales: UNE EN 20286-1:1996 (ISO286:1988).
- Aplicación de tolerancias generales: UNE EN 22768-m.
- Cálculo de vida de los rodamientos: ISO 281/2.
- Dimensiones de los anillos de retención: ASME B27.7 3AM1.
- Chavetas: ASME B18.25.1M.
- Juntas: DIN3760.
- Cálculo y diseño de engranajes: según normas AGMA.
- Cálculo y diseño de ejes: según normas AGMA.
- Características de los lubricantes: DIN 51412.
- Normativa interna de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna para la redacción de Trabajos de Fin de Grado: UNE157001 (Criterios para la elaboración de proyectos).

### 4.2 Bibliografía.

*Engranaje Planetario*. (14 de Diciembre de 2016). Obtenido de Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje\\_planetario](https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje_planetario)

López Casillas, A. (2009). *Máquinas cálculos de taller*. 40ª.

Mabie, H. H., & Reinholtz, C. F. (2001). *Mecanismos y Diámica de Maquinaria* (Segunda ed.). México: Limusa Wiley.

Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.

Oberg, E., Franklin, J. D., Horton, H. L., & Ryffel, H. H. (2016). *Machinery's Handbook* (Treinta ed.). (C. J. MacCauley, Ed.) South Norwalk: INDUSTRIAL PRESS, INC.

*Reductores de velocidad*. (17 de Abril de 2017). Obtenido de Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Reductores\\_de\\_velocidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Reductores_de_velocidad)

### **4.3 Catálogos.**

- Embrague: Mayr ROBA® -Slip Hubs.
- Rodamientos: Catálogo SKF.
- Retenes: Trelleborg – Rotary Seals.

### **4.4 Programas de cálculo.**

- Programa de diseño y simulación: SolidWork 2016.
- Programa de cálculo: Microsoft Excel 2013.

## 5. Requisitos de diseño.

Para el diseño de la caja reductora se dio los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Velocidad de giro en el eje de entrada ( $n_{in}$ ): 1800 rpm.
- Velocidad de giro en el eje de salida ( $n_{out}$ ): 150 rpm.
- Potencia: 4 kW.

La máquina impulsora será un motor eléctrico con movimiento uniforme que tendrá el como objetivo mover una máquina de impacto moderado.

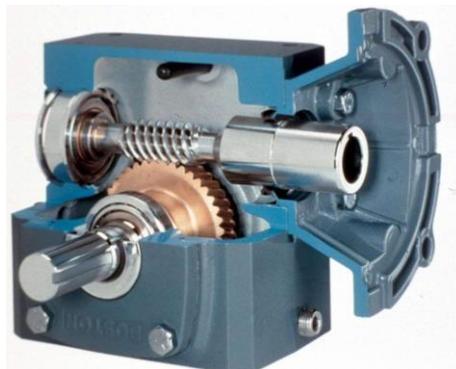
## 6. Análisis de soluciones.

### 6.1. Ideas previas.

Las cajas reductoras se pueden clasificar según varios aspectos de funcionamiento o de diseño:

#### 6.1.1. Tipo de engranajes.

- Reductoras de velocidad de sin fin-corona: es un mecanismo sencillo que consta de una corona dentada (eje lento) que se encuentra en contacto permanente con un husillo en forma de tornillo sin-fin. Una vuelta del husillo da lugar al avance de un diente de la corona.



*Ilustración 1: Imagen esquemática de una reductora de tornillo sin-fin.*

- Reductoras de velocidad de engranajes cónicos: la peculiaridad de este tipo de transmisión es que se emplean engranajes cónicos para transmitir el movimiento entre ejes que se intersecan. Cuando se acoplan dos engranajes cónicos, sus conos entran en contacto a lo largo de un elemento común y tienen un vértice común.

---

<sup>1</sup> Imagen extraída de la página web: <http://www.motormaq.com.ar/webfiles/imagenes/161/imagen.jpg>



Ilustración 2: Reductora de engranajes cónicos.

- Reductora de engranajes cicloidales: este mecanismo sólo tiene tres partes móviles que son, el eje de entrada de alta velocidad con una leva excéntrica integral y un conjunto de cojinete de rodillo, el disco cicloidal y el conjunto del eje de salida de baja velocidad. La acción de rodamiento progresiva y la pareja de los disco cicloidales eliminan la fricción y los puntos de presión de los engranajes convencionales.

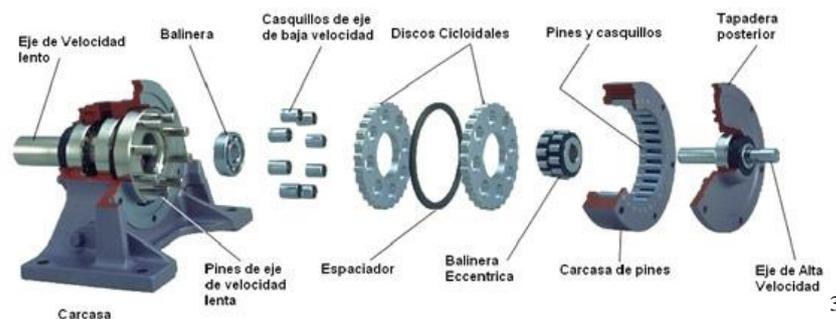


Ilustración 3: Reductora cicloidal.

- Reductora de engranajes planetarios: consiste en uno o más engranajes, también denominados planetas, que rotan sobre un engranaje central, también conocido como sol. Normalmente, los planetas se montan sobre un brazo móvil que puede rotar en relación al sol. Este tipo de reductora también puede incorporar un engranaje anular que engrana con los planetas. Los engranes planetarios tienen muchas aplicaciones en máquinas-herramientas, grúas, transmisiones de reducción para hélices de aviones, ... Su mayor ventaja es que pueden transmitir mayor potencia en un espacio dado.

<sup>2</sup> Imagen extraída de la página web: <https://s3.amazonaws.com/gdli-prod/resources/companias/4dd1b61ff582f510ba738a09/productos/50b8bbfae4b0d368df9d0ed1/reductores.jpg>

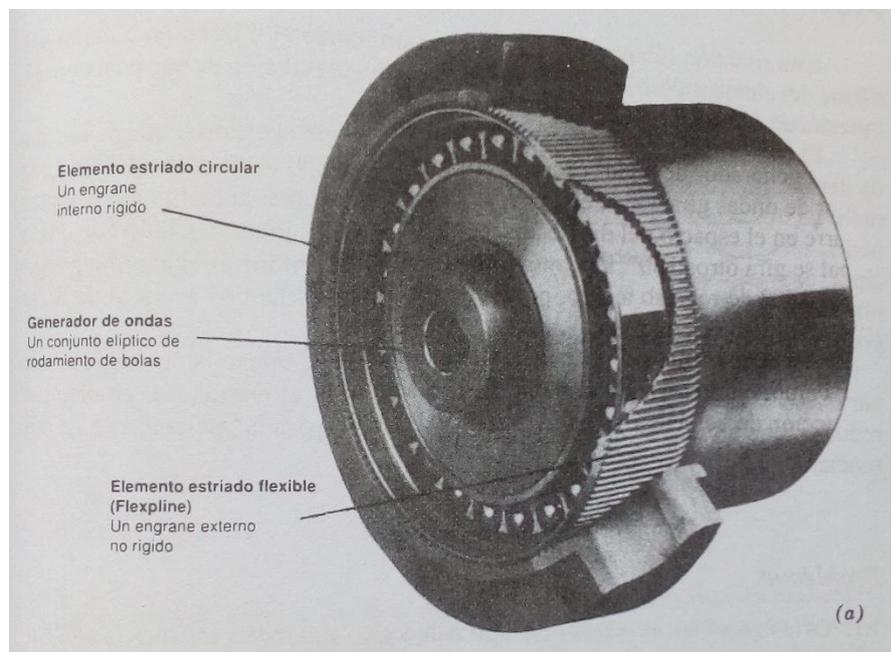
<sup>3</sup> Imagen extraída de la web: <http://www.marioperez.com.mx/wp-content/uploads/2015/05/reductor-cicloidal.jpeg>



4

Ilustración 4: Reductora de planetarios o epicicloidal.

- Engranaje motriz armónico: se basa en el principio patentado de la mecánica de cuerpos no rígidos. El empleo de este principio permite inducir una onda de deflexión elíptica y continua en un engrane externo no rígido, proporcionando un acoplamiento de rodamiento continuo con un engrane interno rígido. Debido a que los dientes del elemento estriado no rígido (Flexpline) y de la estría circular rígida están en acoplamiento continuo y a que el elemento estriado flexible cuenta con dos dientes menos que la estría circular, una revolución de la entrada provoca un movimiento relativo entre el elemento estriado flexible y la estría circular igual a dos dientes. (Mabie & Reinholtz, 2001)



5

Ilustración 5: Ejemplo de engranaje motriz armónico.

<sup>4</sup> Extraído de: [http://www.takeoffbriefing.com/wp-content/uploads/2013/02/planetarie\\_gear\\_box.gif](http://www.takeoffbriefing.com/wp-content/uploads/2013/02/planetarie_gear_box.gif)

<sup>5</sup> Imagen extraída del libro: Mecanismos y dinámica de maquinaria (Mabie & Reinholtz, 2001)

### 6.1.2. Disposición de los ejes.

Las cajas reductoras también se pueden clasificar en función de la posición relativa del eje lento con respecto al eje rápido del mismo. Las clasificaciones más comunes son: paralelos, ortogonales y coaxiales.

### 6.1.3. Sistema de fijación.

El sistema de fijación de las cajas reductoras puede ser fijo, que es el más común, o pendular como se muestra en la siguiente imagen:



6

*Ilustración 6: Ejemplo reductora pendular.*

## 6.2. Diseño final.

Una vez contempladas todas las variedades de cajas reductoras, sus configuraciones y características, se optó por el diseño más conveniente. En primer lugar, se eligió diseñar una reductora de planetarios por la gran potencia que puede transmitir con unas dimensiones reducidas con el objetivo de ofrecer un producto que puede ser usado en lugares con reducidas dimensiones. La sujeción de la reductora será de anclaje al suelo o a una base de apoyo propiamente preparada para ello para reducir esfuerzos debidos al peso y dar mayor rigidez al conjunto.

Tras haber realizado los respectivos cálculos, el diseño será de dos etapas para reducir el tamaño, ya que de hacerse de una etapa, los engranajes serían más grandes, convirtiendo la reductora en un elemento difícil de mover para su instalación, mantenimiento o reparación.

---

<sup>6</sup> Extraído de: [http://www.transtecno.com/es-es/cajas-reductoras-de-velocidad-motor/img/58\\_1id-Transtecno-Motorreductores-pendulares-ATS.png](http://www.transtecno.com/es-es/cajas-reductoras-de-velocidad-motor/img/58_1id-Transtecno-Motorreductores-pendulares-ATS.png)

## 7. Criterios aplicados y bases de cálculo.

Tras haber elegido el tipo de caja reductora que se va a diseñar, se procede a realizar los cálculos pertinentes para su diseño. Es por ello, que a continuación se detallará el proceso de cálculo utilizado así como los criterios tomados para su diseño.

### 7.1. Cálculo de engranajes.

#### 7.1.1. Dimensionamiento básico y selección de engranajes.

Se comenzará el cálculo del elemento fundamental que transmite el movimiento y la potencia, para lo cual se dimensionará los engranajes rectos necesarios para la velocidad de entrada que ha sido dada, la velocidad de salida y la potencia transmitida. De la siguiente ecuación se puede hallar la relación de transmisión a partir de la velocidad del eje de entrada y la velocidad del eje de salida:

$$i = \frac{n_{in}}{n_{out}} = \frac{dp_{out}}{dp_{in}} = \frac{Z_{out}}{Z_{in}}$$

*Ecuación 1: Relación de transmisión.*

Donde:

- $i$ : relación de transmisión.
- $n_{in}$  y  $n_{out}$ : velocidad del eje de entrada y del eje de salida respectivamente.
- $dp_{in}$  y  $dp_{out}$ : diámetro de paso del engranaje de entrada y de salida respectivamente.
- $Z_{in}$  y  $Z_{out}$ : número de dientes del engranaje de entrada y de salida respectivamente.

A partir de la ecuación del módulo métrico, se puede calcular el diámetro de paso correspondiente con respecto al módulo y el número de dientes del engranaje o al revés, el número de dientes para un diámetro de paso dado y el módulo:

$$m = \frac{dp}{Z}$$

*Ecuación 2: Módulo métrico estándar.*

El funcionamiento de la caja reductora de planetarios será de la siguiente forma:

- Engranaje “sol”: corresponde al engranaje de entrada del movimiento.

- Engranajes “satélites”: estos elementos girarán respecto al sol y entorno al sol haciendo girar el brazo que los soporta, el cual corresponde a la salida del movimiento.
- Engranaje anular: este estará fijo y servirá de apoyo a los satélites para que roten alrededor del engranaje “sol”.

En este caso, el cálculo de la velocidad en el eje de salida es un poco complejo de hallar, pero la siguiente ecuación simplifica el estudio de la razón de velocidad del tren:

$$\frac{n_{in}}{n_{out}} = \frac{Z_{sol} + Z_{anular}}{Z_{sol}}$$

*Ecuación 3: Razón de velocidad*

De esta forma, variando el número de dientes de los engranajes “sol” y “anular” y conociendo la velocidad de giro a la entrada del tren de transmisión, se puede hallar la velocidad de giro a la salida del mismo.

Como en la ecuación anterior no aparecen las dimensiones de los engranajes satélites o el número de dientes, se puede hallar sencillamente de la siguiente forma:

$$d_{p,satélite} = \frac{d_{p,anular} - d_{p,sol}}{2}$$

*Ecuación 4: Diámetro de paso engranaje satélite*

En conclusión, tras realizar las correspondientes iteraciones para el dimensionado de los engranajes, nos quedan las siguientes medidas para los mismos:

| Etapa 1                 |         |           |                         |
|-------------------------|---------|-----------|-------------------------|
|                         | Sol     | Satélites | Anular                  |
| Relación de transmisión | 3,46    |           |                         |
| Módulo                  | 3       |           |                         |
| Velocidad (rpm)         | 1800,00 | 2463,16   | 0 (Bloqueado - No gira) |
| Z (Nº dientes)          | 26      | 19        | 64                      |
| Diámetro de paso (mm)   | 78,00   | 57,00     | 192,00                  |
| Ángulo de presión (°)   | 20      | 20        | 20                      |
| Adéndum (mm)            | 3       | 3         | 3                       |
| Dedéndum (mm)           | 3,751   | 3,751     | 3,751                   |

Tabla 1: Dimensiones engranajes etapa 1.

| Etapa 2                 |        |           |                         |
|-------------------------|--------|-----------|-------------------------|
|                         | Sol    | Satélites | Anular                  |
| Relación de transmisión | 3,46   |           |                         |
| Módulo                  | 3      |           |                         |
| Velocidad (rpm)         | 520,00 | 711,58    | 0 (Bloqueado - No gira) |
| Z (Nº dientes)          | 26     | 19        | 64                      |
| Diámetro de paso (mm)   | 78,00  | 57,00     | 192,00                  |
| Ángulo de presión (°)   | 20     | 20        | 20                      |
| Adéndum (mm)            | 3      | 3         | 3                       |
| Dedéndum (mm)           | 3,751  | 3,751     | 3,751                   |

Tabla 2: Dimensiones engranajes etapa 2.

### 7.1.2. Selección del número de planetas.

En el diseño de un tren de engranajes planetarios es importante considerar el problema del ensamblaje de planetas igualmente espaciados, ya que puede darse el caso de que para un número determinado de dientes en los engranes, no es posible tener tres satélites igualmente

espaciados. Para ello, se utilizará el siguiente esquema de referencia para plantear las ecuaciones:

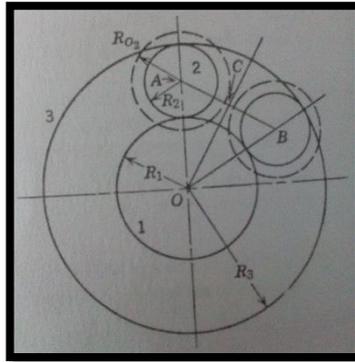


Ilustración 7: Esquema para número máximo de satélites. (Mabie & Reinholtz, 2001)

El número máximo de planetas en el tren de engranajes no puede ser mayor que:

$$N_{\text{máx}} = \frac{180}{\sin^{-1} \left( \frac{Z_2 + 2}{Z_1 + Z_2} \right)}$$

Ecuación 5: Número máximo de satélites.

Siendo:

- $Z_1$ : Número de dientes del engranaje sol.
- $Z_2$ : Número de dientes del engranaje satélite.

Para ello, se puede emplear la siguiente ecuación, similar a la “Ecuación 4: Diámetro de paso engranaje satélite” para hallar el número de dientes de los satélites:

$$Z_2 = \frac{Z_3 - Z_1}{2}$$

Ecuación 6: Número de dientes engranaje satélite.

Donde:

- $Z_3$ : Número de dientes del engranaje anular.

Con la siguiente expresión es posible calcular el número de planetas igualmente espaciados alrededor del engranaje 1 (o engranaje sol):

$$N = \frac{Z_3 + Z_1}{C}$$

Ecuación 7: Número de satélites igualmente espaciados.

Siendo:

- N: Número de satélites igualmente espaciados (debe ser un número entero).
- C: Número entero de espacios de diente entre planetas.

### 7.1.3. Cálculo de la carga sobre los engranajes rectos.

Los dientes de los engranajes son el punto de contacto por el cual se transmite el movimiento y el par de torsión, por lo que están sometidos a esfuerzos. Los dientes están en contacto por el punto de paso. En este punto, la única fuerza que se transmite de un diente a otro, ignorando la fricción, es la fuerza 'W' que actúa a lo largo de la línea de acción en el ángulo de presión. Esta fuerza se puede descomponer en dos componentes:

- $W_r$ : componente radial.
- $W_t$ : componente tangencial.

En la siguiente imagen se muestran los diagramas de cuerpo libre del engranaje y del piñón:

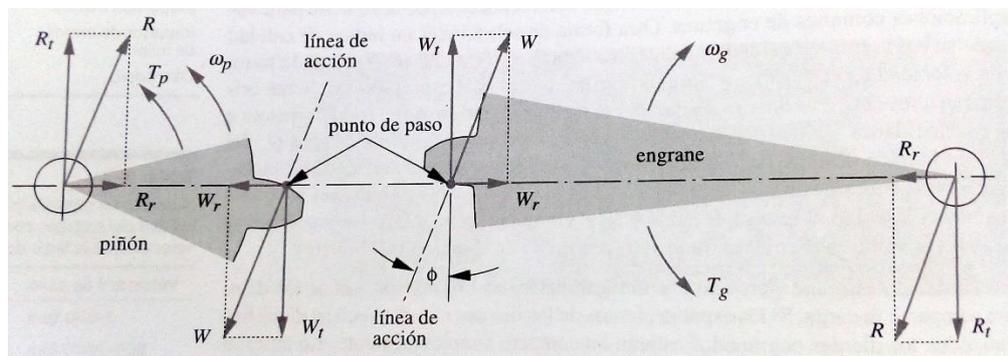


Ilustración 8: Fuerzas sobre el piñón y el engrane. (Norton, 2011)

La magnitud de la componente tangencial se determina a partir del torque y radio o diámetro de paso como se muestra en la siguiente ecuación:

$$W_t = \frac{T_p}{r_p} = \frac{2 * T_p}{d_p}$$

Ecuación 8: Fuerza tangencial sobre engranajes.

Siendo:

- $r_p$ : radio de paso (m).
- $d_p$ : diámetro de paso (m).
- $T_p$ : torque sobre el eje del piñón (N\*m).

La componente radial se puede calcular a partir del ángulo de presión como se muestra a continuación:

$$W_r = W_t * \tan(\phi)$$

*Ecuación 9: Fuerza radial sobre engranajes.*

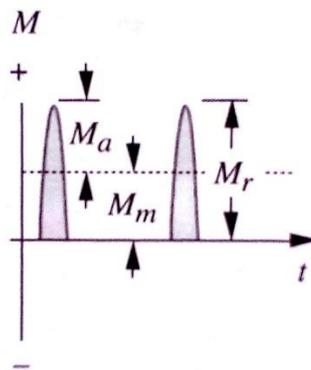
Donde:

- $\Phi$ : es el ángulo de presión (en grados).

La fuerza 'R' de reacción y las componentes en las que se descompone ('R<sub>t</sub>' y 'R<sub>r</sub>'), son iguales y con dirección opuesta a las fuerzas correspondientes que actúan en el punto de paso del engranaje.

Los dientes pueden llegar a soportar toda o parte de la carga 'W' dependiendo de la razón de contacto en cualquier lugar entre la punta del diente y un punto cercano al círculo del dedendum, conforme va girando a través del engranaje. El peor caso de carga es cuando la fuerza 'W' actúa sobre las puntas de los dientes. Es aquí cuando su componente tangencial 'W<sub>t</sub>' tiene el brazo del momento, con la longitud más grande posible, actuando sobre el diente como si se tratase de una viga en voladizo. El momento de flexión y la fuerza cortante transversal, debida a la flexión, serán máximos en la raíz del diente.

A pesar de que el torque 'T<sub>p</sub>' es constante en el tiempo, cada diente experimentará carga repetida conforme pasa por el engranaje, creando así un escenario de carga de fatiga. En la Ilustración 9, se muestra el momento flector respecto al tiempo en un engranaje:



*Ilustración 9: Momento repetido sobre el diente del engrane. (Norton, 2011)*

Aquí se puede ver que las componentes de flexión media 'M<sub>m</sub>' y alternante 'M<sub>a</sub>' son iguales.

#### 7.1.4. Esfuerzo en los engranes rectos.

Dado que la fuerza tangencial genera un momento flexionante en el diente del engranaje, se puede calcular este esfuerzo por medio de la ecuación de la AGMA que se muestra a continuación basada en la ecuación de Lewis:

$$S_t = \frac{W_t}{F * m * J} * \frac{K_a * K_m}{K_v} * K_s * K_b * K_i$$

*Ecuación 10: Esfuerzo flexionante en engranajes.*

Siendo:

- F: ancho de cara (mm).
- m: módulo métrico.
- J: factor geométrico de forma.
- K<sub>a</sub>: factor de sobrecarga.
- K<sub>m</sub>: factor de distribución de carga.
- K<sub>v</sub>: factor dinámico.
- K<sub>s</sub>: factor de tamaño.
- K<sub>b</sub>: factor de espesor del aro.
- K<sub>i</sub>: factor de un engrane loco.

Los factores ‘K’ son modificadores para tener en cuenta en la ecuación distintas condiciones que se presentan en el estudio.

##### 7.1.4.1. Factor de sobrecarga ‘K<sub>a</sub>’.

Si la máquina impulsora y la impulsada tienen torques o fuerzas que varían con el tiempo, éstos aumentarán la carga sostenida por el diente por encima de los valores medios. El factor ‘K<sub>a</sub>’ se aplica en ausencia de la información respectiva a las cargas dinámicas para incrementar el esfuerzo en el diente en función del grado de choque de la maquinaria conectada al tren de engranajes. A continuación se muestra una tabla que recoge los distintos valores del factor de sobrecarga en función del grado de choque en los dispositivos impulsor e impulsado:

| Máquina impulsada |          |                  |                |
|-------------------|----------|------------------|----------------|
| Máquina impulsora | Uniforme | Impacto moderado | Impacto fuerte |
| Uniforme          | 1.00     | 1.25             | 1.75 o mayor   |
| Impacto suave     | 1.25     | 1.50             | 2.00 o mayor   |
| Impacto medio     | 1.50     | 1.75             | 2.25 o mayor   |

Tabla 3: Factor de sobrecarga.

En este diseño, se tomará la consideración de que se va a utilizar un motor eléctrico para dar movimiento a una máquina con impacto moderado, para lo cual tenemos, según se muestra en la 'Tabla 3', un factor de sobrecarga de 1,25 lo que amplifica la carga sobre el diente un 25% más.

#### 7.1.4.2. Factor de distribución de carga ' $K_m$ '.

Dado que cualquier desalineación o desviación axiales en la forma del diente causan que la carga ' $W_t$ ' transmitida se distribuya de forma desigual sobre el ancho de la cara de los dientes del engranaje, conviene emplear un factor que incremente los esfuerzos en los mayores anchos de cara del diente. En la siguiente tabla se muestran algunos valores sugeridos:

| Ancho de cara (mm) | $K_m$ |
|--------------------|-------|
| < 50 mm            | 1.6   |
| 150 mm             | 1.7   |
| 250 mm             | 1.8   |
| $\geq 500$ mm      | 2.0   |

Tabla 4: Factor de distribución de carga.

El ancho de cara de los dientes de los engranajes de la primera etapa es menor a 50 mm, por lo que el factor de distribución de carga es de 1.6 según se puede observar en la 'Tabla 4' y como el ancho de cara de los engranajes de la segunda etapa es de 100 mm, el factor de distribución de carga es de 1.7.

#### 7.1.4.3. Factor de tamaño ' $K_s$ '.

La AGMA recomienda hacer  $K_s$  igual a 1, a menos que el diseñador quiera aumentar este valor para tener en consideración, por ejemplo, dientes muy largos. Dado que el tamaño de los dientes es estándar, se tomará el factor de tamaño igual a 1.

#### 7.1.4.4. Factor de espesor del aro ' $K_b$ '.

Este factor toma en cuenta aquellas situaciones en las que un engrane con diámetro grande tiene un espesor pequeño del aro en comparación con la profundidad del diente. De esta forma, el engranaje podría fallar por fractura radial en el aro, en lugar de en la raíz del diente. Como el diseño de los engranajes en este estudio no tiene un espesor de aro pequeño, se puede considerar un valor de 1 para este factor.



Ilustración 10: Imagen del espesor del aro de un engranaje.

#### 7.1.4.5. Factor de un engrane loco ' $K_i$ '.

Como un engrane loco está sometido a más ciclos de esfuerzo por unidad de tiempo con mayores cargas alternantes que los engranajes normales, la AGMA utiliza el factor ' $K_i$ ' para reducir la resistencia aparente del material de un engrane loco. Para ello, se utiliza un factor de 1.42 para los engranes locos y un factor de 1 para los engranes normales. Dado que en este estudio estamos tratando con engranes normales, el factor a considerar será igual a 1.

#### 7.1.4.6. Factor dinámico ' $K_v$ '.

Este factor trata de tener en cuenta las cargas vibratorias internas que se generan por el impacto entre los dientes, las cuales están inducidas por un engranaje desajustado. Estas cargas se las conoce como error de transmisión y son mayores en engranajes de baja precisión. Los engranes de precisión se aproximan más al ideal de transmisión del par torsional con suavidad y razón de velocidad constante. Para el cálculo de este factor se emplea la siguiente ecuación:

$$K_v = \left( \frac{A}{A + \sqrt{200 * V_t}} \right)^B$$

Ecuación 11: Factor dinámico  $K_v$ .

Donde:

- $V_t$ : es la velocidad en la línea de paso del engrane acoplado (m/s).
- A: factor que se define de la siguiente forma.

$$A = 50 + 56 * (1 - B)$$

*Ecuación 12: Factor 'A' para el cálculo del factor dinámico.*

- B: factor que se define de la siguiente manera.

$$B = \frac{(12 - Q_v)^2}{4} \quad \text{para } 6 \leq Q_v \leq 11$$

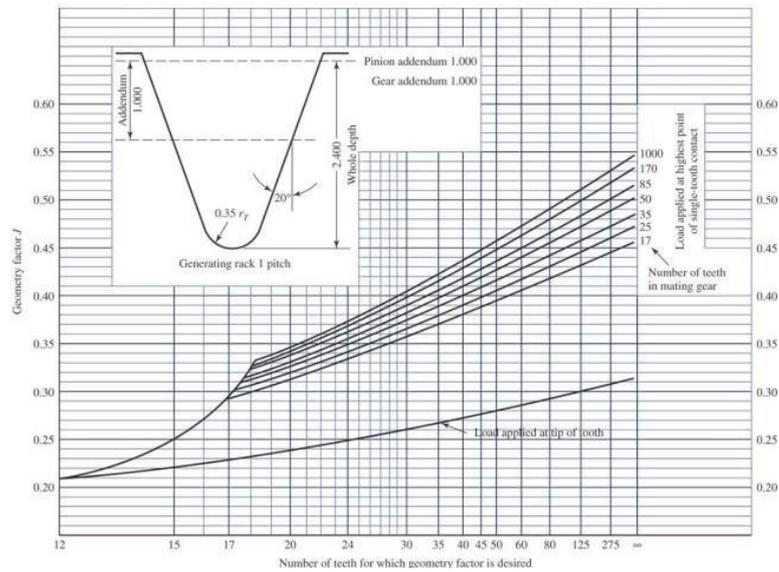
*Ecuación 13: Factor 'B' para el cálculo del factor dinámico.*

- $Q_v$ : índice de calidad del engranaje.

Para el diseño de la caja reductora se ha elegido un índice de calidad del engranaje de 8.

#### 7.1.4.7. Factor geométrico 'J'.

El factor de geometría viene dado por la relación entre el factor de forma de Lewis 'Y', el cual sólo depende de la geometría del diente y el factor de concentración de esfuerzos ' $K_t$ ', que también depende de la forma del diente. A continuación se muestra una gráfica que será de gran utilidad para determinar su valor:



*Ilustración 11: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J'.*

### 7.1.5. Esfuerzos superficiales.

Los dientes de dos engranajes acoplados entre sí tienen una combinación de rodamiento y deslizamiento en su punto de contacto. El movimiento relativo de rodamiento puro tiene lugar en el punto de paso. Los esfuerzos en la superficie tienen valores pico en la superficie o ligeramente debajo de ella, según la cantidad de deslizamiento presente.

Las primeras investigaciones sistemáticas sobre los esfuerzos superficiales en dientes de engranajes fueron realizadas por Buckingham, el cual desarrolló una ecuación que lleva su nombre. La AGMA emplea dicha ecuación como base para la fórmula de resistencia al picado:

$$\sigma_c = C_p * \sqrt{\frac{W_t}{F * I * d} * \frac{C_a * C_m}{C_v} * C_s * C_f}$$

*Ecuación 14: Resistencia contra el picado.*

Donde:

- $C_p$ : es el coeficiente elástico.
- $F$ : ancho de cara.
- $d$ : diámetro de paso.
- $C_a$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  y  $C_m$ : son iguales a  $K_a$ ,  $K_v$ ,  $K_s$  y  $K_m$ .
- $I$ : factor geométrico superficial.
- $C_f$ : factor de acabado superficial.

#### 7.1.5.1. Factor geométrico superficial 'I'.

Este factor tiene en consideración el ángulo de presión y los radios de curvatura de los dientes del engrane, cuyo valor viene dado por la siguiente expresión:

$$I = \frac{\cos(\phi)}{\left(\frac{1}{\rho_p} \pm \frac{1}{\rho_g}\right) * d_p}$$

*Ecuación 15: Factor geométrico superficial 'I'.*

Donde  $\rho_p$  y  $\rho_g$  son los radios de curvatura de los dientes del piñón y del engrane respectivamente. El signo +/- toma en cuenta si se trata de engranajes externos o internos, para lo cual, el signo positivo se utiliza generalmente para los engranajes externos. Los radios de curvatura se calculan de la siguiente manera:

$$\rho_p = \sqrt{\left(r_p + \frac{(1 + x_p) * m}{25.4}\right)^2 - (r_p * \cos(\phi))^2} - \frac{\pi * m}{25.4} * \cos(\phi)$$

*Ecuación 16: Radio de curvatura de los dientes del piñón.*

$$\rho_g = C * \sin(\phi) \mp \rho_p$$

*Ecuación 17: Radio de curvatura de los dientes del engrane.*

Aquí tenemos que:

- m: módulo métrico.
- $r_p$ : radio de paso del piñón.
- C: es la distancia entre los centros del piñón y del engrane.
- $x_p$ : es el coeficiente de adendo del piñón, pero como los dientes del engrane que se van a tratar en este estudio son estándares (no son de adendo largo), el valor de este coeficiente es igual a 0.

En este caso, el signo negativo de  $-/+$  se utiliza para los engranes externos y el positivo para los engranes internos.

#### 7.1.5.2. Coeficiente elástico ' $C_p$ '.

Este coeficiente tiene en cuenta las diferencias en los materiales de los dientes del piñón y del engrane:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi * \left[\left(\frac{1 - \nu_p^2}{E_p}\right) + \left(\frac{1 - \nu_g^2}{E_g}\right)\right]}}$$

*Ecuación 18: Coeficiente elástico ' $C_p$ '.*

Donde:

- $E_p$  y  $E_g$ : son los módulos de elasticidad del piñón y del engrane respectivamente.
- $\nu_p$  y  $\nu_g$ : son las respectivas razones de poisson.

Para ello, será muy interesante la tabla que se muestra a continuación:

**Tabla 8-18** Coeficiente elástico  $C_p$  de la AGMA en unidades de  $[\text{psi}]^{0.5}$  ( $[\text{MPa}]^{0.5}$ )\*†

| Material del piñón | $E_p$<br>psi<br>(MPa) | Material del engrane |                 |                |                |                    |                  |
|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|------------------|
|                    |                       | Acero                | Hierro maleable | Hierro nodular | Hierro fundido | Bronce al aluminio | Bronce al estaño |
| Acero              | 30E6<br>(2E5)         | 2 300<br>(191)       | 2 180<br>(181)  | 2 160<br>(179) | 2 100<br>(174) | 1 950<br>(162)     | 1 900<br>(158)   |
| Hierro maleable    | 25E6<br>(1.7E5)       | 2 180<br>(181)       | 2 090<br>(174)  | 2 070<br>(172) | 2 020<br>(168) | 1 900<br>(158)     | 1 850<br>(154)   |
| Hierro nodular     | 24E6<br>(1.7E5)       | 2 160<br>(179)       | 2 070<br>(172)  | 2 050<br>(170) | 2 000<br>(166) | 1 880<br>(156)     | 1 830<br>(152)   |
| Hierro fundido     | 22E6<br>(1.5E5)       | 2 100<br>(174)       | 2 020<br>(168)  | 2 000<br>(166) | 1 960<br>(163) | 1 850<br>(154)     | 1 800<br>(149)   |
| Bronce al aluminio | 17.5E6<br>(1.2E5)     | 1 950<br>(162)       | 1 900<br>(158)  | 1 880<br>(156) | 1 850<br>(154) | 1 750<br>(145)     | 1 700<br>(141)   |
| Bronce al estaño   | 16E6<br>(1.1E5)       | 1 900<br>(158)       | 1 850<br>(154)  | 1 830<br>(152) | 1 800<br>(149) | 1 700<br>(141)     | 1 650<br>(137)   |

† Los valores de  $E_p$  en esta tabla son aproximados; se utilizó  $\nu = 0.3$  como una aproximación de la razón de Poisson para todos los materiales. Si existen números más precisos de  $E_p$  y  $\nu$ , éstos se deberían emplear en la ecuación 7.23 para determinar  $C_p$ .

Tabla 5: Coeficiente elástico  $C_p$  de la AGMA.

### 7.1.5.3. Factor de acabado superficial ' $C_f$ '.

Este factor es empleado para considerar en el cálculo acabados superficiales inusualmente ásperos en los dientes del engrane. Dado que la AGMA no ha establecido todavía estándares para los factores de acabado superficial, se puede tomar este valor igual a 1 si el engranaje está fabricado por métodos convencionales y un número mayor para considerar los acabados superficiales ásperos.

### 7.1.6. Resistencia de fatiga a la flexión en materiales para engranes.

La fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga por flexión en los engranajes viene dada de la siguiente manera:

$$S_{fb} = \frac{K_L}{K_T * K_R} * S_{fb}'$$

Ecuación 19: Fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga por flexión.

Donde:

- $S_{fb}$ : resistencia corregida de fatiga por flexión.
- $S_{fb}'$ : resistencia a la fatiga por flexión publicada por la AGMA.
- $K_L$ : factor de vida.
- $K_T$ : factor de temperatura.

- $K_R$ : factor de confiabilidad.

Los datos correspondientes a la resistencia a la fatiga por flexión ( $S_{fb}'$ ) se pueden obtener a partir de la tabla siguiente recogida por la AGMA:

| Material                    | Clase AGMA | Designación del material | Tratamiento térmico                  | Dureza superficial mínima            | Resistencia a la fatiga por tensión  |         |         |
|-----------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|
|                             |            |                          |                                      |                                      | psi x 10 <sup>3</sup>                | MPa     |         |
| Acero                       | A1-A5      |                          | Endurecido totalmente                | ≤ 180 HB                             | 25-33                                | 170-230 |         |
|                             |            |                          | Endurecido totalmente                | 240 HB                               | 31-41                                | 210-280 |         |
|                             |            |                          | Endurecido totalmente                | 300 HB                               | 36-47                                | 250-325 |         |
|                             |            |                          | Endurecido totalmente                | 360 HB                               | 40-52                                | 280-360 |         |
|                             |            |                          | Endurecido totalmente                | 400 HB                               | 42-56                                | 290-390 |         |
|                             |            |                          | Endurecido por llama o por inducción | Patrón tipo A 50-54 HRC              | 45-55                                | 310-380 |         |
|                             |            |                          | Endurecido por llama o por inducción | Patrón tipo B                        | 22                                   | 150     |         |
|                             |            |                          | Carburado y recubrimiento endurecido | 55-64 HRC                            | 55-75                                | 380-520 |         |
|                             |            |                          | AISI 4140                            | Nitrurado                            | 84.6 HR15N <sup>†</sup>              | 34-45   | 230-310 |
|                             |            |                          | AISI 4340                            | Nitrurado                            | 83.5 HR15N                           | 36-47   | 250-325 |
|                             |            |                          | Nitroaleación 135M                   | Nitrurado                            | 90.0 HR15N                           | 38-48   | 260-330 |
|                             |            |                          | Nitroaleación N                      | Nitrurado                            | 90.0 HR15N                           | 40-50   | 280-345 |
|                             |            |                          | Cromo al 2.5%                        | Nitrurado                            | 87.5-90.0 15N                        | 55-65   | 380-450 |
| Hierro colado               | 20         | Clase 20                 | Como está fundido                    |                                      | 5                                    | 35      |         |
|                             |            | Clase 30                 | Como está fundido                    | 175 HB                               | 8                                    | 69      |         |
|                             |            | Clase 40                 | Como está fundido                    | 200 HB                               | 13                                   | 90      |         |
| Hierro nodular (dúctil)     | A-7-a      | 60-40-18                 | Recocido                             | 140 HB                               | 22-33                                | 150-230 |         |
|                             |            | 80-55-06                 | Templado y revenido                  | 180 HB                               | 22-33                                | 150-230 |         |
|                             |            | 100-70-03                | Templado y revenido                  | 230 HB                               | 27-40                                | 180-280 |         |
|                             |            | 120-90-02                | Templado y revenido                  | 230 HB                               | 27-40                                | 180-280 |         |
| Hierro maleable (perlítico) | A-8-c      | 45007                    |                                      | 165 HB                               | 10                                   | 70      |         |
|                             |            | 50005                    |                                      | 180 HB                               | 13                                   | 90      |         |
|                             |            | 53007                    |                                      | 195 HB                               | 16                                   | 110     |         |
|                             |            |                          |                                      | 240 HB                               | 21                                   | 145     |         |
|                             |            | 80002                    |                                      |                                      |                                      |         |         |
| Bronce                      | Bronce 2   | AGMA 2C                  | Fundido en arena                     | 40 ksi resistencia a la tensión mín. | 5.7                                  | 40      |         |
|                             |            | Al/Br 3                  | ASTM B-148<br>78 aleación 954        | Tratado térmicamente                 | 90 ksi resistencia a la tensión mín. | 23.6    | 160     |

Tabla 6: Resistencias de fatiga por flexión  $S_{fb}'$ .

### 7.1.6.1. Factor de vida ' $K_L$ '.

En la siguiente gráfica se muestran las ecuaciones correspondientes de las curvas ajustadas para cada línea. Estas ecuaciones sirven para calcular el factor de vida adecuado para un número de ciclos de carga determinado:

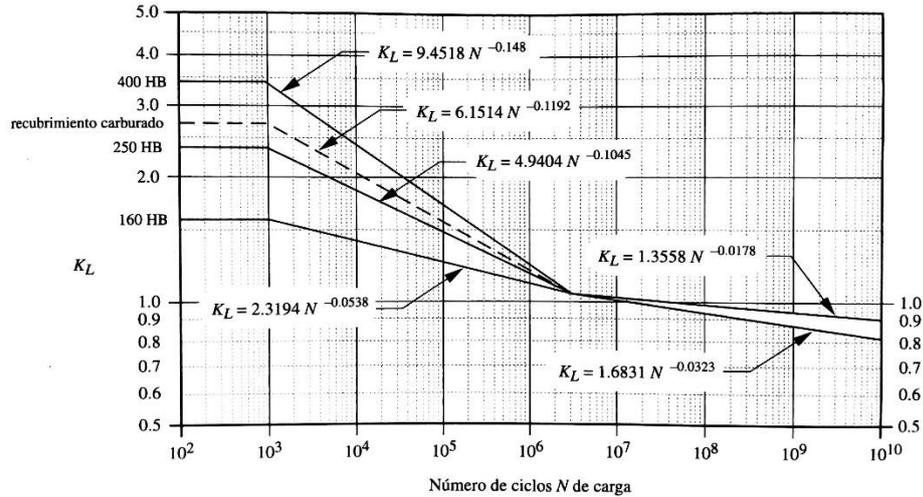


Ilustración 12: Factor de vida 'KL'.

El número de ciclos de carga esperado se puede efectuar de la siguiente manera:

$$N_C = 60 * L * n * q$$

Ecuación 20: Número de ciclos de carga.

Donde:

- L: vida prevista del diseño (horas).
- Q: número de aplicaciones de carga por revolución.

#### 7.1.6.2. Factor de temperatura 'KT'.

Como la temperatura del engrane posiblemente no sea mayor que 90°C, se puede tomar este valor igual a 1.

#### 7.1.6.3. Factor de confiabilidad 'KR'.

Dado el caso en el que de 100 muestras 1 de ellas falla, se estaría hablando de un factor de confiabilidad igual a 1 según los datos de la AGMA. De todas formas, se muestra a continuación una tabla con los distintos valores del factor para cada grado de confiabilidad, del cual, se ha optado en este proyecto por considerar un 90% de confiabilidad:

| Confiabilidad (%) | K <sub>R</sub> |
|-------------------|----------------|
| 90                | 0.85           |
| 99                | 1              |
| 99.9              | 1.25           |
| 99.99             | 1.5            |

Tabla 7: Factor de confiabilidad para resistencia de fatiga a la flexión.

### 7.1.7. Resistencia de fatiga superficial.

La fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga superficial en los engranajes viene dada por la siguiente ecuación:

$$S_{fc} = \frac{C_L * C_H}{C_T * C_R} * S_{fc}'$$

*Ecuación 21: Fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga superficial.*

Donde:

- $S_{fc}$ : resistencia corregida de fatiga superficial.
- $S_{fc}'$ : resistencia a la fatiga superficial publicada por la AGMA.
- $C_L$ : factor de vida superficial.
- $C_H$ : factor de razón de dureza.
- $C_T$ : factor de temperatura.
- $C_R$ : factor de confiabilidad.

Los valores del factor de temperatura y del factor de confiabilidad son iguales a los obtenidos en el apartado anterior para el cálculo de la resistencia a la fatiga por flexión. Los datos correspondientes a la resistencia de la fatiga superficial ( $S_{fc}'$ ) se pueden obtener a partir de la tabla siguiente recogida por la AGMA:

**Tabla 8-21 Resistencias de la AGMA para fatiga superficial  $S_{fc}'$  en un conjunto de materiales de engranes\***

| Material                    | Clase AGMA | Denominación del material  | Tratamiento térmico                  | Dureza superficial mínima            | Resistencia superficial a la fatiga |           |
|-----------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
|                             |            |                            |                                      |                                      | psi x 10 <sup>3</sup>               | MPa       |
| Acero                       | A1-A5      |                            | Endurecido totalmente                | ≤ 180 HB                             | 85-95                               | 590-660   |
|                             |            |                            | Endurecido totalmente                | 240 HB                               | 105-115                             | 720-790   |
|                             |            |                            | Endurecido totalmente                | 300 HB                               | 120-135                             | 830-930   |
|                             |            |                            | Endurecido totalmente                | 360 HB                               | 145-160                             | 1000-1100 |
|                             |            |                            | Endurecido totalmente                | 400 HB                               | 155-170                             | 1100-1200 |
|                             |            |                            | Endurecido por llama o por inducción | 50 HRC                               | 170-190                             | 1200-1300 |
|                             |            |                            | Endurecido por llama o por inducción | 54 HRC                               | 175-195                             | 1200-1300 |
|                             |            |                            | Carburado y recubrimiento endurecido | 55-64 HRC                            | 180-225                             | 1250-1300 |
|                             |            |                            | AISI 4140 Nitruado                   | 84.6 HR15N†                          | 155-180                             | 1100-1250 |
|                             |            |                            | AISI 4340 Nitruado                   | 83.5 HR15N                           | 150-175                             | 1050-1200 |
|                             |            |                            | Nitroaleación 135M Nitruado          | 90.0 HR15N                           | 170-195                             | 1170-1350 |
| Nitroaleación N Nitruado    | 90.0 HR15N | 195-205                    | 1340-1410                            |                                      |                                     |           |
| Cromo al 2.5% Nitruado      | 87.5 HR15N | 155-172                    | 1100-1200                            |                                      |                                     |           |
| Cromo al 2.5% Nitruado      | 90.0 HR15N | 192-216                    | 1300-1500                            |                                      |                                     |           |
| Hierro fundido              | 20         | Clase 20                   | Como se fundió                       |                                      | 50-60                               | 340-410   |
|                             | 30         | Clase 30                   | Como se fundió                       | 175 HB                               | 65-70                               | 450-520   |
|                             | 40         | Clase 40                   | Como se fundió                       | 200 HB                               | 75-85                               | 520-590   |
| Hierro nodular (dúctil)     | A-7-a      | 60-40-18                   | Recocido                             | 140 HB                               | 77-92                               | 530-630   |
|                             | A-7-c      | 80-55-06                   | Templado y revenido                  | 180 HB                               | 77-92                               | 530-630   |
|                             | A-7-d      | 100-70-03                  | Templado y revenido                  | 230 HB                               | 92-112                              | 630-770   |
|                             | A-7-e      | 120-90-02                  | Templado y revenido                  | 230 HB                               | 103-126                             | 710-870   |
| Hierro maleable (perlítico) | A-8-c      | 45007                      |                                      | 165 HB                               | 72                                  | 500       |
|                             | A-8-e      | 50005                      |                                      | 180 HB                               | 78                                  | 540       |
|                             | A-8-f      | 53007                      |                                      | 195 HB                               | 83                                  | 570       |
|                             | A-8-i      | 80002                      |                                      | 240 HB                               | 94                                  | 650       |
| Bronce                      | Bronce 2   | AGMA 2C                    | Fundido en arena                     | 40 ksi resistencia a la tensión mín. | 30                                  | 450       |
|                             | Al/Br 3    | ASTM B-148 78 aleación 954 | Tratado térmicamente                 | 90 ksi resistencia a la tensión mín. | 65                                  | 450       |

Tabla 8: Resistencias de fatiga superficial  $S_{fc}'$

7.1.6.1. Factor de vida ' $C_L$ '.

En la siguiente gráfica se muestran las ecuaciones correspondientes de las curvas ajustadas para cada línea:

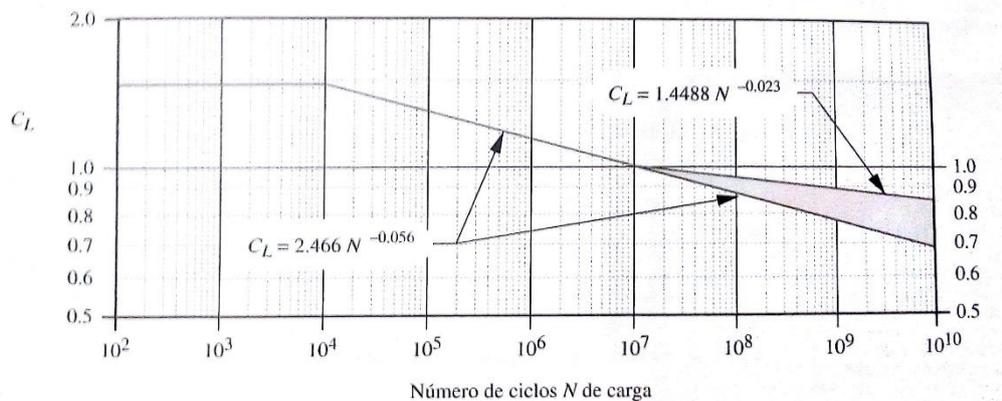


Tabla 9: Factor de vida ' $C_L$ '.

#### 7.1.6.2. Factor de razón de dureza ' $C_H$ '.

Este factor es una función de la razón de engrane y de la dureza relativa entre el piñón y el engrane. Este valor es siempre mayor o igual a 1, dado que considera situaciones donde los dientes del piñón son más duros que los dientes del engranaje. Es por ello que se aplica sólo a la resistencia de los dientes del engrane y no para el piñón. En la cálculo de los engranajes de la reductora será de mayor utilidad un valor de 1, dado que piñón y engranaje tendrán supuestamente la misma dureza y estarán fabricados del mismo material.

Una vez obtenidos los cuatro parámetros:

- Esfuerzo en los engranajes rectos.
- Resistencia de fatiga a la flexión.
- Esfuerzos superficiales.
- Resistencia de fatiga superficial.

Se procede a calcular el coeficiente de seguridad de cada uno, comparando por un lado el valor de los esfuerzos en los engranajes con la resistencia de fatiga a la flexión, y por otro lado el esfuerzo superficial con la resistencia de fatiga superficial. Cabe destacar que los esfuerzos superficiales son mayores que los esfuerzos a la flexión de los dientes de los engranes.

## 7.2. Cálculo de ejes.

Tras haber calculado los engranajes y las fuerzas que actúan sobre ellos, se pueden dimensionar los ejes en función de las fuerzas y momentos que tendrán que soportar durante su vida útil. El primer paso es realizar un diagrama de momentos en cada uno de los ejes, de esta forma se puede calcular el diámetro mínimo requerido en las secciones del eje más críticas, que serán en los puntos donde el momento flector en combinación con el momento torsor sean mayor. También se realizará el cálculo de las fuerzas de reacción en los lugares en los que irán ubicados los rodamientos.

### 7.2.1. Fuerzas y momentos que ejercen los elementos de máquinas sobre los ejes.

Como se pudo ver en el apartado anterior, más claramente en la Ilustración 8, para el cálculo de los engranajes, la fuerza que tiene lugar en el diente del mismo se puede descomponer en dos fuerzas, que son la fuerza tangencial ( $W_T$ ) y la fuerza radial ( $W_r$ ).

La fuerza radial va a inducir un momento flector en el eje y la componente tangencial transmitirá un par torsional al eje. Dado que la caja reductora de este estudio es de sistema planetario, las fuerzas radiales se pueden obviar en el cálculo ya que el sumatorio de fuerzas de cada engranaje sería igual a 0, salvo en los ejes de entrada y salida y en los engranajes ‘planetas’, que la fuerza radial es la que origina el movimiento circular en torno al engranaje ‘sol’ y sirve para calcular los ejes que sujetan los planetas al soporte.

Una vez se tienen ubicados los engranajes y soportes en cada eje, se procede a calcular el momento torsor en cada eje a partir de la siguiente ecuación:

$$P = T * w$$

*Ecuación 22: potencia del eje.*

Donde:

- T: torque transmitido.
- w: velocidad angular.

Seguidamente se plantea el diagrama de momentos, con el que se podrá calcular las reacciones en los puntos de apoyo, los momentos en los puntos más desfavorables y se podrá apreciar los puntos donde tenga lugar la combinación de los momentos flectores y torsores en el eje. Esto se desarrollará con mayor detalle en el anexo de cálculos.

### 7.2.2. Diseño de ejes.

Cada eje será calculado en función de los escalones con chaflanes, cuñeros y ranuras para los anillos de retención. Una forma de proceder con el dimensionamiento podría ser plantear un material y dimensionar el eje en función del mismo o definir un diámetro de eje y seleccionar el material más conveniente. El sistema que se utilizará en este estudio será seleccionar un material comercial y dimensionar el eje. En caso de que el diámetro del eje sea muy grande, se elegirá otro material.

El material que se utilizará finalmente en este proyecto para el dimensionamiento del eje será un acero F114 (AISI 1045) para los ejes de entrada, de salida e intermedio y un acero F127 (AISI 4340) para los ejes de los satélites, cuyas características estarán reflejadas en el anexo de cálculo.

Para tener una cierta seguridad en el dimensionamiento del eje, se empleará un factor de seguridad igual a 3 en los F114 y un factor de seguridad de 2.5 en los F127, que garantice que no haya deformaciones permanentes en el caso de que la carga sea un poco mayor en algún caso particular.

El cálculo de los diámetros mínimos admisibles se realizará utilizando diferentes ecuaciones en función del tipo de esfuerzo que esté actuando en el eje. En el caso en el que tenga una flexión pura y una torsión pura, se utilizará la 'Ecuación 23':

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

*Ecuación 23: Diámetro mínimo admisible para combinación de par y flexión.*

Donde:

- M: momento flector equivalente.
- T: momento torsor.
- S'n: resistencia real estimada a la fatiga.
- S<sub>y</sub>: resistencia a la fluencia.
- K<sub>t</sub>: factor de concentración de esfuerzos. Este factor tiene en cuenta los diferentes escalones y variantes geométricas del eje.

En el caso donde sólo haya esfuerzos cortantes, se empleará la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{2.94 * K_t * V * \frac{N}{S'_n}}$$

*Ecuación 24: Diámetro mínimo admisible para esfuerzo cortante.*

Teniendo que:

- V: es el esfuerzo cortante.

Para el cálculo del valor de  $S_n$ , se parte de la siguiente ecuación:

$$S_n = 0.5 * S_{ut}$$

*Ecuación 25: Resistencia a la fatiga sin corregir.*

Donde:

- $S_{ut}$ : es la resistencia última a la tensión del material.

Ahora se sustituye este valor en la siguiente ecuación junto con los respectivos factores para obtener la resistencia a la fatiga corregida:

$$S'_n = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_n$$

*Ecuación 26: Resistencia a la fatiga corregida.*

- $C_{carga}$ : el factor de carga adquiere un valor de 1 si la carga en el eje es a flexión y un valor de 0.7 si la carga en el eje es axial.
- $C_{tamaño}$ : el factor de tamaño reduce la resistencia si el tamaño de la pieza es grande para considerar un defecto en el volumen más grande sometido al esfuerzo.
  - Para  $d \leq 7.62 \text{ mm} \rightarrow C_{tamaño}=1$ .
  - Para  $7.62 \text{ mm} \leq d \leq 254 \text{ mm} \rightarrow C_{tamaño}=1.189*(d)^{-0.097}$ .
- $C_{sup}$ : el factor de superficie sirve para reducir la resistencia para poder tener en cuenta la rugosidad de la superficie del material, ya que los acabados rugosos pueden introducir concentraciones de esfuerzos y/o alteraciones de las propiedades físicas de la capa superficial. Para elegirlo, se empleará la siguiente gráfica y se tratará el material como mecanizado.

Diseño de una caja reductora con embrague de protección con sobrepotencia.

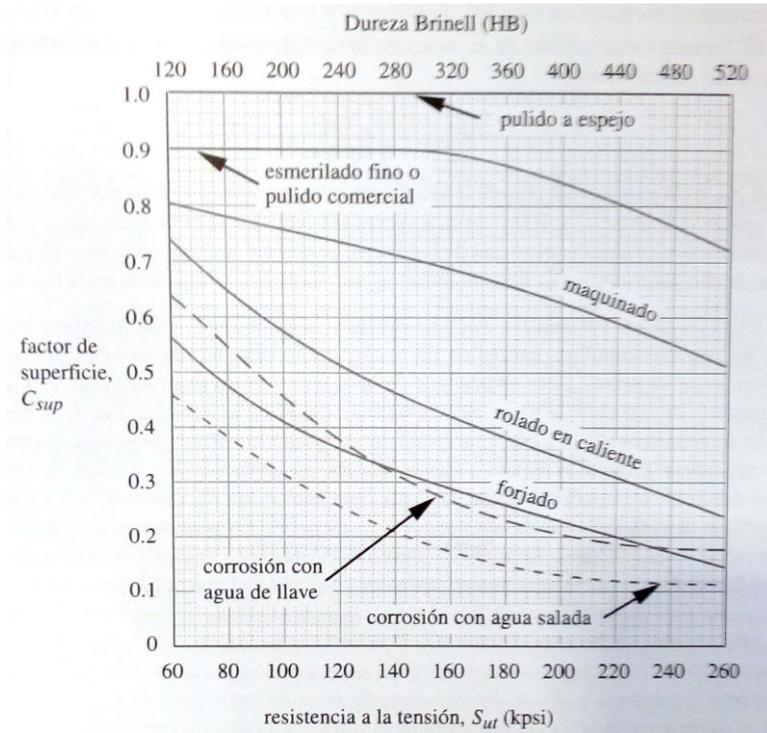


Ilustración 13: Factor de superficie para varios acabados superficiales.

- $C_{temp}$ : el factor de temperatura se escogerá igual a 1 ya que no supera temperaturas de 450°C.
- $C_{conf}$ : el factor de confiabilidad se escogerá para una confiabilidad del 95% a partir de la siguiente tabla.

| % de confiabilidad | $C_{conf}$ |
|--------------------|------------|
| 50                 | 1.000      |
| 90                 | 0.897      |
| 95                 | 0.868      |
| 99                 | 0.814      |
| 99.9               | 0.753      |
| 99.99              | 0.702      |
| 99.999             | 0.659      |
| 99.9999            | 0.620      |

Tabla 10: Factor de confiabilidad para ejes.

El valor del coeficiente de concentración de esfuerzos se escogerá de las siguientes gráficas en función de la condición que presenten:

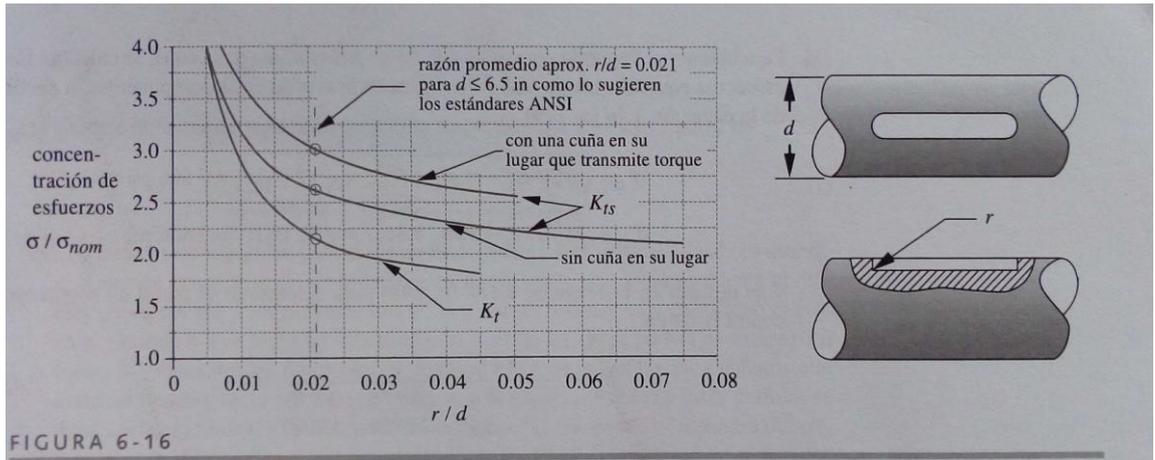


Ilustración 14: Factor geométrico de concentración de esfuerzos  $K_t$  para un eje con chavetero.

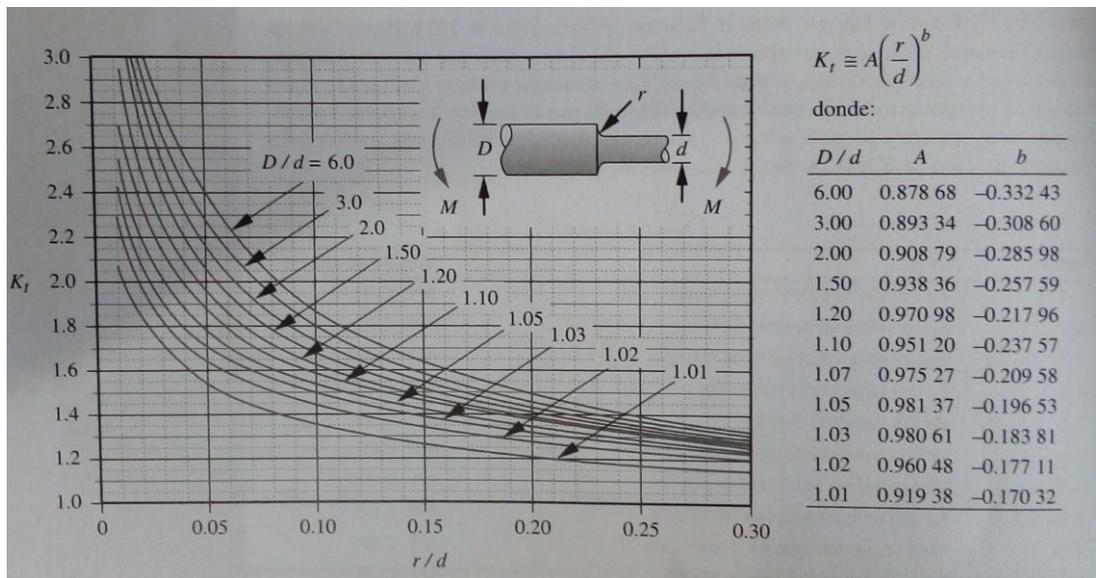


Ilustración 15: Factor geométrico de concentración de esfuerzos  $K_t$  para un eje con filete de hombro en flexión.

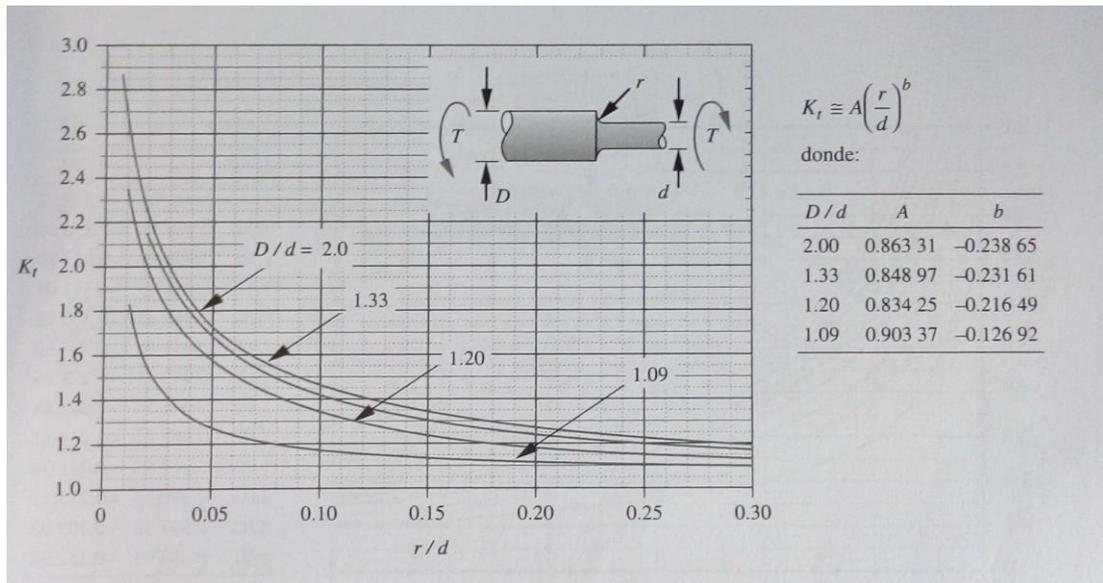


Ilustración 16: Factor geométrico de concentración de esfuerzos  $K_t$  para un eje con filete de hombro en torsión.

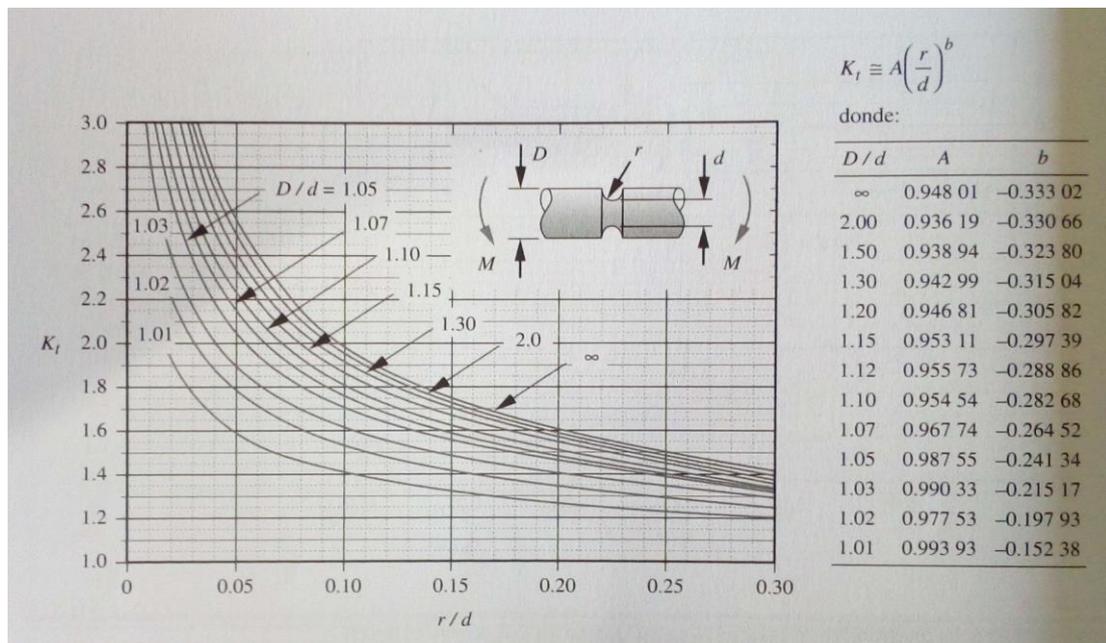


Ilustración 17: Factor geométrico de concentración de esfuerzos  $K_t$  para un eje con ranura en flexión.

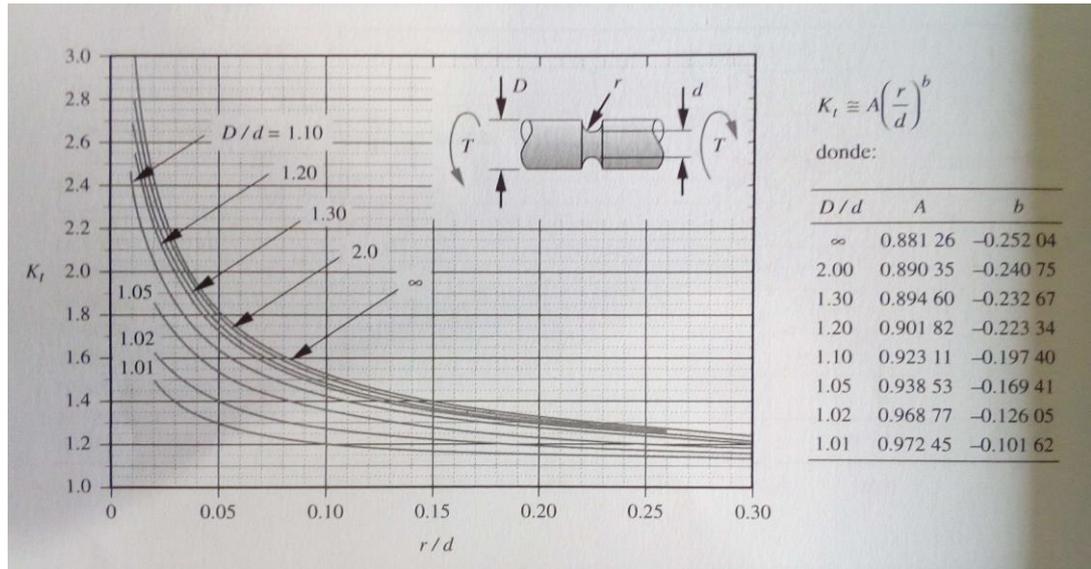


Ilustración 18: Factor geométrico de concentración de esfuerzos  $K_t$  para un eje con ranura en torsión.

Los correspondientes resultados de los diámetros mínimos admisibles de cada eje se detallarán en el anexo de cálculo de este proyecto.

### 7.3. Soporte de satélites.

El soporte de los satélites tendrá 3 ejes dispuestos a  $120^\circ$  de separación para mantener los engranajes satélites a la misma distancia y que puedan rotar tanto sobre sí mismos como alrededor del engranaje sol. Para ello, el cálculo de su resistencia se realizará a partir del programa de diseño y simulación Solidwork, en el cual se realizará el primer diseño y se realizará el correspondiente estudio estático. En el caso de que la tensión máxima que soporte el material es mayor que el límite elástico, se volverá a dimensionar hasta que el mismo pueda soportar los esfuerzos a los que se va a someter. Los respectivos resultados se mostrarán y detallarán en el apartado de anexos de este documento.

### 7.4. Selección de rodamientos.

A la hora de seleccionar los rodamientos, se debe tener en consideración de que la capacidad de carga y la geometría del mismo aseguren un funcionamiento adecuado de la reductora para un número determinado de ciclos. En este proyecto se emplearán rodamientos de cargas radiales, dado que al tratarse de engranajes rectos no existen cargas axiales en los ejes. Estas cargas radiales se obtendrán de las reacciones de los apoyos que se obtienen de los diagramas de momentos del apartado anterior, teniendo en consideración las reacciones en los distintos planos y posteriormente calculando la reacción equivalente. Una vez se tenga la

carga radial, se utilizará la siguiente ecuación para hallar la carga radial equivalente para rodamientos de bolas:

$$P_d = V * R$$

*Ecuación 27: Carga equivalente en rodamientos de bolas.*

Donde:

- $P_d$ : es la carga equivalente para la carga radial 'R'.
- V: factor de rotación.
  - V=1: si gira la pista interior y la exterior se mantiene fija.
  - V=1.2: si gira la pista exterior y la interior se mantiene fija.

Tras haber obtenido la carga, se procede a calcular el número de ciclos de vida ' $L_d$ ', que es la vida útil del rodamiento. Para calcular la capacidad dinámica del rodamiento de bolas, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = P_d * \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

*Ecuación 28: Carga dinámica para rodamientos de bolas.*

A continuación, se procede a elegir el rodamiento de un catálogo a partir de los datos calculados de la capacidad dinámica y el diámetro del eje.

#### **7.4.1. Ajuste de los rodamientos.**

Para garantizar un correcto funcionamiento del mecanismo, es importante realizar un correcto diseño del asiento del rodamiento en el eje, así como del asiento del rodamiento en los soportes de la carcasa. El rodamiento debe tener un ajuste en la pista exterior con respecto al soporte del rodamiento de forma que quede bien sujeto al mismo. También debe tener un ajuste la pista interior del rodamiento con el eje para que quede bien sujeto. Se debe dejar una holgura en la dirección axial de uno de los rodamientos para que cuente con un recorrido para las dilataciones térmicas del mecanismo.

A partir de las siguientes tablas sacadas del (López Casillas, 2009) se puede elegir el tipo de ajuste más conveniente:

## ELECCION DE AJUSTES «ISA»

### AGUJERO H 6 AJUSTE DE PRECISION

Para los ejes corresponden esta serie de ajustes.....

- Ajuste forzado n 5.
- » de arrastre m 5.
  - » de adherencia k 5.
  - » de entrada suave j 5.
  - » de deslizamiento h 5.
  - » de juego libre g 5.

### AGUJERO H 7 AJUSTE FINO

Para los ejes corresponden esta serie de ajustes.....

- Ajuste a presión s 6 y r 6.
- » forzado n 6.
  - » de arrastre m 6.
  - » de adherencia k 6.
  - » de entrada suave j 6.
  - » de deslizamiento h 6.
  - » de juego libre justo g 6.
  - » de juego libre f 7.
  - » de juego ligero e 8.
  - » juego fuerte d 9.

### AGUJERO H 8 AJUSTE CORRIENTE

Para los ejes corresponden esta serie de ajustes.....

- Ajuste con deslizamiento h 8 y h 9.
- » con juego libre f 8 y e 9.
  - » gran juego libre d 10.

### AGUJERO H 11 AJUSTE ORDINARIO O BASTO

Para los ejes corresponden esta serie de ajustes.....

- Ajuste basto según h 11, d 11, e 11, b 11, a 11.  
(Véanse ejemplos de aplicación)

Tabla 11: Elección de ajuste para agujero.

## ELECCION DE AJUSTES I.S.A.

### EJE h 5 AJUSTE DE PRECISION

|   |   |
|---|---|
| Para los agujeros corresponden esta serie de ajustes..... | Ajuste forzado N 6.<br>» de arrastre M 6.<br>» de adherencia K 6.<br>» de entrada suave J 6.<br>» de deslizamiento H 6 y G 6. |
|---|---|

### EJE h 6 AJUSTE FINO

|   |  |
|---|--|
| Para los agujeros corresponden esta serie de ajustes..... | Ajuste a presión S 7 y R 7.<br>» forzado N 7.<br>» de arrastre M 7.<br>» de adherencia K 7.<br>» de entrada suave J 7.<br>» de deslizamiento H 7.<br>» de juego libre justo G 7.<br>» de juego libre F 7.<br>» de juego ligero E 8.<br>» juego fuerte D 9. |
|---|--|

### EJE h 8 y h 9 AJUSTE CORRIENTE

|   |  |
|---|--|
| Para los agujeros corresponden esta serie de ajustes..... | Ajuste de deslizamiento H 8.<br>» de juego libre F 8 y E 9.<br>» de juego libre fuerte D 10. |
|---|--|

### EJE h 11 AJUSTE ORDINARIO O BASTO

|   |  |
|---|--|
| Para los agujeros corresponden esta serie de ajustes..... | Ajuste basto según<br>H 11, D 11, C 11, B 11, A 11.<br>(Véanse ejemplos de aplicación) |
|---|--|

Tabla 12: Elección de ajuste para eje.

A continuación se muestra una tabla, tanto para el eje como para el alojamiento, con la que se pueden elegir las tolerancias adecuadas para los rodamientos de bolas en función del diámetro, la cual ha sido obtenida del (López Casillas, 2009):

550

### TOLERANCIAS ADECUADAS EN APLICACIONES DE RODAMIENTOS RADIALES DE BOLAS Y DE RODILLOS PARA EJES

| Diámetro del eje   |       | Pequeñas cargas  |             |             |             | Cargas normales  |             | Cargas muy fuertes. En general cuando el rodamiento recibe choques. (Por ejemplo, cajas de grasa para F. C.) |             |
|--|-------|--|-------------|-------------|-------------|--|-------------|--|-------------|
|  |       | El rodamiento puede montarse sobre el eje sin calentarlo previamente |             |             |             | El rodamiento se calienta en aceite a 70° C., aproximadamente, antes de montarlo |             | El rodamiento se calienta en aceite a 70° C., aproximadamente, antes de montarlo                             |             |
| Medidas en mm.   |       |  |             |             |             |  |             |  |             |
| mayor de   | hasta | limite sup.  | limite inf. | limite sup. | limite inf. | limite sup.  | limite inf. | limite sup.  | limite inf. |
| 3  | 6     | +0.004   | -0.001      | —           | —           | —  | —           | —  | —           |
| 6  | 10    | +0.004   | -0.002      | —           | —           | —  | —           | —  | —           |
| 10   | 18    | +0.005   | -0.003      | —           | —           | —  | —           | —  | —           |
| 18   | 30    | —  | —           | +0.011      | +0.002      | —  | —           | —  | —           |
| 30   | 50    | —  | —           | +0.013      | +0.002      | +0.020   | +0.009      | —  | —           |
| 50   | 80    | —  | —           | +0.015      | +0.002      | +0.024   | +0.011      | +0.033   | +0.020      |
| 80   | 120   | —  | —           | +0.018      | +0.003      | +0.028   | +0.013      | +0.038   | +0.023      |
| 120  | 180   | —  | —           | +0.021      | +0.003      | +0.033   | +0.015      | +0.045   | +0.027      |
| 180  | 250   | —  | —           | —           | —           | +0.037   | +0.017      | +0.051   | +0.031      |
| 250  | 315   | —  | —           | —           | —           | +0.043   | +0.020      | +0.057   | +0.034      |
| 315  | 400   | —  | —           | —           | —           | +0.046   | +0.021      | +0.062   | +0.037      |
| Símbolo según el sistema internacional de tolerancias I.S.A. |       | j5   |             | k5          |             | m5   |             | n5   |             |

551

### TOLERANCIAS ADECUADAS EN APLICACIONES DE RODAMIENTOS RADIALES DE BOLAS Y DE RODILLOS PARA ALOJAMIENTOS

| Diámetro interior del soporte                                |       | Para transmisiones y otros casos en que los ejes giran a velocidades pequeñas (en general soportes en dos mitades) |                 | En las aplicaciones más corrientes |                 | Cuando el eje gira a velocidades grandes o si se exige una gran precisión (equilibrado perfecto) |                 |
|--|-------|--|-----------------|------------------------------------|-----------------|--|-----------------|
|  |       | limite inferior  | limite superior | limite inferior                    | limite superior | limite inferior  | limite superior |
| Medidas en mm.   |       |  |                 |                                    |                 |  |                 |
| mayor de   | hasta | limite inferior  | limite superior | limite inferior                    | limite superior | limite inferior  | limite superior |
| 10   | 18    | —  | —               | 0                                  | +0.018          | -0.005   | -0.006          |
| 18   | 30    | —  | —               | 0                                  | +0.021          | -0.005   | +0.008          |
| 30   | 50    | 0  | +0.039          | 0                                  | +0.025          | -0.006   | +0.010          |
| 50   | 80    | 0  | +0.046          | 0                                  | +0.030          | -0.006   | +0.013          |
| 80   | 120   | 0  | +0.054          | 0                                  | +0.035          | -0.006   | +0.016          |
| 120  | 180   | 0  | +0.063          | 0                                  | +0.040          | -0.037   | +0.018          |
| 180  | 250   | 0  | +0.072          | 0                                  | +0.046          | —  | —               |
| 250  | 315   | 0  | +0.081          | 0                                  | +0.052          | —  | —               |
| 315  | 400   | 0  | +0.089          | 0                                  | +0.057          | —  | —               |
| 400  | 500   | 0  | +0.097          | 0                                  | +0.063          | —  | —               |
| Símbolo según el sistema internacional de tolerancias I.S.A. |       | H8   |                 | H7                                 |                 | j6   |                 |

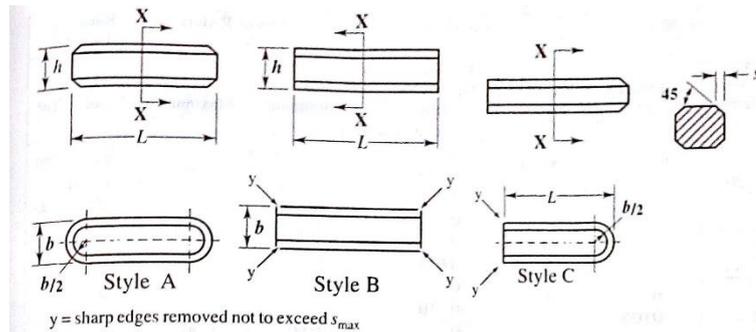
Los datos indicados en estas tablas son válidos para aplicaciones normales en las que se aprovecha toda la capacidad de carga del rodamiento y que es el eje el que gira. En los datos indicados para los ejes se sobreentiende que los rodamientos no son montados sobre manguito de sujeción o de desmontaje, es decir, que van montados directamente sobre el eje.

Tabla 13: Tolerancias adecuadas para rodamientos de bolas en ejes y alojamientos.

En el apartado de anexo de cálculos de este proyecto, se podrá observar de manera más detallada los resultados de los ajustes para cada rodamiento.

### 7.5. Chavetas.

Para garantizar un acople solidario entre los elementos que reciben y transmiten el par torsional del eje, se pueden utilizar las chavetas. Para el dimensionado básico de las chavetas en función del diámetro del eje, se ha utilizado una tabla del libro (Oberg, Franklin, Horton, & Ryffel, 2016), con su respectivo ajuste:



**Table 1. Dimensions and Tolerances for Metric Square and Rectangular Parallel Keys ASME B18.25.1M**

| Basic Size (mm)  | Width, $b$    | Basic Size | Thickness, $h$                            | Chamfer or Radius, $s$ |         | Range of Lengths |                 |    |     |
|------------------|---------------|------------|---|------------------------|---------|------------------|-----------------|----|-----|
|                  | Tolerance, h8 |            | Tolerance, Square, h8<br>Rectangular, h11 | Minimum                | Maximum | From             | To <sup>a</sup> |    |     |
| Square Keys      |               |            |   |                        |         |                  |                 |    |     |
| 2                | 0             | 2          | 0   | 0.16                   | 0.25    | 6                | 20              |    |     |
| 3                | -0.014        | 3          | -0.014                                    |                        |         | 6                | 36              |    |     |
| 4                | 0<br>-0.018   | 4          | 0   | 0.25                   | 0.40    | 8                | 45              |    |     |
| 5                |               | 5          | -0.018                                    |                        |         | 10               | 56              |    |     |
| 6                |               | 6          |   |                        |         | 14               | 70              |    |     |
| Rectangular Keys |               |            |   |                        |         |                  |                 |    |     |
| 5                | 0<br>-0.018   | 3          | 0<br>-0.060                               | 0.25                   | 0.40    | 10               | 56              |    |     |
| 6                |               | 4          | 0   |                        |         | 14               | 70              |    |     |
| 8                | 5             | -0.075     | 18  |                        |         | 90               |                 |    |     |
| 10               | 0<br>-0.022   | 7          | 0<br>-0.090                               | 0.40                   | 0.60    | 22               | 110             |    |     |
|                  |               | 6          | 0<br>-0.075                               |                        |         |                  |                 |    |     |
| 12               |               | 8          | 0<br>-0.090                               |                        |         | 28               | 110             |    |     |
|                  |               | 6          | 0<br>-0.075                               |                        |         |                  |                 |    |     |
| 14               | 0<br>-0.027   | 9          | 0<br>-0.090                               |                        |         | 0.60             |                 | 36 | 160 |
| 16               |               | 7          | 0   |                        |         |                  |                 |    |     |
|                  |               | 10         | -0.090                                    |                        |         |                  |                 |    |     |
| 18               |               | 7          | 0   | 45                     | 180     |                  |                 |    |     |
|                  |               | 11         | 0<br>-0.110                               |                        |         | 50               | 200             |    |     |

Tabla 14: Dimensiones y tolerancias de chavetas cuadradas y rectangulares (Parte A).

| Width,<br><i>b</i> |                  | Thickness,<br><i>h</i> |                  | Chamfer or Radius,<br><i>s</i> |      | Range of Lengths |     |
|--------------------|------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|------|------------------|-----|
| Basic Size         | Tolerance        | Basic Size             | Tolerance        | Min.                           | Max. | From             | To* |
| 22                 |                  | 6                      | +0.175<br>-0.000 |                                |      | 70               | 230 |
|                    |                  | 14                     | +0.210<br>-0.000 |                                |      | 80               | 320 |
| 25                 | +0.050<br>-0.033 | 9                      | +0.210<br>-0.000 | 0.60                           | 0.80 | 90               | 360 |
|                    |                  | 14                     | +0.190<br>-0.000 |                                |      | 100              | 400 |
| 28                 |                  | 10                     | +0.210<br>-0.000 |                                |      |                  |     |
|                    |                  | 16                     |                  |                                |      |                  |     |
| 32                 |                  | 11                     |                  |                                |      |                  |     |
|                    |                  | 18                     |                  |                                |      |                  |     |
| 36                 | +0.090<br>-0.000 | 12                     | +0.280<br>-0.000 | 1.00                           | 1.20 |                  |     |
|                    |                  | 20                     |                  |                                |      |                  |     |
| 40                 |                  | 22                     |                  |                                |      |                  |     |
| 45                 |                  | 25                     |                  |                                |      |                  |     |
| 50                 |                  | 28                     |                  |                                |      |                  |     |
| 56                 |                  | 32                     |                  |                                |      |                  |     |
| 63                 | +0.125<br>-0.000 | 32                     |                  | 1.60                           | 2.00 |                  |     |
| 70                 |                  | 36                     |                  |                                |      |                  |     |
| 80                 |                  | 40                     | +0.310<br>-0.000 |                                |      |                  |     |
| 90                 | +0.135<br>-0.000 | 45                     |                  | 2.50                           | 3.00 |                  |     |
| 100                |                  | 50                     |                  |                                |      |                  |     |

Tabla 15: Dimensiones y tolerancias de chavetas cuadradas y rectangulares (Parte B).

Por otro lado, se debe calcular la longitud mínima de las chavetas en función de la sección, el par que transmite y el tipo de material del que está hecha la chaveta, que lo haremos a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4 * T * N}{D * W * S_y}$$

Ecuación 29: Longitud mínima de las chavetas.

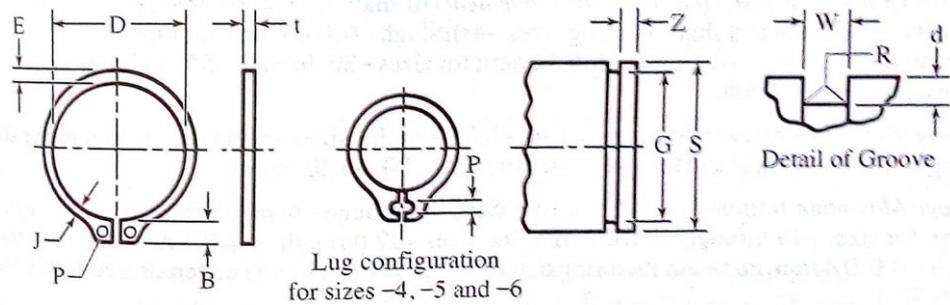
Donde:

- L: longitud de la chaveta.
- T: par torsional que debe transmitir.
- N: coeficiente de seguridad.
- D: diámetro del eje.
- W: ancho de la chaveta.
- $S_y$ : resistencia a la fluencia.

Los parámetros calculados para las chavetas se podrán ver en el anexo de cálculos de este proyecto.

### 7.6. Anillos de retención.

El propósito de los anillos de retención es el actuar como apoyos artificiales que retengan objetos en agujeros (anillos de retención para interiores) o en ejes (anillos de retención para exteriores). En concreto, en este proyecto se utilizarán para evitar el movimiento axial de los engranajes planetas respecto al eje en el que se encuentran situados. Para el dimensionamiento del alojamiento, como el del anillo de retención (para exteriores) se extraerán de la siguiente tabla obtenida del libro (Oberg, Franklin, Horton, & Ryffel, 2016):



| Shaft Dia. | Ring      |           | Groove |       |       |             | Shaft Diam | Ring      |           | Groove |       |       |             |
|------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------------|------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------------|
|            | Free Dia. | Thickness | Dia.   | Width | Depth | Edge Margin |            | Free Dia. | Thickness | Dia.   | Width | Depth | Edge Margin |
| S          | D         | t         | G      | W     | d ref | Z min       | S          | D         | t         | G      | W     | d ref | Z min       |
| 4          | 3.60      | 0.25      | 3.80   | 0.32  | 0.1   | 0.3         | 36         | 33.25     | 1.3       | 33.85  | 1.4   | 1.06  | 3.2         |
| 5          | 4.55      | 0.4       | 4.75   | 0.5   | 0.13  | 0.4         | 38         | 35.20     | 1.3       | 35.8   | 1.4   | 1.10  | 3.3         |
| 6          | 5.45      | 0.4       | 5.70   | 0.5   | 0.15  | 0.5         | 40         | 36.75     | 1.6       | 37.7   | 1.75  | 1.15  | 3.4         |
| 7          | 6.35      | 0.6       | 6.60   | 0.7   | 0.20  | 0.6         | 42         | 38.80     | 1.6       | 39.6   | 1.75  | 1.20  | 3.6         |
| 8          | 7.15      | 0.6       | 7.50   | 0.7   | 0.25  | 0.8         | 43         | 39.65     | 1.6       | 40.5   | 1.75  | 1.25  | 3.8         |
| 9          | 8.15      | 0.6       | 8.45   | 0.7   | 0.28  | 0.8         | 45         | 41.60     | 1.6       | 42.4   | 1.75  | 1.30  | 3.9         |
| 10         | 9.00      | 0.6       | 9.40   | 0.7   | 0.30  | 0.9         | 46         | 42.55     | 1.6       | 43.3   | 1.75  | 1.35  | 4.0         |
| 11         | 10.00     | 0.6       | 10.35  | 0.7   | 0.33  | 1.0         | 48         | 44.40     | 1.6       | 45.2   | 1.75  | 1.40  | 4.2         |
| 12         | 10.85     | 0.6       | 11.35  | 0.7   | 0.33  | 1.0         | 50         | 46.20     | 1.6       | 47.2   | 1.75  | 1.40  | 4.2         |
| 13         | 11.90     | 0.9       | 12.30  | 1.0   | 0.35  | 1.0         | 52         | 48.40     | 2.0       | 49.1   | 2.15  | 1.45  | 4.3         |
| 14         | 12.90     | 0.9       | 13.25  | 1.0   | 0.38  | 1.2         | 54         | 49.9      | 2.0       | 51.0   | 2.15  | 1.50  | 4.5         |
| 15         | 13.80     | 0.9       | 14.15  | 1.0   | 0.43  | 1.3         | 55         | 50.6      | 2.0       | 51.8   | 2.15  | 1.60  | 4.8         |
| 16         | 14.70     | 0.9       | 15.10  | 1.0   | 0.45  | 1.4         | 57         | 52.9      | 2.0       | 53.8   | 2.15  | 1.60  | 4.8         |
| 17         | 15.75     | 0.9       | 16.10  | 1.0   | 0.45  | 1.4         | 58         | 53.6      | 2.0       | 54.7   | 2.15  | 1.65  | 4.9         |
| 18         | 16.65     | 1.1       | 17.00  | 1.2   | 0.50  | 1.5         | 60         | 55.8      | 2.0       | 56.7   | 2.15  | 1.65  | 4.9         |
| 19         | 17.60     | 1.1       | 17.95  | 1.2   | 0.53  | 1.6         | 62         | 57.3      | 2.0       | 58.6   | 2.15  | 1.70  | 5.1         |
| 20         | 18.35     | 1.1       | 18.85  | 1.2   | 0.58  | 1.7         | 65         | 60.4      | 2.0       | 61.6   | 2.15  | 1.70  | 5.1         |
| 21         | 19.40     | 1.1       | 19.80  | 1.2   | 0.60  | 1.8         | 68         | 63.1      | 2.0       | 64.5   | 2.15  | 1.75  | 5.3         |
| 22         | 20.30     | 1.1       | 20.70  | 1.2   | 0.65  | 1.9         | 70         | 64.6      | 2.4       | 66.4   | 2.55  | 1.80  | 5.4         |
| 23         | 21.25     | 1.1       | 21.65  | 1.2   | 0.67  | 2.0         | 72         | 66.6      | 2.4       | 68.3   | 2.55  | 1.85  | 5.5         |
| 24         | 22.20     | 1.1       | 22.60  | 1.2   | 0.70  | 2.1         | 75         | 69.0      | 2.4       | 71.2   | 2.55  | 1.90  | 5.7         |
| 25         | 23.10     | 1.1       | 23.50  | 1.2   | 0.75  | 2.3         | 78         | 72.0      | 2.4       | 74.0   | 2.55  | 2.00  | 6.0         |
| 26         | 24.05     | 1.1       | 24.50  | 1.2   | 0.75  | 2.3         | 80         | 74.2      | 2.4       | 75.9   | 2.55  | 2.05  | 6.1         |
| 27         | 24.95     | 1.3       | 25.45  | 1.4   | 0.78  | 2.3         | 82         | 76.4      | 2.4       | 77.8   | 2.55  | 2.10  | 6.3         |
| 28         | 25.80     | 1.3       | 26.40  | 1.4   | 0.80  | 2.4         | 85         | 78.6      | 2.4       | 80.6   | 2.55  | 2.20  | 6.6         |
| 30         | 27.90     | 1.3       | 28.35  | 1.4   | 0.83  | 2.5         | 88         | 81.4      | 2.8       | 83.5   | 2.95  | 2.25  | 6.7         |
| 32         | 29.60     | 1.3       | 30.20  | 1.4   | 0.90  | 2.7         | 90         | 83.2      | 2.8       | 85.4   | 2.95  | 2.30  | 6.9         |
| 34         | 31.40     | 1.3       | 32.00  | 1.4   | 1.00  | 3.0         | 95         | 88.1      | 2.8       | 90.2   | 2.95  | 2.40  | 7.2         |
| 35         | 32.30     | 1.3       | 32.90  | 1.4   | 1.05  | 3.1         | 100        | 92.5      | 2.8       | 95.0   | 2.95  | 2.50  | 7.5         |

Tabla 16: Anillo de retención para exteriores según ASME B27.7-1977.

## **7.7. Sellos y juntas.**

Los sellos y las juntas son elementos que tienen como objetivo evitar las pérdidas de lubricantes a través de las holguras que pueda haber entre dos piezas unidas.

### **7.7.1. Sellos.**

Estos elementos irán ajustados en los soportes de los rodamientos a través de los cuales pasa el eje de entrada o de salida.

### **7.7.2. Juntas de estanqueidad.**

Estos elementos irán instalados entre las caras de la carcasa que van unidas entre sí, con el objetivo de sellar la holgura entre ambas piezas para evitar las posibles fugas del lubricante al exterior.

## **7.8. Lubricación.**

Todos los engranajes se deben lubricar para eliminar las posibles fallas prematuras. Uno de los tipos de falla superficial más usual es el desgaste abrasivo. En la reducción del raspado y la estriación de los dientes es muy importante un buen control de la temperatura en el punto de contacto de los mismos. Es por ello que los lubricantes, aparte de eliminar el calor, separan las superficies metálicas de los engranajes para reducir la fricción y el desgaste.

El lubricante estará alojado en el interior de la caja reductora, sumergiendo parcialmente los engranajes planetarios, que al estar en movimiento de rotación alrededor del engranaje sol, se encargarán de lubricar el resto de engranajes. Para entrar más en detalle, el nivel de lubricante comprenderá el eje de los engranajes planetarios para, de esta forma, garantizar una buena lubricación de los mismos.

El tipo de lubricante que se usará y se recomienda para esta reductora será un aceite SAE 80-90W, el cual viene preparado con aditivos que contienen ácidos grasos que proporcionarán algo de protección contra el raspado en condiciones de lubricación límite.

La llenado del lubricante se realizará por un orificio, que teniendo cerrado el tapón de vaciado, se debe llenar hasta que rebose. Ese será el límite superior de llenado.

## **7.9. Carcasa.**

El objetivo principal de la carcasa será el dar soporte al mecanismo de la caja reductora, así como de mantener la estanqueidad para evitar que existan fugas del aceite lubricante al exterior o para proteger al mecanismo de cuerpos extraños.

El diseño de la reductora está pensado para que se apoye de forma horizontal sobre una superficie plana, que en cuestión de nivelación y ajuste se puede realizar sin problema a partir de las correspondientes mediciones. Con esto se consigue también una buena estabilidad. El diseño está pensado para que se pueda desmontar con gran facilidad y con herramientas normales (es decir, sin llaves especiales o sistemas complicados).

Se utilizará el engranaje interno como parte de la carcasa, al cual se le realizarán una serie de taladros para sujetar las tapas mediante tornillos. Para la sujeción de los soportes para su anclaje a una superficie plana, se tornearán dos ranuras en su periferia donde encajarán estos dos soportes y posteriormente se soldarán.

Las tapas de la carcasa se realizarán a partir de planchas de aluminio que se cortarán con plasma o por chorro de agua a presión, una de 8 mm de espesor y otra de 3 mm de espesor y posteriormente se repararán los respectivos taladros.

### **7.10. Embrague.**

En este proyecto, el embrague se va a encargar de limitar la potencia de entrada de la caja reductora, de tal forma que, si por algún motivo, el sistema impulsor sobrepasa el par torsional para el que fue diseñado, el embrague protegerá el sistema haciendo que no se transmita mayor par del necesario.

En este proyecto no se va a diseñar el embrague, por lo que se seleccionará de un catálogo tras haber realizado los cálculos necesarios. Para ello, la siguiente fórmula será de gran utilidad:

$$T = \frac{P * K}{n}$$

*Ecuación 30: Capacidad de par torsional requerida en el embrague.*

Donde:

- P: potencia a transmitir.
- n: velocidad.
- K: factor de servicio basado en la aplicación.

El valor del factor 'K' de servicio es una decisión que toma el diseñador. Por ello, dado que se trata de un embrague en servicio ligero donde el eje de salida toma su carga normal sólo después de que está en su velocidad, se usará el valor K=1.5.

### 7.11. Vista previa del diseño de la caja reductora con embrague de sobrepotencia.

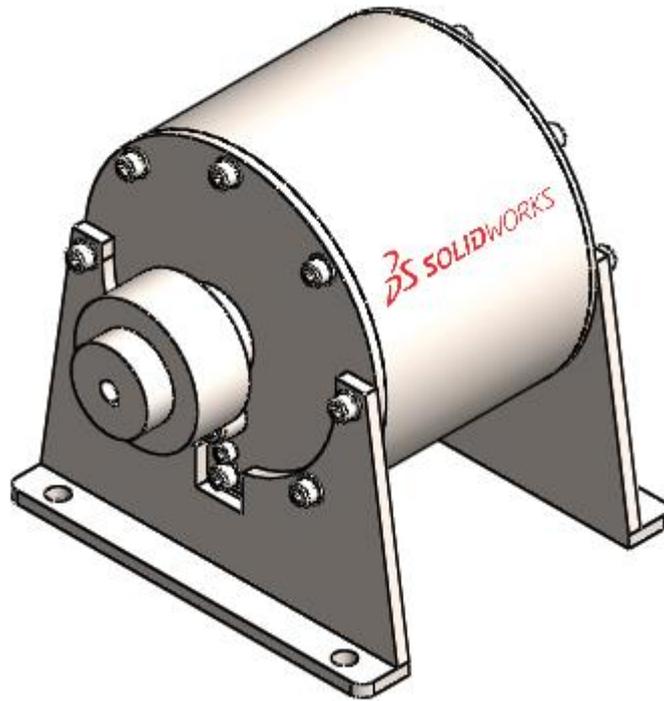


Ilustración 19: Vista isométrica.

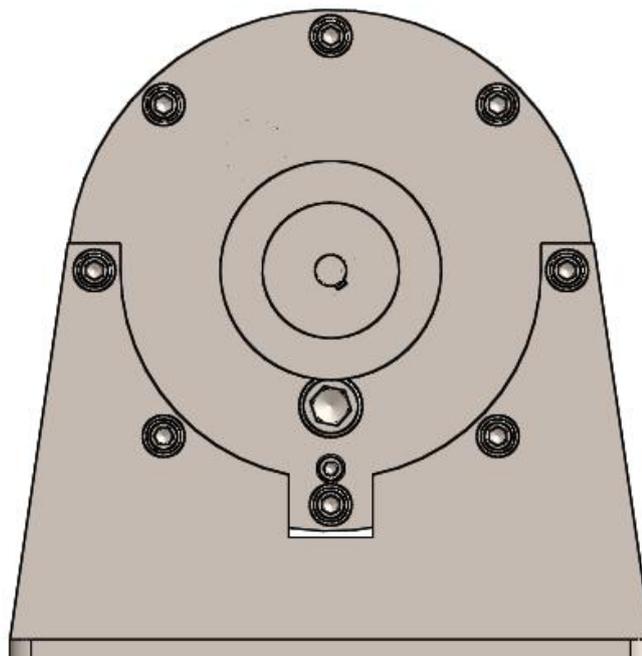
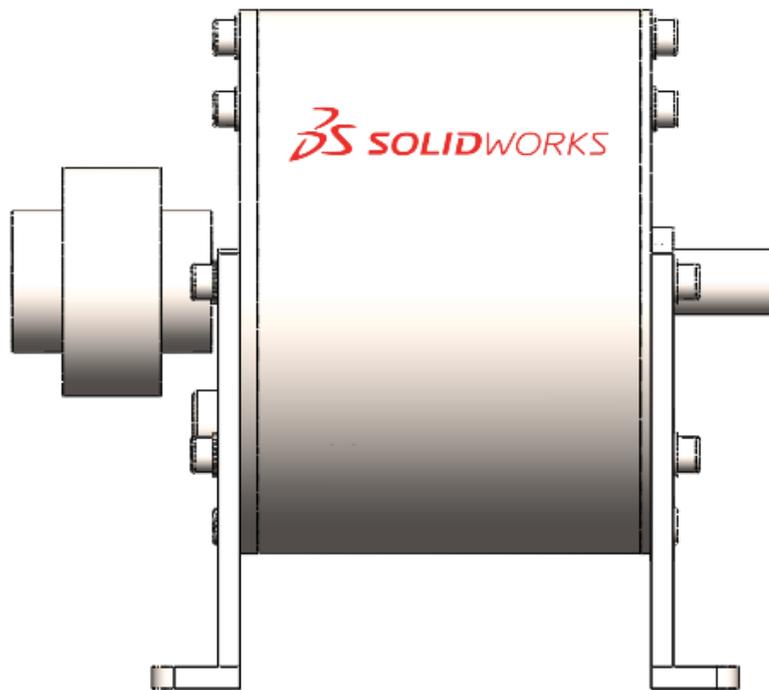
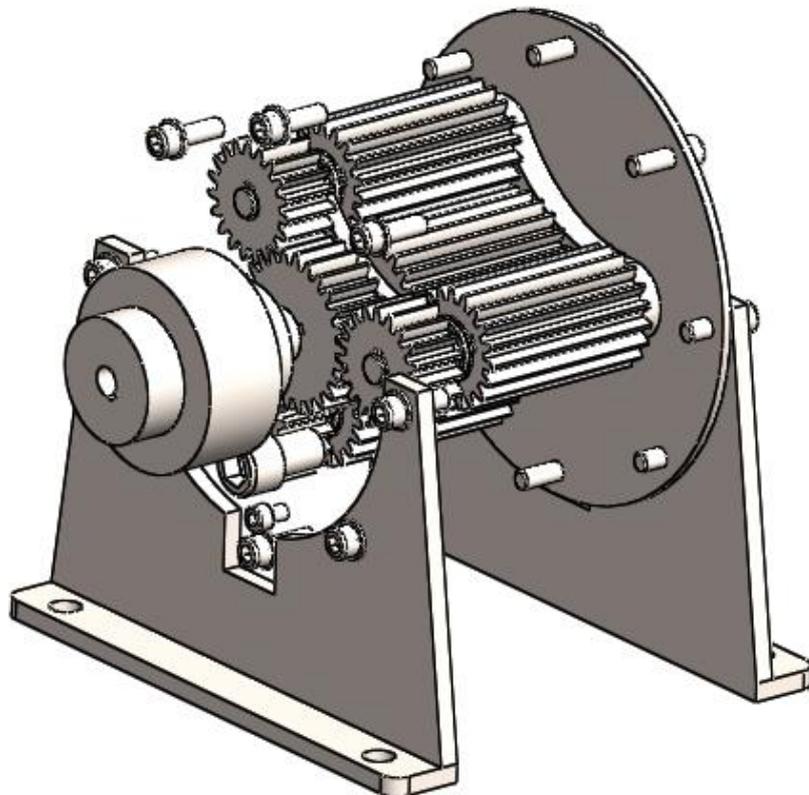


Ilustración 20: Vista frontal.



*Ilustración 21: Vista lateral.*



*Ilustración 22: Vista general del mecanismo interno.*

## 8. Índice de figuras.

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1: Imágen esquemática de una reductora de tornillo sin-fin. ....  | 11 |
| Ilustración 2: Reductora de engranajes cónicos. ....  | 12 |
| Ilustración 3: Reductora cicloidal. ....  | 12 |
| Ilustración 4: Reductora de planetarios o epicicloidal. ....  | 13 |
| Ilustración 5: Ejemplo de engranaje motriz armónico. ....   | 13 |
| Ilustración 6: Ejemplo reductora pendular. ....   | 14 |
| Ilustración 7: Esquema para número máximo de satélites. (Mabie & Reinholtz, 2001).....  | 18 |
| Ilustración 8: Fuerzas sobre el piñón y el engrane. (Norton, 2011).....   | 19 |
| Ilustración 9: Momento repetido sobre el diente del engrane. (Norton, 2011).....  | 20 |
| Ilustración 10: Imagen del espesor del aro de un engranaje. ....  | 23 |
| Ilustración 11: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J'. ....  | 24 |
| Ilustración 12: Factor de vida 'K <sub>L</sub> '. ....  | 29 |
| Ilustración 13: Factor de superficie para varios acabados superficiales. ....   | 36 |
| Ilustración 14: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K <sub>t</sub> para un eje con chavetero. ....                      | 37 |
| Ilustración 15: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K <sub>t</sub> para un eje con filete de<br>hombro en flexión. .... | 37 |
| Ilustración 16: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K <sub>t</sub> para un eje con filete de<br>hombro en torsión. .... | 38 |
| Ilustración 17: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K <sub>t</sub> para un eje con ranura en<br>flexión. ....           | 38 |
| Ilustración 18: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K <sub>t</sub> para un eje con ranura en<br>torsión.....            | 39 |
| Ilustración 19: Vista isométrica. ....  | 49 |
| Ilustración 20: Vista frontal. ....   | 49 |
| Ilustración 21: Vista lateral. ....   | 50 |
| Ilustración 22: Vista general del mecanismo interno. ....   | 50 |

## 9. Índice de tablas.

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Dimensiones engranajes etapa 1.....   | 17 |
| Tabla 2: Dimensiones engranajes etapa 2.....   | 17 |
| Tabla 3: Factor de sobrecarga.....   | 22 |
| Tabla 4: Factor de distribución de carga.....  | 22 |
| Tabla 5: Coeficiente elástico $C_p$ de la AGMA.....                                      | 27 |
| Tabla 6: Resistencias de fatiga por flexión $S_{fb}'$ .....                              | 28 |
| Tabla 7: Factor de confiabilidad para resistencia de fatiga a la flexión.....            | 29 |
| Tabla 8: Resistencias de fatiga superficial $S_{fc}'$ .....                              | 31 |
| Tabla 9: Factor de vida ' $C_L$ '.....   | 31 |
| Tabla 10: Factor de confiabilidad para ejes.....   | 36 |
| Tabla 11: Elección de ajuste para agujero.....   | 41 |
| Tabla 12: Elección de ajuste para eje.....   | 42 |
| Tabla 13: Tolerancias adecuadas para rodamientos de bolas en ejes y alojamientos.....    | 43 |
| Tabla 14: Dimensiones y tolerancias de chavetas cuadradas y rectangulares (Parte A)..... | 44 |
| Tabla 15: Dimensiones y tolerancias de chavetas cuadradas y rectangulares (Parte B)..... | 45 |
| Tabla 16: Anillo de retención para exteriores según ASME B27.7-1977.....                 | 46 |

## 10. Índice de ecuaciones.

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1: Relación de transmisión.....  | 15 |
| Ecuación 2: Módulo métrico estándar.....  | 15 |
| Ecuación 3: Razón de velocidad.....   | 16 |
| Ecuación 4: Diámetro de paso engranaje satélite.....                                | 16 |
| Ecuación 5: Número máximo de satélites.....   | 18 |
| Ecuación 6: Número de dientes engranaje satélite.....                               | 18 |
| Ecuación 7: Número de satélites igualmente espaciados.....                          | 18 |
| Ecuación 8: Fuerza tangencial sobre engranajes.....                                 | 19 |
| Ecuación 9: Fuerza radial sobre engranajes.....                                     | 20 |
| Ecuación 10: Esfuerzo flexionante en engranajes.....                                | 21 |
| Ecuación 11: Factor dinámico $K_v$ .....  | 23 |
| Ecuación 12: Factor 'A' para el cálculo del factor dinámico.....                    | 24 |
| Ecuación 13: Factor 'B' para el cálculo del factor dinámico.....                    | 24 |
| Ecuación 14: Resistencia contra el picado.....                                      | 25 |
| Ecuación 15: Factor geométrico superficial 'T'.....                                 | 25 |
| Ecuación 16: Radio de curvatura de los dientes del piñón.....                       | 26 |
| Ecuación 17: Radio de curvatura de los dientes del engrane.....                     | 26 |
| Ecuación 18: Coeficiente elástico 'Cp'.....   | 26 |
| Ecuación 19: Fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga por flexión..... | 27 |
| Ecuación 20: Número de ciclos de carga.....   | 29 |
| Ecuación 21: Fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga superficial..... | 30 |
| Ecuación 22: potencia del eje.....  | 33 |
| Ecuación 23: Diámetro mínimo admisible para combinación de par y flexión.....       | 34 |
| Ecuación 24: Diámetro mínimo admisible para esfuerzo cortante.....                  | 35 |
| Ecuación 25: Resistencia a la fatiga sin corregir.....                              | 35 |
| Ecuación 26: Resistencia a la fatiga corregida.....                                 | 35 |
| Ecuación 27: Carga equivalente en rodamientos de bolas.....                         | 40 |
| Ecuación 28: Carga dinámica para rodamientos de bolas.....                          | 40 |
| Ecuación 29: Longitud mínima de las chavetas.....                                   | 45 |
| Ecuación 30: Capacidad de par torsional requerida en el embrague.....               | 48 |





Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

**Anexo**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017



## Índice de anexo.

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS ENGRANAJES. ....</b>               | <b>5</b>  |
| 1.1.      | DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE LOS ENGRANAJES.....                          | 5         |
| 1.2.      | CÁLCULO DE LA CARGA SOBRE LOS ENGRANAJES. ....                          | 7         |
| 1.3.      | ESFUERZO DE FLEXIÓN EN LOS ENGRANES RECTOS (ETAPA 1). ....              | 9         |
| 1.4.      | ESFUERZO SUPERFICIAL EN LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 1). ....           | 11        |
| 1.5.      | RESISTENCIA DE FATIGA A FLEXIÓN DE LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 1)..... | 11        |
| 1.6.      | RESISTENCIA DE FATIGA SUPERFICIAL DE ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 1). ....  | 11        |
| 1.7.      | VERIFICACIÓN MATERIAL Y ESPESOR ENGRANAJES (ETAPA 1). ....              | 12        |
| 1.8.      | ESFUERZO DE FLEXIÓN EN LOS ENGRANES RECTOS (ETAPA 2). ....              | 12        |
| 1.9.      | ESFUERZO SUPERFICIAL EN LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 2). ....           | 14        |
| 1.10.     | RESISTENCIA DE FATIGA A FLEXIÓN DE LOS ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 2)..... | 14        |
| 1.11.     | RESISTENCIA DE FATIGA SUPERFICIAL DE ENGRANAJES RECTOS (ETAPA 2). ....  | 14        |
| 1.12.     | VERIFICACIÓN MATERIAL Y ESPESOR ENGRANAJES (ETAPA 2). ....              | 15        |
| <b>2.</b> | <b>RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS EJES. ....</b>                     | <b>16</b> |
| 2.1.      | CARGAS EJE DE ENTRADA.....  | 16        |
| 2.2.      | CARGAS EJE DE SALIDA. ....  | 17        |
|           | 2.2.1. Factor de concentración de esfuerzos:.....                       | 18        |
| 2.3.      | CARGAS EJE INTERMEDIO.....  | 18        |
|           | 2.3.1. Factor de concentración de esfuerzos:.....                       | 19        |
| 2.4.      | CARGAS EJE SOPORTE SATÉLITES (ETAPA 1). ....                            | 19        |
| 2.5.      | CARGAS EJE SOPORTE SATÉLITES (ETAPA 2). ....                            | 21        |
| <b>3.</b> | <b>RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS SOPORTES DE SATÉLITES. ....</b>    | <b>23</b> |
| 3.1.      | RESULTADO CÁLCULOS DE SOPORTE SATÉLITES 1. ....                         | 23        |
|           | 3.1.1. Información del modelo.....                                      | 23        |
|           | 3.1.2. Propiedades de estudio. ....                                     | 24        |
|           | 3.1.3. Propiedades de material. ....                                    | 25        |
|           | 3.1.4. Cargas y sujeciones. ....  | 25        |
|           | 3.1.5. Información de contacto. ....                                    | 26        |
|           | 3.1.6. Resultados del estudio.....                                      | 27        |
| 3.2.      | RESULTADO CÁLCULOS DE SOPORTE SATÉLITES 2. ....                         | 30        |
|           | 3.2.1. Información del modelo.....                                      | 30        |
|           | 3.2.2. Propiedades de estudio. ....                                     | 31        |
|           | 3.2.3. Propiedades de material. ....                                    | 31        |
|           | 3.2.4. Cargas y sujeciones. ....  | 32        |
|           | 3.2.5. Información de contacto. ....                                    | 33        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.2.6.     | <i>Resultados del estudio</i> .....               | 34        |
| <b>4.</b>  | <b>SELECCIÓN DE RODAMIENTOS</b> .....             | <b>37</b> |
| <b>5.</b>  | <b>SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE CHAVETAS</b> ..... | <b>40</b> |
| <b>6.</b>  | <b>SELECCIÓN DE ANILLOS DE RETENCIÓN</b> .....    | <b>42</b> |
| 6.1.       | ANILLO RETENCIÓN EJES PLANETARIOS (ETAPA 1).....  | 42        |
| 6.2.       | ANILLO RETENCIÓN EJES PLANETARIOS (ETAPA 2).....  | 43        |
| <b>7.</b>  | <b>SELECCIÓN DE SELLOS Y JUNTAS</b> .....         | <b>44</b> |
| <b>8.</b>  | <b>SELECCIÓN EMBRAGUE</b> .....                   | <b>45</b> |
| <b>9.</b>  | <b>ANEXO DE CATÁLOGOS</b> .....                   | <b>47</b> |
| 9.1.       | CATÁLOGO DE RODAMIENTOS.....                      | 48        |
| 9.2.       | CATÁLOGO DE RETENES.....                          | 50        |
| 9.3.       | CATÁLOGO EMBRAGUE.....                            | 54        |
| <b>10.</b> | <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                    | <b>55</b> |
| <b>11.</b> | <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                     | <b>56</b> |

## 1. Resultados de los cálculos de los engranajes.

A continuación se procede a indicar los resultados obtenidos a partir de los pasos y criterios descritos anteriormente en la memoria, en el apartado (7. Criterios aplicados y bases de cálculo.). Los correspondientes cálculos se realizaron iterando en el software Excel, de tal forma que, aplicando los criterios al procedimiento establecido, se obtuvieron los siguientes resultados.

| Datos iniciales | Unidades en el (S.I.) |
|-----------------|-----------------------|
| Potencia        | 4 kW                  |
| $n_{in}$        | 1800 rpm              |
| $n_{out}$       | 150 rpm               |
| $K_a$           | 1                     |

Tabla anexos 1: Datos iniciales.

### 1.1. Dimensionamiento básico de los engranajes.

Para iniciar los cálculos de la primera etapa de reducción, previamente se han de establecer ciertos parámetros como:

- El módulo métrico de los engranajes = 3.
- Ángulo de presión ( $\phi$ ) = 20°.
- Se supone que los engranajes de la primera etapa son iguales a los de la segunda, pero variando el espesor de los mismos para que puedan soportar los esfuerzos.

De esta forma, el dimensionamiento básico de los engranajes de esta primera etapa viene siendo:

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| $Z_{Sol}$         | 26        |
| $D_{p,sol}$       | 78,00 mm  |
| $Z_{Satélites}$   | 19        |
| $D_{p,satélites}$ | 57,00 mm  |
| $Z_{Anular}$      | 64        |
| $D_{p,anular}$    | 192,00 mm |

Tabla anexos 2: Dimensiones básicas engranajes.

A partir de estos datos, se puede emplear la (Ecuación 3) para hallar la velocidad de salida de cada etapa de reducción:

Diseño de una caja reductora con embrague de protección con  
sobrepotencia.

$$\frac{n_{in}}{n_{out}} = \frac{Z_{sol} + Z_{anular}}{Z_{sol}}$$

$$n_{out} = n_{in} * \frac{Z_{sol}}{Z_{sol} + Z_{anular}}$$

$$n_{out} = 1800,00 * \frac{26}{26 + 64} = 520,00 \text{ rpm}$$

La velocidad de salida de la primera etapa es de 520,00 rpm. Ahora, volviendo a realizar la misma operación la velocidad de salida de la segunda etapa viene a ser:

$$n_{out} = 520,00 * \frac{26}{26 + 64} = 150,22 \text{ rpm}$$

Tal y como se comentó en la memoria, es importante considerar el problema del ensamblaje de planetas igualmente espaciados. Por ello, se resuelve la (Ecuación 5):

$$N_{m\acute{a}x} = \frac{180}{\sin^{-1}\left(\frac{19 + 2}{26 + 19}\right)} = 6,47 \text{ planetas.}$$

Empleando la (Ecuación 7) y sustituyendo el valor de 'C' por un número entero correspondiente al número de espacios de dientes entre planetas, se puede hallar el número de satélites que se pueden colocar. Como en este diseño se proponen 3 engranajes planetas, a continuación se comprueban los cálculos:

$$N = \frac{Z_3 + Z_1}{C}$$

$$C = \frac{Z_3 + Z_1}{N}$$

$$C = \frac{64 + 26}{30} = \frac{90}{30} = 3$$

Por lo tanto, se pueden montar 3 engranajes planetarios igualmente espaciados alrededor del engranaje sol. Para los siguientes cálculos, se supone un valor de ancho de cara y se modificará este valor para que cumpla los requisitos mínimos, de tal forma que a continuación

se muestra el valor final que se ha adoptado para el espesor de los engranajes y se mostrarán los cálculos para estos valores:

|   | Etapa 1 | Etapa 2 |
|---|---------|---------|
| F | 30 mm   | 100 mm  |

Tabla anexos 3: Valores de ancho de cara de los engranajes.

El material con el que van a ser fabricados los engranajes es el siguiente:

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| Material              | AISI 4340 Acero Normalizado (F127) |
| Límite elástico (Mpa) | 710                                |
| Sut (Mpa)             | 1110                               |
| Módulo elástico (Mpa) | 205000                             |

Tabla anexos 4: Material de los engranajes rectos.

## 1.2. Cálculo de la carga sobre los engranajes.

Teniendo los parámetros geométricos básicos de los engranajes, se procede al cálculo de las cargas sobre los mismos a partir de la (Ecuación 8) para la carga tangencial y la (Ecuación 9) para la carga radial. En las ilustraciones siguientes, cabe destacar que las flechas rojas representan las cargas sobre el engranaje angular, las flechas azules corresponden a las cargas sobre los engranajes planetarios y las amarillas son las cargas sobre el engranaje sol.

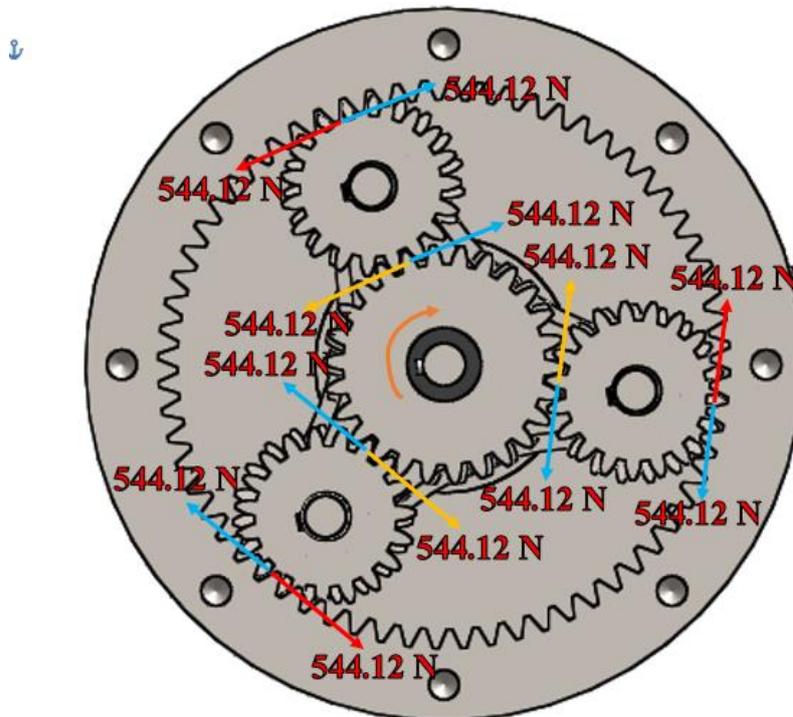


Ilustración anexos 1: Esquema de las cargas tangenciales sobre los engranajes de la Etapa 1.

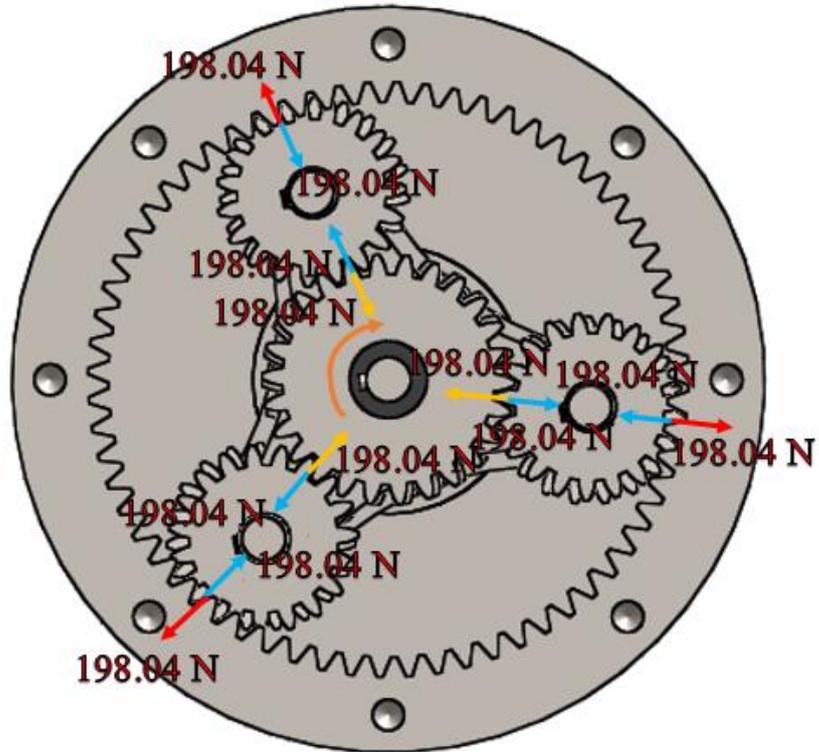


Ilustración anexos 2: Esquema de las cargas radiales sobre los engranajes de la Etapa 1.

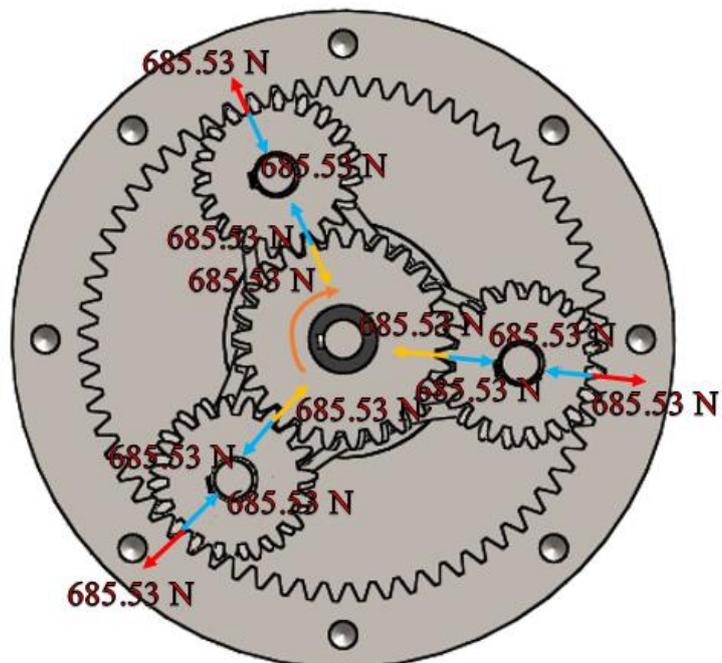


Ilustración anexos 3: Esquema de las cargas radiales sobre los engranajes de la Etapa 2.

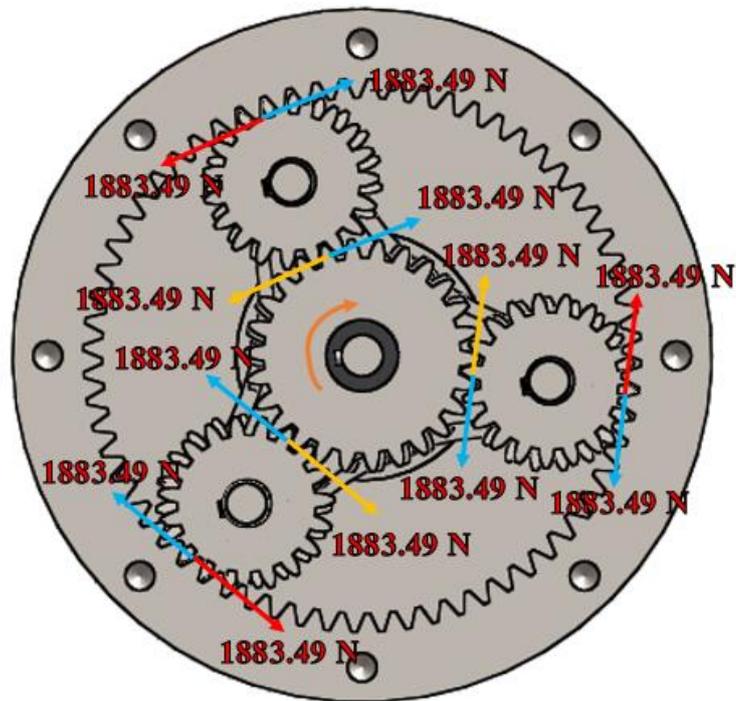


Ilustración anexos 4: Esquema de las cargas tangenciales sobre los engranajes de la Etapa 2.

|       | Etapa 1  |            |          | Etapa 2   |            |           |
|-------|----------|------------|----------|-----------|------------|-----------|
|       | Sol      | Planetario | Anular   | Sol       | Planetario | Anular    |
| $W_t$ | 544,12 N | 1088,24 N  | 544,12 N | 1883,49 N | 3766,98 N  | 1883,49 N |
| $W_r$ | 198,04 N | 0 N        | 198,04 N | 685,53 N  | 0 N        | 685,53 N  |

Tabla anexos 5: Cálculo fuerza tangencial y radial en engranajes.

Aquí, cabe destacar que los cálculos siguientes se realizarán en función de los engranajes planetarios, ya que la carga tangencial que actúa sobre ellos representa el doble de la que soporta el engranaje sol y el engranaje anular.

### 1.3. Esfuerzo de flexión en los engranes rectos (Etapa 1).

El esfuerzo en los engranajes se puede hallar a partir de la (Ecuación 10) y a partir de las condiciones establecidas en la memoria. El factor 'K<sub>v</sub>' se calcula a partir de la (Ecuación 11), sustituyendo por el valor correspondiente a la velocidad tangencial, que viene a ser en la primera etapa  $V_t = 10,06$  m/s.

|       | Comentario   | Valor |
|-------|--|-------|
| $K_a$ | Impulsado por motor eléctrico e impulsa una máquina de impacto moderado. | 1     |
| $K_m$ | Ancho de cara < 50 mm  | 1,25  |
| $K_v$ | Índice de calidad = 8.   | 1,6   |
| $K_s$ | Dientes y ancho de cara pequeño.   | 1     |
| $K_b$ | Espesor de aro grande.   | 1     |
| $K_i$ | Engranaje normal.  | 1     |
| $J$   | Ilustración 11: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J'.      | 0,73  |

Tabla anexos 6: Factores para el cálculo del esfuerzo en los engranajes (Etapa 1).

El valor del factor geométrico 'J' se obtuvo de la (Ilustración 11: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J'.) como se muestra a continuación:

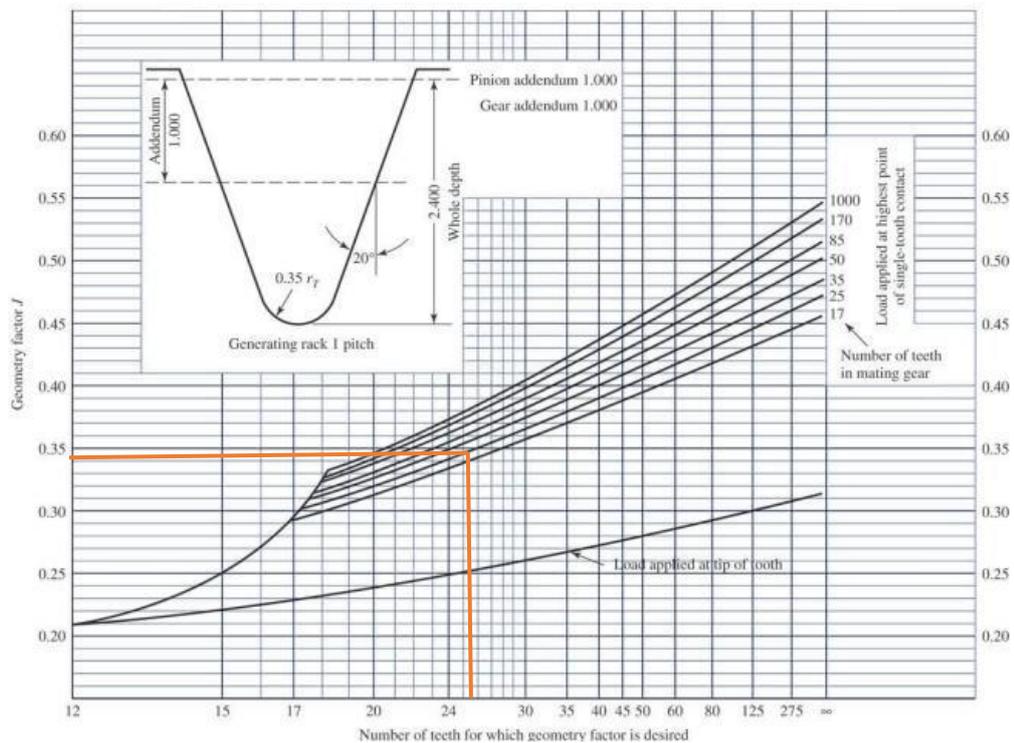


Ilustración anexos 5: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J' para la Etapa 1

Se puede aproximar a un valor de 0,73. Para la etapa 1, el valor del esfuerzo en los dientes de los engranajes rectos viene a ser:

|       |           |
|-------|-----------|
| $S_t$ | 97,43 MPa |
|-------|-----------|

Tabla anexos 7: Esfuerzo de flexión en el diente de los engranajes de la etapa 1.

#### 1.4. Esfuerzo superficial en los engranajes rectos (Etapa 1).

Además de soportar los esfuerzos de la flexión, los dientes de los engranajes deben ser capaces de resistir la fatiga que produce el contacto con los dientes del engranaje contrario. Para este cálculo se emplea la (Ecuación 14), para la cual se deben determinar algunos coeficientes que ya se han comentado en el apartado de la memoria correspondiente. De tal forma, tenemos lo siguiente:

| Esfuerzo superficial |        |
|----------------------|--------|
| Cp                   | 190,65 |
| l                    | 0,07   |
| Ca                   | 1,25   |
| Cm                   | 1,60   |
| Cv                   | 0,73   |
| Cs                   | 1,00   |
| Cf                   | 1,00   |
| $\sigma_c$ (Mpa)     | 826,11 |

Tabla anexos 8: Esfuerzo superficial engranajes (Etapa 1).

#### 1.5. Resistencia de fatiga a flexión de los engranajes rectos (Etapa 1).

Para verificar si los dientes de los engranajes resistirán el esfuerzo flexionante, se debe calcular el valor de la resistencia corregida de fatiga por flexión a partir de la (Ecuación 19) a partir de las condiciones mencionadas en la memoria:

| Resistencia de fatiga a la flexión |        |
|------------------------------------|--------|
| KL                                 | 0,9    |
| KT                                 | 1      |
| Kr                                 | 0,85   |
| Sfb' (Mpa)                         | 287,5  |
| Sfb (Mpa)                          | 304,41 |

Tabla anexos 9: Resistencia corregida de fatiga a la flexión (Etapa 1).

#### 1.6. Resistencia de fatiga superficial de engranajes rectos (Etapa 1).

Para comprobar si los dientes de los engranajes resistirán el esfuerzo superficial, se debe hallar la resistencia corregida a la fatiga superficial a partir de la (Ecuación 21):

| Resistencia por fatiga superficial |         |
|------------------------------------|---------|
| CL                                 | 0,9     |
| Ch                                 | 1       |
| CT                                 | 1       |
| Cr                                 | 0,85    |
| Sfc' (Mpa)                         | 1200    |
| Sfc (Mpa)                          | 1270,59 |

Tabla anexos 10: Resistencia corregida de fatiga superficial (Etapa 1).

### 1.7. Verificación material y espesor engranajes (Etapa 1).

Para verificar tanto si el material escogido y espesor de los engranajes es el correcto, se debe comparar por un lado, la resistencia de fatiga a la flexión con respecto al esfuerzo de flexión calculado anteriormente, y por otro lado, la resistencia de fatiga superficial con respecto al esfuerzo superficial. Estos dos valores que se van a obtener corresponderán a los coeficientes de seguridad. Para garantizar que no falle, el coeficiente de seguridad debe ser mayor que 1. De esta forma, el resultado obtenido para los engranajes de la etapa 1 son:

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Coeficientes seg flexión | 3,12 |
| Coeficientes seg superf. | 1,54 |

Tabla anexos 11: Coeficientes de seguridad engranajes rectos (Etapa 1).

El valor obtenido en los coeficientes es aceptable, por lo que el material escogido y el ancho de cara de los engranajes de la etapa 1 es aceptable.

### 1.8. Esfuerzo de flexión en los engranes rectos (Etapa 2).

El esfuerzo en los engranajes se puede hallar a partir de la (Ecuación 10) y a partir de las condiciones establecidas en la memoria. El factor 'K<sub>v</sub>' se calcula a partir de la (Ecuación 11), sustituyendo por el valor correspondiente a la velocidad tangencial, que viene a ser en la primera etapa  $V_t = 2,91$  m/s.

|                | Comentario   | Valor |
|----------------|--|-------|
| K <sub>a</sub> | Impulsado por motor eléctrico e impulsa una máquina de impacto moderado. | 1     |
| K <sub>m</sub> | Ancho de cara < 50 mm  | 1,25  |
| K <sub>v</sub> | Índice de calidad = 8.   | 1,7   |
| K <sub>s</sub> | Dientes y ancho de cara pequeño.   | 1     |
| K <sub>b</sub> | Espesor de aro grande.   | 1     |
| K <sub>i</sub> | Engranaje normal.  | 1     |
| J              | Ilustración 11: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J'.      | 0,73  |

Tabla anexos 12: Factores para el cálculo del esfuerzo en los engranajes (Etapa 2).

El valor del factor geométrico 'J' se obtuvo de la (Ilustración 11: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J'.) como se muestra a continuación:

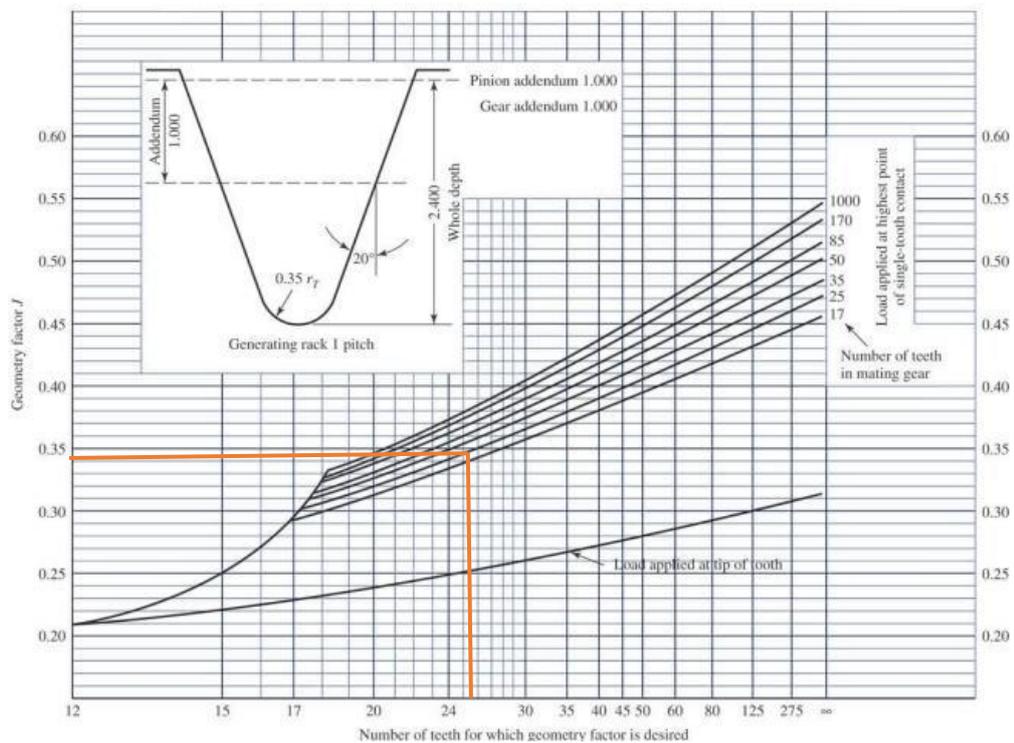


Ilustración anexos 6: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J' para la Etapa 2.

Se puede aproximar a un valor de 0,73. Para la etapa 2, el valor del esfuerzo en los dientes de los engranajes rectos viene a ser:

|       |            |
|-------|------------|
| $S_t$ | 107,51 MPa |
|-------|------------|

Tabla anexos 13: Esfuerzo de flexión en el diente de los engranajes de la etapa 2.

### 1.9. Esfuerzo superficial en los engranajes rectos (Etapa 2).

Además de soportar los esfuerzos de la flexión, los dientes de los engranajes deben ser capaces de resistir la fatiga que produce el contacto con los dientes del engranaje contrario. Para este cálculo se emplea la (Ecuación 14), para la cual se deben determinar algunos coeficientes que ya se han comentado en el apartado de la memoria correspondiente. De tal forma, tenemos lo siguiente:

| Esfuerzo superficial |        |
|----------------------|--------|
| $C_p$                | 190,65 |
| $I$                  | 0,07   |
| $C_a$                | 1,25   |
| $C_m$                | 1,70   |
| $C_v$                | 0,73   |
| $C_s$                | 1,00   |
| $C_f$                | 1,00   |
| $\sigma_c$ (Mpa)     | 867,75 |

Tabla anexos 14: Esfuerzo superficial engranajes (Etapa 2).

### 1.10. Resistencia de fatiga a flexión de los engranajes rectos (Etapa 2).

Para verificar si los dientes de los engranajes resistirán el esfuerzo flexionante, se debe calcular el valor de la resistencia corregida de fatiga por flexión a partir de la (Ecuación 19) a partir de las condiciones mencionadas en la memoria:

| Resistencia de fatiga a la flexión |        |
|------------------------------------|--------|
| $K_L$                              | 0,9    |
| $K_T$                              | 1      |
| $K_r$                              | 0,85   |
| $S_{fb}'$ (Mpa)                    | 287,5  |
| $S_{fb}$ (Mpa)                     | 304,41 |

Tabla anexos 15: Resistencia corregida de fatiga a la flexión (Etapa 2).

### 1.11. Resistencia de fatiga superficial de engranajes rectos (Etapa 2).

Para comprobar si los dientes de los engranajes resistirán el esfuerzo superficial, se debe hallar la resistencia corregida a la fatiga superficial a partir de la (Ecuación 21):

| Resistencia por fatiga superficial |         |
|------------------------------------|---------|
| $C_L$                              | 1       |
| $C_h$                              | 1       |
| $C_T$                              | 1       |
| $C_r$                              | 0,85    |
| Sfc' (Mpa)                         | 1200    |
| Sfc (Mpa)                          | 1411,76 |

Tabla anexos 16: Resistencia corregida de fatiga superficial (Etapa 2).

### 1.12. Verificación material y espesor engranajes (Etapa 2).

Para verificar tanto si el material escogido y espesor de los engranajes es el correcto, se debe comparar por un lado, la resistencia de fatiga a la flexión con respecto al esfuerzo de flexión calculado anteriormente, y por otro lado, la resistencia de fatiga superficial con respecto al esfuerzo superficial. Estos dos valores que se van a obtener corresponderán a los coeficientes de seguridad. Para garantizar que no falle, el coeficiente de seguridad debe ser mayor que 1. De esta forma, el resultado obtenido para los engranajes de la etapa 2 son:

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Coeficientes seg flexión | 2,83 |
| Coeficientes seg superf. | 1,63 |

Tabla anexos 17: Coeficientes de seguridad engranajes rectos (Etapa 2).

El valor obtenido en los coeficientes es aceptable, aunque el coeficiente de seguridad superficial es un poco bajo, sigue siendo mayor que 1, por lo que el material escogido y el ancho de cara de los engranajes de la etapa 2 es aceptable.

## 2. Resultados de los cálculos de los ejes.

Tras haber calculado los engranajes y las fuerzas que actúan sobre ellos, se pueden dimensionar los ejes en función de las fuerzas y momentos que tendrán que soportar durante su vida útil. El primer paso es realizar un diagrama de momentos en cada uno de los ejes, de esta forma se puede calcular el diámetro mínimo requerido en las secciones del eje más críticas, que serán en los puntos donde el momento flector en combinación con el momento torsor sean mayor. El material con el que se dimensionarán los ejes de entrada, salida e intermedio será un acero F114 (AISI 1045) y el factor de seguridad para el cálculo del diámetro mínimo será de 3 y los ejes de los satélites se fabricarán con un acero F127 (AISI 4340) y el factor de seguridad para el cálculo del diámetro mínimo será de 2.5.

### 2.1. Cargas eje de entrada.

El eje de entrada, está sometido a un momento torsor y se supondrá que no existe momento flector debido a que, como se verá en la selección del embrague, se unirá eje con eje el motor eléctrico y la reductora y también se considerará que el motor se encuentra alineado con la misma. Uno de los extremos se encuentra sujeto en un engranaje con cargas equilibradas y el otro extremo se encuentra en voladizo. En la zona intermedia del eje se dispone de un rodamiento.

El dimensionado del eje queda de la siguiente forma:

|  | Eje entrada            |
|--|------------------------|
| Material eje                           | AISI 1045 (F114)       |
| Condición                              | Acero estirado en frío |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00                 |
| Resistencia última a la tensión (Mpa)  | 625,00                 |
| Sut (MPa)                              | 625,00                 |
| Se' (MPa)                              | 312,50                 |
| Ccarga                                 | 1,00                   |
| Ctamaño                                | 0,91                   |
| Csuperficie                            | 0,76                   |
| Ctemperatura                           | 1,00                   |
| Cconfiabilidad (95%)                   | 0,87                   |
| Se (MPa)                               | 188,49                 |
| Kt                                     | 3,00                   |
| Mflector (N*m)                         | 0,00                   |
| Torsión (N*m)                          | 21,22                  |
| Diámetro Teórico (mm)                  | 10,19                  |
| Diámetro Real (mm)                     | 15,00                  |
| Nf                                     | 3,00                   |
| Nf real                                | 9,56                   |

Tabla anexos 18: Dimensionado eje de entrada.

## 2.2. Cargas eje de salida.

El eje de salida, está sometido a un momento torsor y se supondrá un momento flector equivalente a la adición de, por ejemplo, una polea a la salida. Uno de los extremos se encuentra sujeto en un engranaje con cargas equilibradas y el otro extremo se encuentra en voladizo. En la zona intermedia del eje se dispone de un rodamiento. La disposición de las fuerzas en el eje de salida viene siendo como se muestra en el siguiente esquema:

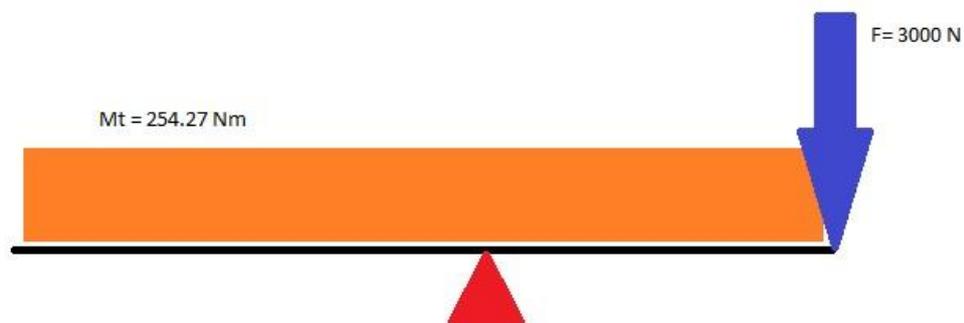


Ilustración anexos 7: Esquema fuerzas eje de salida.

Por lo tanto, el diagrama del momento torsor y flector viene siendo:

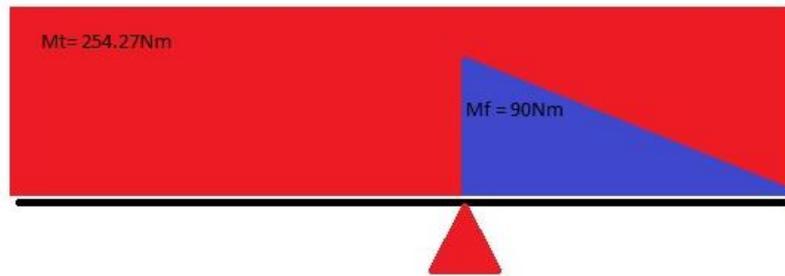


Ilustración anexos 8: Diagrama momento torsor (rojo) y momento flector (azul) eje de salida.

El resultado del dimensionado del eje es:

|  | Eje salida             |
|--|------------------------|
| Material eje                           | AISI 1045 (F114)       |
| Condición                              | Acero estirado en frío |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00                 |
| Resistencia última a la tensión (Mpa)  | 625,00                 |
| Sut (MPa)                              | 625,00                 |
| Se' (MPa)                              | 312,50                 |
| Ccarga                                 | 1,00                   |
| Ctamaño                                | 0,83                   |
| Csuperficie                            | 0,76                   |
| Ctemperatura                           | 1,00                   |
| Cconfiabilidad (95%)                   | 0,87                   |
| Se (MPa)                               | 171,38                 |
| Kt                                     | 3,00                   |
| Mflector (N*m)                         | 100,00                 |
| Torsión (N*m)                          | 254,27                 |
| Diámetro Teórico (mm)                  | 38,02                  |
| Diámetro Real (mm)                     | 40,00                  |
| Nf                                     | 3,00                   |
| Nf real                                | 3,49                   |

Tabla anexos 19: Dimensionado eje de salida.

### 2.2.1. Factor de concentración de esfuerzos:

Dado que en el eje de salida se tiene una chaveta, se empleará la Ilustración 14 para el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos.

### 2.3. Cargas eje intermedio.

El eje intermedio, está sometido únicamente a un momento torsor, ya que al ser la reductora de engranajes planetarios, las cargas se equilibran, por lo que no existe momento flector en este eje. Uno de los extremos se encuentra unido al soporte de satélites 1 y el otro está ajustado en el interior del engranaje sol de la segunda etapa. En este caso, no tiene

rodamientos y tampoco los necesita. Por ello, este eje se calculará sólo a torsión, por lo que el dimensionado del eje queda de la siguiente manera:

|  | Eje entre etapas       |
|--|------------------------|
| Material eje                           | AISI 1045 (F114)       |
| Condición                              | Acero estirado en frío |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00                 |
| Resistencia última a la tensión (Mpa)  | 625,00                 |
| Sut (MPa)                              | 625,00                 |
| Se' (MPa)                              | 312,50                 |
| Ccarga                                 | 1,00                   |
| Ctamaño                                | 0,89                   |
| Csuperficie                            | 0,76                   |
| Ctemperatura                           | 1,00                   |
| Cconfiabilidad (95%)                   | 0,87                   |
| Se (MPa)                               | 183,30                 |
| Kt                                     | 3,00                   |
| Mflector (N*m)                         | 0,00                   |
| Torsión (N*m)                          | 73,46                  |
| Diámetro Teórico (mm)                  | 15,42                  |
| Diámetro Real (mm)                     | 20,00                  |
| Nf                                     | 3,00                   |
| Nf real                                | 6,54                   |

Tabla anexos 20: Dimensionado eje entre etapas.

### 2.3.1. Factor de concentración de esfuerzos:

Dado que en el eje intermedio se tiene una chaveta, se empleará la Ilustración 14 para el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos.

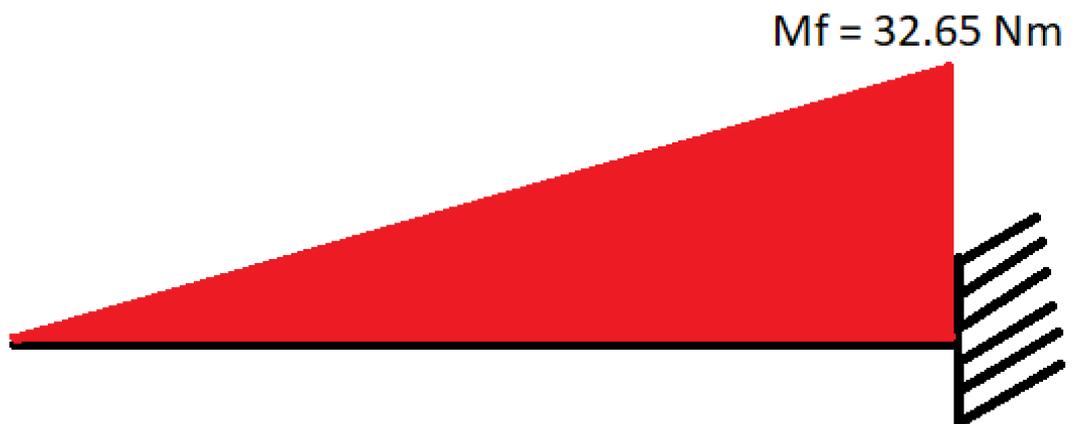
### 2.4. Cargas eje soporte satélites (Etapa 1).

Los ejes del soporte de satélites de la etapa 1 sólo están sometidos a un momento flector, ya que los engranajes pueden girar libremente alrededor de él. Uno de los extremos se encuentra ajustado a prensa en el soporte y el otro se encuentra en voladizo. A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre de este eje:



*Ilustración anexos 9: Esquema fuerzas eje satélites (Etapa 1)*

Por lo tanto, el diagrama de momento flector correspondiente viene a ser:



*Ilustración anexos 10: Diagrama momento flector eje satélites (Etapa 1).*

Los resultados del cálculo de los ejes son:

|  | Eje satélites 1  |
|--|------------------|
| Material eje                           | AISI 4340 (F127) |
| Condición                              | Normalizado      |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 710,00           |
| Resistencia última a la tensión (Mpa)  | 1110,00          |
| Sut (MPa)                              | 1110,00          |
| Se' (MPa)                              | 555,00           |
| Ccarga                                 | 1,00             |
| Ctamaño                                | 0,91             |
| Csuperficie                            | 0,76             |
| Ctemperatura                           | 1,00             |
| Cconfiabilidad (95%)                   | 0,87             |
| Se (MPa)                               | 334,76           |
| Kt                                     | 1,00             |
| Mflector (N*m)                         | 32,65            |
| Torsión (N*m)                          | 0,00             |
| Diámetro Teórico (mm)                  | 13,54            |
| Diámetro Real (mm)                     | 15,00            |
| Nf                                     | 2,50             |
| Nf real                                | 3,40             |

Tabla anexos 21: Dimensionado ejes satélites 1.

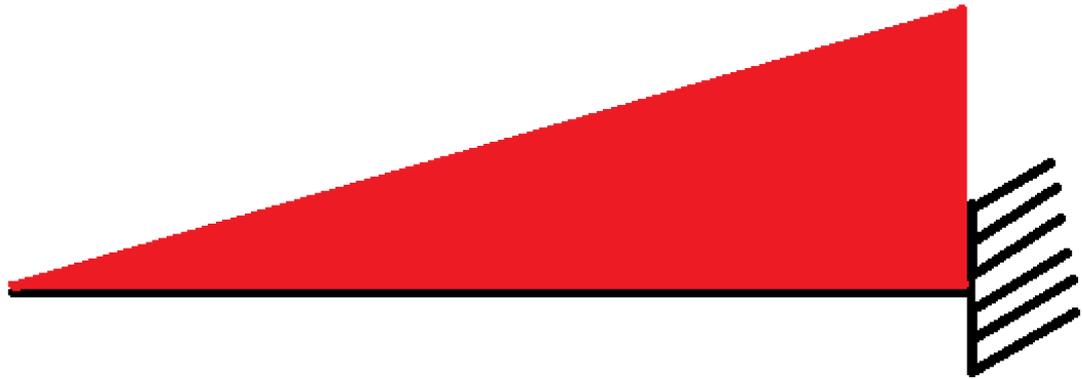
## 2.5. Cargas eje soporte satélites (Etapa 2).

Los ejes del soporte de satélites de la etapa 2 sólo están sometidos a un momento flector, ya que los engranajes pueden girar libremente alrededor de él. Uno de los extremos se encuentra ajustado a prensa en el soporte y el otro se encuentra en voladizo. A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre de este eje:



Ilustración anexos 11: Esquema fuerzas eje soporte satélites (Etapa 2).

Por lo tanto, el diagrama de momento flector correspondiente viene a ser:

$M_f = 376.7 \text{ Nm}$ *Ilustración anexos 12: Diagrama momento flector eje satélite (Etapa 2).*

Los resultados del cálculo de los ejes son:

|  | Eje satélites 2  |
|--|------------------|
| Material eje                           | AISI 4340 (F127) |
| Condición                              | Normalizado      |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 710,00           |
| Resistencia última a la tensión (Mpa)  | 1110,00          |
| Sut (MPa)                              | 1110,00          |
| Se' (MPa)                              | 555,00           |
| Ccarga                                 | 1,00             |
| Ctamaño                                | 0,85             |
| Csuperficie                            | 0,76             |
| Ctemperatura                           | 1,00             |
| Cconfiabilidad (95%)                   | 0,87             |
| Se (MPa)                               | 311,03           |
| Kt                                     | 1,00             |
| Mflector (N*m)                         | 376,70           |
| Torsión (N*m)                          | 0,00             |
| Diámetro Teórico (mm)                  | 31,36            |
| Diámetro Real (mm)                     | 32,00            |
| Nf                                     | 2,50             |
| Nf real                                | 2,66             |

*Tabla anexos 22: Dimensionado ejes satélites 2.*

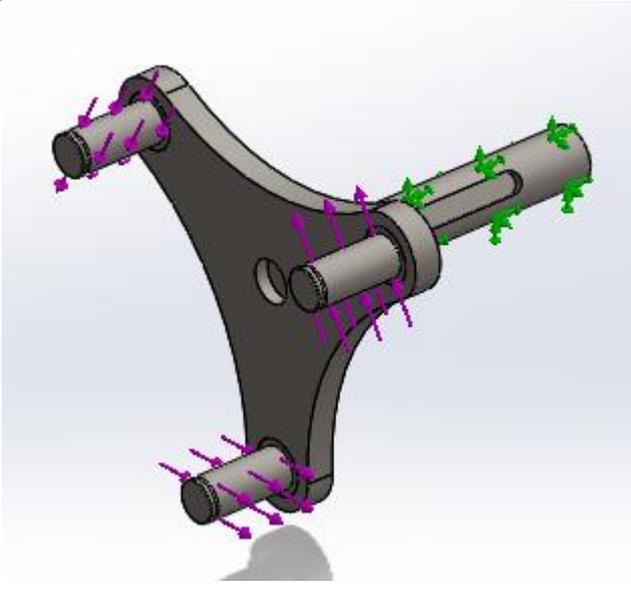
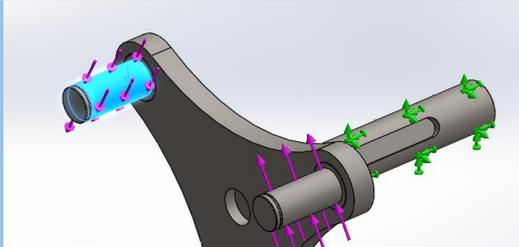
### 3. Resultados de los cálculos de los soportes de satélites.

Como se comentó en el apartado de la memoria, para dimensionar los soportes de los satélites se realizará a partir del programa SolidWork partiendo de una pieza tridimensional. Se comienza seleccionando el material y definiendo las sujeciones. Para establecer las cargas, se emplearán planos previamente definidos con los ángulos correspondientes a las cargas que queremos emular. Finalmente se crea una malla y se ejecuta el estudio.

#### 3.1. Resultado cálculos de soporte satélites 1.

En este estudio no se tendrá en cuenta el efecto de la fatiga porque se supone que las cargas son constantes y en la misma dirección y sentido respecto al eje. Como único podría afectar esto es en el arranque y paro de la máquina, que hay variación de tensión, pero en este caso no es relevante.

##### 3.1.1. Información del modelo.

|   |                 |
|---|-----------------|
|  |                 |
| Sólidos   |                 |
| Elementos   |                 |
|  | Eje Satélites 1 |

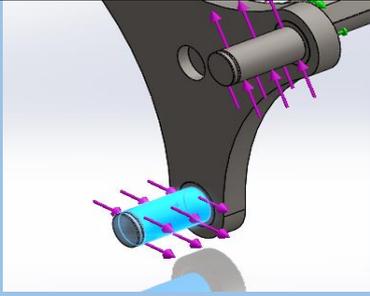
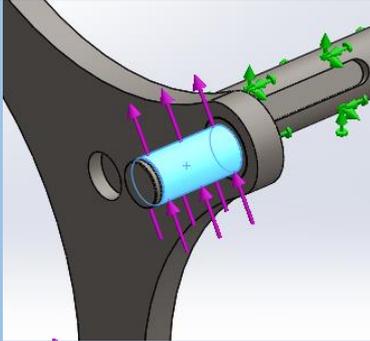
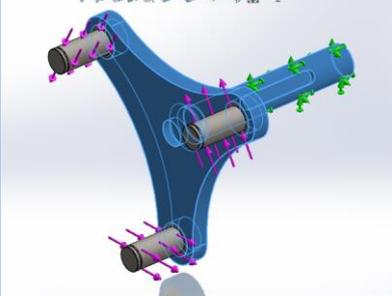
|  |                            |
|--|----------------------------|
|   | <p>Eje Satélites 1</p>     |
|   | <p>Eje Satélites 1</p>     |
|  | <p>Soporte Satélites 1</p> |

Tabla anexos 23: Información modelo soporte satélites (Etapa 1).

El conjunto a estudiar está formado por los cuatro elementos mostrados en la tabla de arriba.

### 3.1.2. Propiedades de estudio.

El estudio que se va a realizar es:

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <p>Nombre de estudio</p> | <p>Análisis estático Soporte (Etapa 1)</p> |
| <p>Tipo de análisis</p>  | <p>Análisis estático</p>                   |

Tabla anexos 24: Propiedades de estudio soporte satélites (Etapa 1).

### 3.1.3. Propiedades de material.

| Propiedades   | Componentes                              |
|---|--|
| <b>Nombre:</b> AISI 1045 Acero estirado en frío.<br><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal.<br><b>Criterio de error:</b> Tensión de Von Misses máx.<br><b>Límite elástico:</b> 530 N/mm <sup>2</sup> .<br><b>Límite de tracción:</b> 625 N/mm <sup>2</sup> .<br><b>Módulo elástico:</b> 205000 N/mm <sup>2</sup> .<br><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.29<br><b>Densidad:</b> 7850 kg/m <sup>3</sup> .<br><b>Módulo cortante:</b> 80000 N/mm <sup>2</sup> . | 3x Eje satélites<br>1x Soporte satélites |

Tabla anexos 25: Propiedades del material soporte satélites (Etapa 1).

### 3.1.4. Cargas y sujeciones.

Se plantea que el modelo está sujeto por el eje de salida tal y como se muestra en la siguiente imagen. La sujeción es de geometría fija.

| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción | Detalles de sujeción                                      |
|--------------------|--------------------|---|
| Fijo-1             |                    | <b>Entidades:</b> 1 Cara.<br><b>Tipo:</b> Geometría fija. |

Tabla anexos 26: Sujeciones en soporte satélites (Etapa 1).

| Fuerzas resultantes en sujeción |        |        |       |            |
|---------------------------------|--------|--------|-------|------------|
| Componentes                     | X      | Y      | Z     | Resultante |
| Fuerza de reacción (N)          | -17.83 | -10.94 | -0.06 | 20.92      |
| Momento de reacción (N*m)       | 0      | 0      | 0     | 0          |

Tabla anexos 27: Fuerzas resultantes en sujeción soporte satélites (Etapa 1).

Las cargas en los ejes de los satélites se aplican en la dirección de la circunferencia que describen los ejes, teniendo que el ángulo entre cargas es de 120°.

| Nombre de carga | Imagen de la carga | Detalles de la carga                                       |
|-----------------|--------------------|--|
| Fuerza-1        |                    | <b>Entidades:</b> 1cara/1plano.<br><b>Valor:</b> 1088.24 N |
| Fuerza-2        |                    | <b>Entidades:</b> 1cara/1plano.<br><b>Valor:</b> 1088.24 N |
| Fuerza-3        |                    | <b>Entidades:</b> 1cara/1plano.<br><b>Valor:</b> 1088.24 N |

Tabla anexos 28: Cargas en soporte satélites (Etapa 1).

### 3.1.5. Información de contacto.

Se considera que la unión de los elementos en el ensamblaje es del tipo unión rígida.

| Contacto        | Imagen del contacto | Propiedades del contacto                            |
|-----------------|---------------------|---|
| Contacto Global |                     | <b>Tipo:</b> Unión rígida.<br><b>Componentes:</b> 1 |

Tabla anexos 29: Información de contacto soporte satélites (Etapa 1).

### 3.1.6. Resultados del estudio.

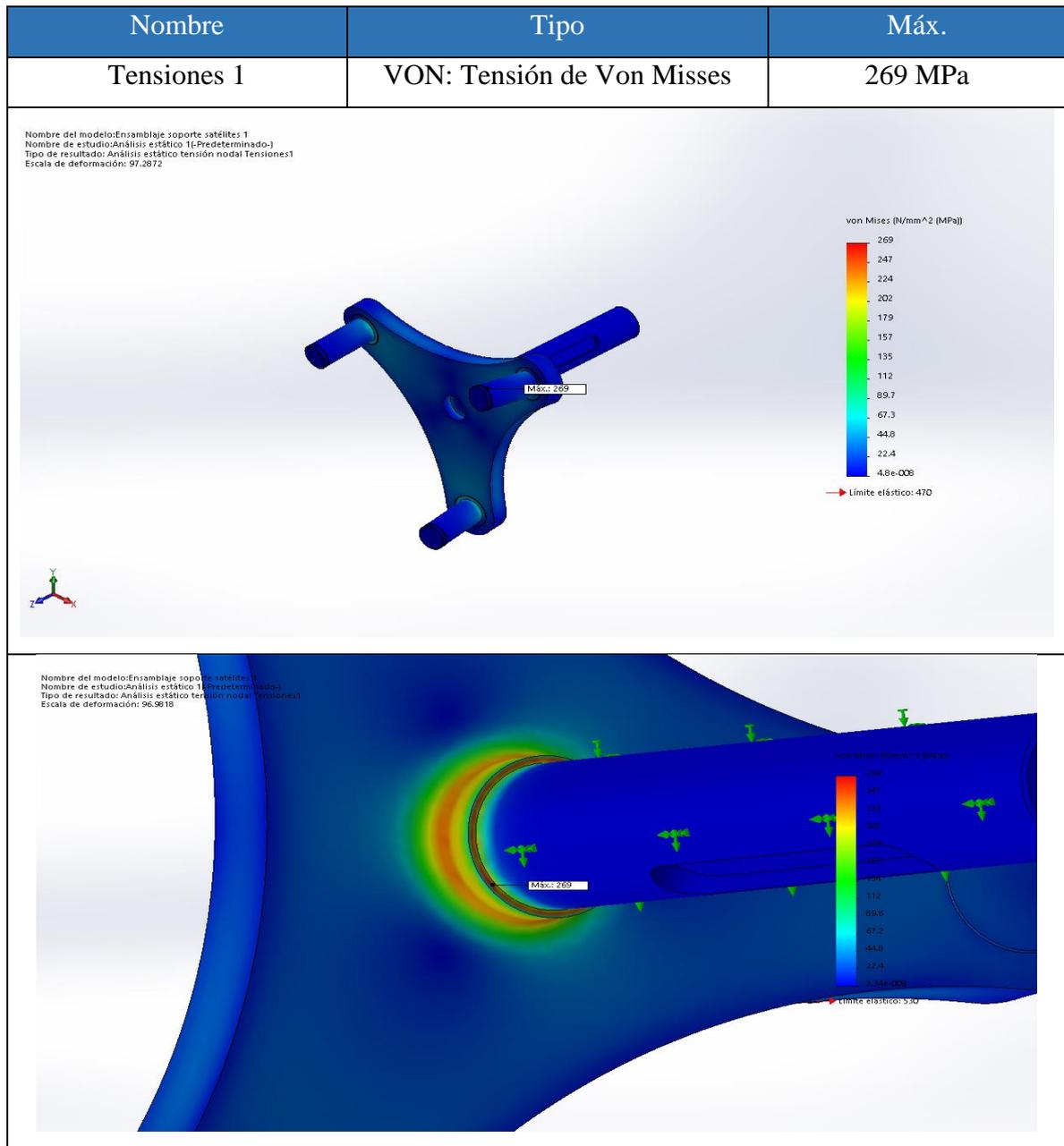
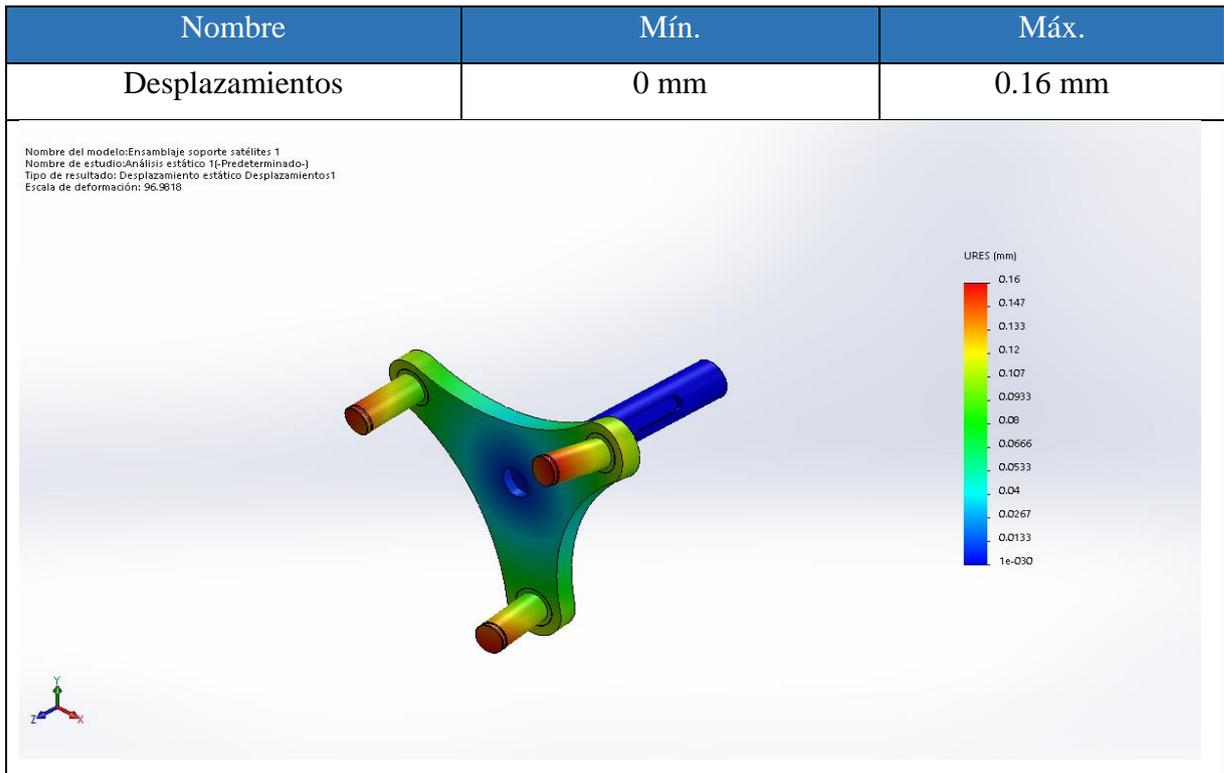


Tabla anexos 30: Resultados tensiones soporte satélites (Etapa 1).

En la imagen de arriba se puede ver donde se encuentran las tensiones máximas en el componente al estar sometido a las cargas y restricciones establecidas anteriormente. Teniendo que la tensión del límite elástico es de 530 MPa y en este estudio se ha obtenido un valor máximo de 269 MPa, el coeficiente de seguridad es de 1.97, por lo que el diseño es válido, ya que el límite elástico está muy por encima del valor máximo del estudio.



*Tabla anexos 31: Resultados desplazamientos soporte satélites (Etapa 1).*

El desplazamiento que tendrá este componente, especialmente los ejes de los satélites, es de 16 centésimas de milímetro, un valor muy pequeño. Y dado que las tensiones no sobrepasan el límite elástico, no son deformaciones permanentes.

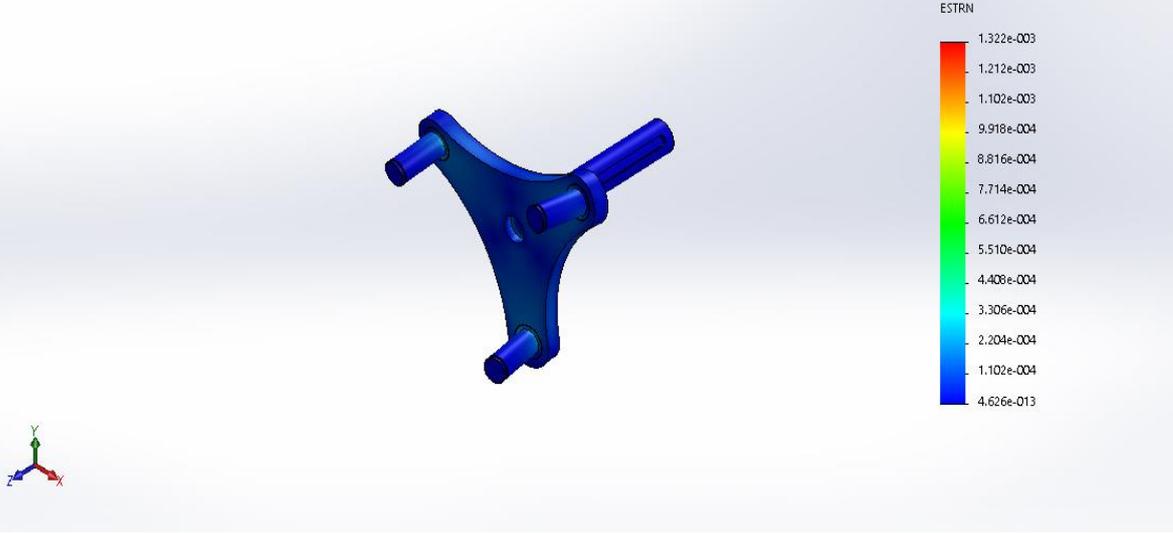
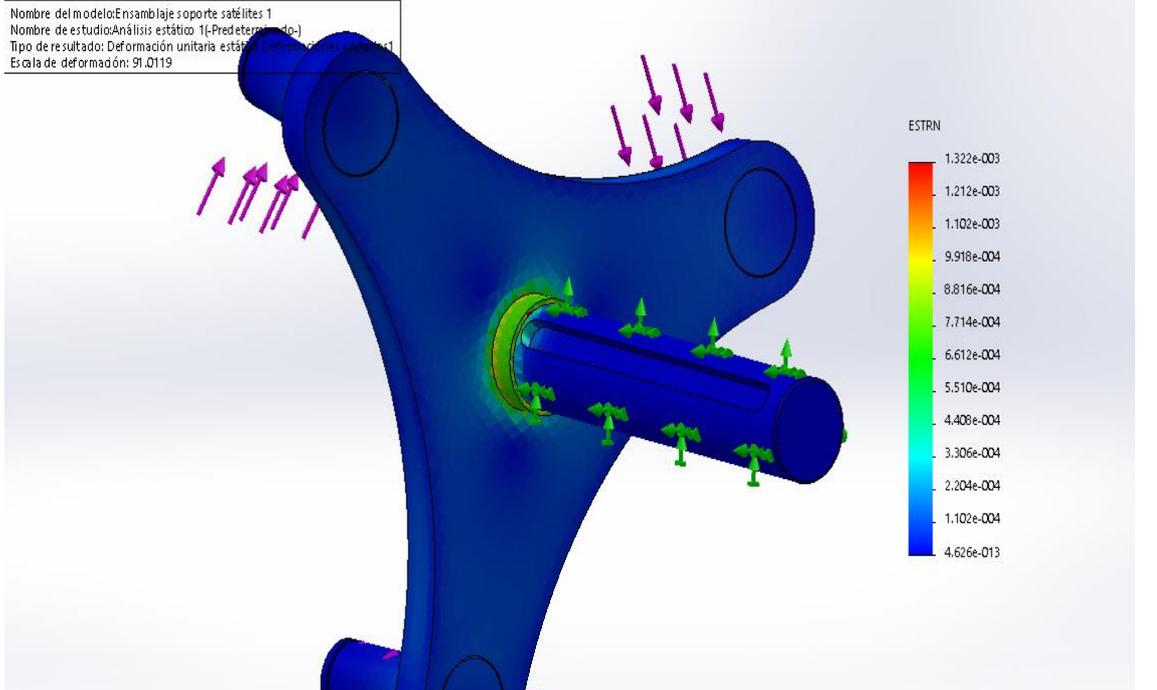
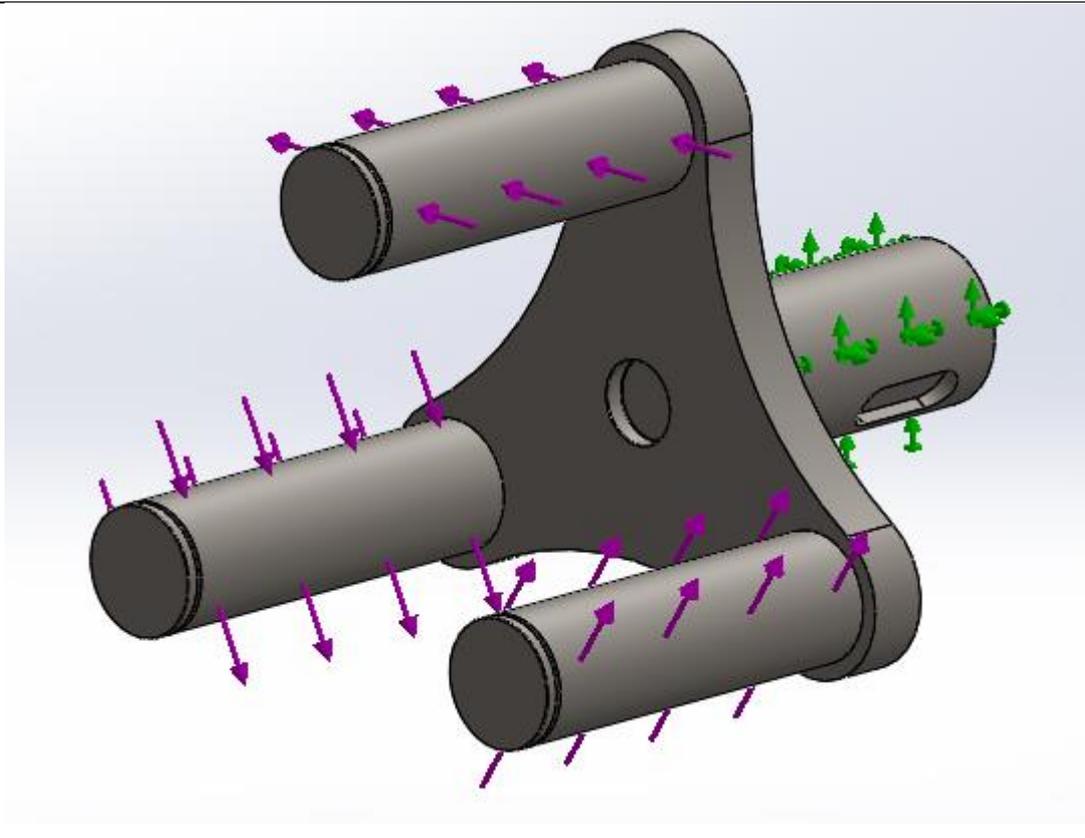
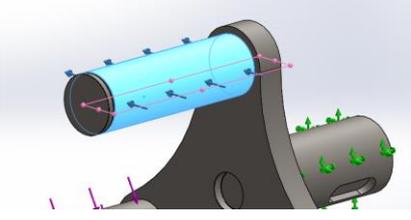
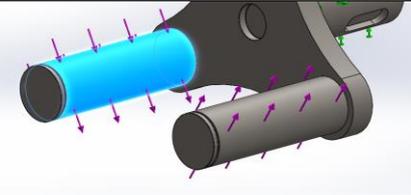
| Nombre   | Máx.    |
|--|---------|
| Deformaciones unitarias  | 0.00132 |
| <p>           Nombre del modelo: Ensamblaje soporte satélites 1<br/>           Nombre de estudio: Análisis estático 1[-Predeterminado-]<br/>           Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1<br/>           Escala de deformación: 91.0119         </p>    |         |
| <p>           Nombre del modelo: Ensamblaje soporte satélites 1<br/>           Nombre de estudio: Análisis estático 1[-Predeterminado-]<br/>           Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1<br/>           Escala de deformación: 91.0119         </p>  |         |

Tabla anexos 32: Resultados deformaciones soporte satélites (Etapa 1).

### 3.2. Resultado cálculos de soporte satélites 2.

En este estudio no se tendrá en cuenta el efecto de la fatiga porque se supone que las cargas son constantes y en la misma dirección y sentido respecto al eje. Como único podría afectar esto es en el arranque y paro de la máquina, que hay variación de tensión, pero en este caso no es relevante.

#### 3.2.1. Información del modelo.

|   |               |
|---|---------------|
|  |               |
| Sólidos   |               |
| Elementos   |               |
|  | Eje Satélites |
|  | Eje Satélites |

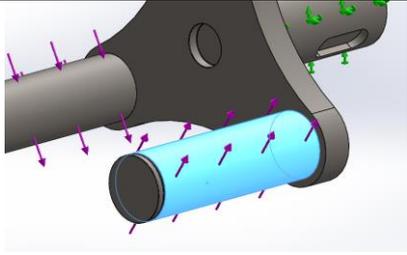
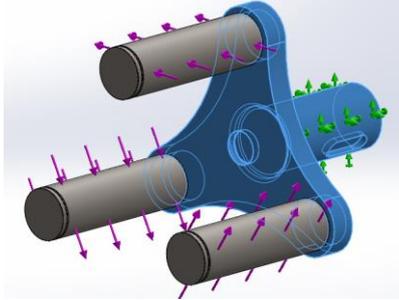
|   |                      |
|---|----------------------|
|  | <p>Eje Satélites</p> |
|  | <p>Soporte Ejes</p>  |

Tabla anexos 33: Información modelo soporte satélites (Etapa 2).

### 3.2.2. Propiedades de estudio.

El estudio que se va a realizar es un estudio estático.

|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| Nombre de estudio | Análisis estático Soporte (Etapa 2) |
| Tipo de análisis  | Análisis estático                   |

Tabla anexos 34: Propiedades de estudio soporte satélites (Etapa 2).

### 3.2.3. Propiedades de material.

A continuación se muestra la información del material de los componentes.

| Propiedades   | Componentes   |
|---|---|
| <p> <b>Nombre:</b> AISI 1045 Acero estirado en frío.<br/> <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal.<br/> <b>Criterio de error:</b> Tensión de Von Mises máx.<br/> <b>Límite elástico:</b> 530 N/mm<sup>2</sup>.<br/> <b>Límite de tracción:</b> 625 N/mm<sup>2</sup>.<br/> <b>Módulo elástico:</b> 205000 N/mm<sup>2</sup>.<br/> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.29<br/> <b>Densidad:</b> 7850 kg/m<sup>3</sup>.<br/> <b>Módulo cortante:</b> 80000 N/mm<sup>2</sup>.         </p> | <p>           3x Eje satélites<br/>           1x Soporte satélites         </p> |

Tabla anexos 35: Propiedades material soporte satélites (Etapa 2).

### 3.2.4. Cargas y sujeciones.

El ensamblaje tendrá una sujeción del tipo geometría fija en el eje de salida del modelo, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción | Detalles de sujeción                                      |
|--------------------|--------------------|---|
| Fijo (verde)       |                    | <b>Entidades:</b> 1 Cara.<br><b>Tipo:</b> Geometría fija. |

Tabla anexos 36: Sujeciones en soporte satélites (Etapa 2).

| Fuerzas resultantes en sujeción |      |         |        |            |
|---------------------------------|------|---------|--------|------------|
| Componentes                     | X    | Y       | Z      | Resultante |
| Fuerza de reacción (N)          | 9.77 | 110.917 | -0.119 | 111.347    |
| Momento de reacción (N*m)       | 0    | 0       | 0      | 0          |

Tabla anexos 37: Fuerzas resultantes en sujeción soporte satélites (Etapa 2).

Las cargas en los ejes de los satélites se aplican en la dirección de la circunferencia que describen los ejes, teniendo que el ángulo entre cargas es de 120°.

| Nombre de carga | Imagen de la carga | Detalles de la carga                                       |
|-----------------|--------------------|--|
| Fuerza-1        |                    | <b>Entidades:</b> 1cara/1plano.<br><b>Valor:</b> 3766.98 N |
| Fuerza-2        |                    | <b>Entidades:</b> 1cara/1plano.<br><b>Valor:</b> 3766.98 N |
| Fuerza-3        |                    | <b>Entidades:</b> 1cara/1plano.<br><b>Valor:</b> 3766.98 N |

Tabla anexos 38: Cargas en soporte satélites (Etapa 2).

### 3.2.5. Información de contacto.

Se considera que la unión de los elementos en el ensamblaje es del tipo unión rígida.

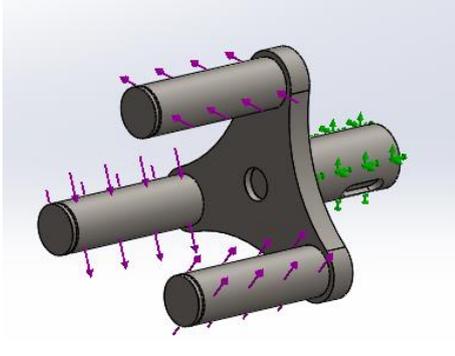
| Contacto           | Imagen del contacto   | Propiedades del contacto                            |
|--------------------|---|---|
| Contacto<br>Global |  A 3D CAD model of a satellite support structure, which is a Y-shaped bracket with three cylindrical shafts extending from its arms. Purple arrows point outwards from the shafts, and green arrows point inwards towards the central hub, representing contact forces or constraints. | <b>Tipo:</b> Unión rígida.<br><b>Componentes:</b> 1 |

Tabla anexos 39: Información de contacto soporte satélites (Etapa 2).

### 3.2.6. Resultados del estudio.

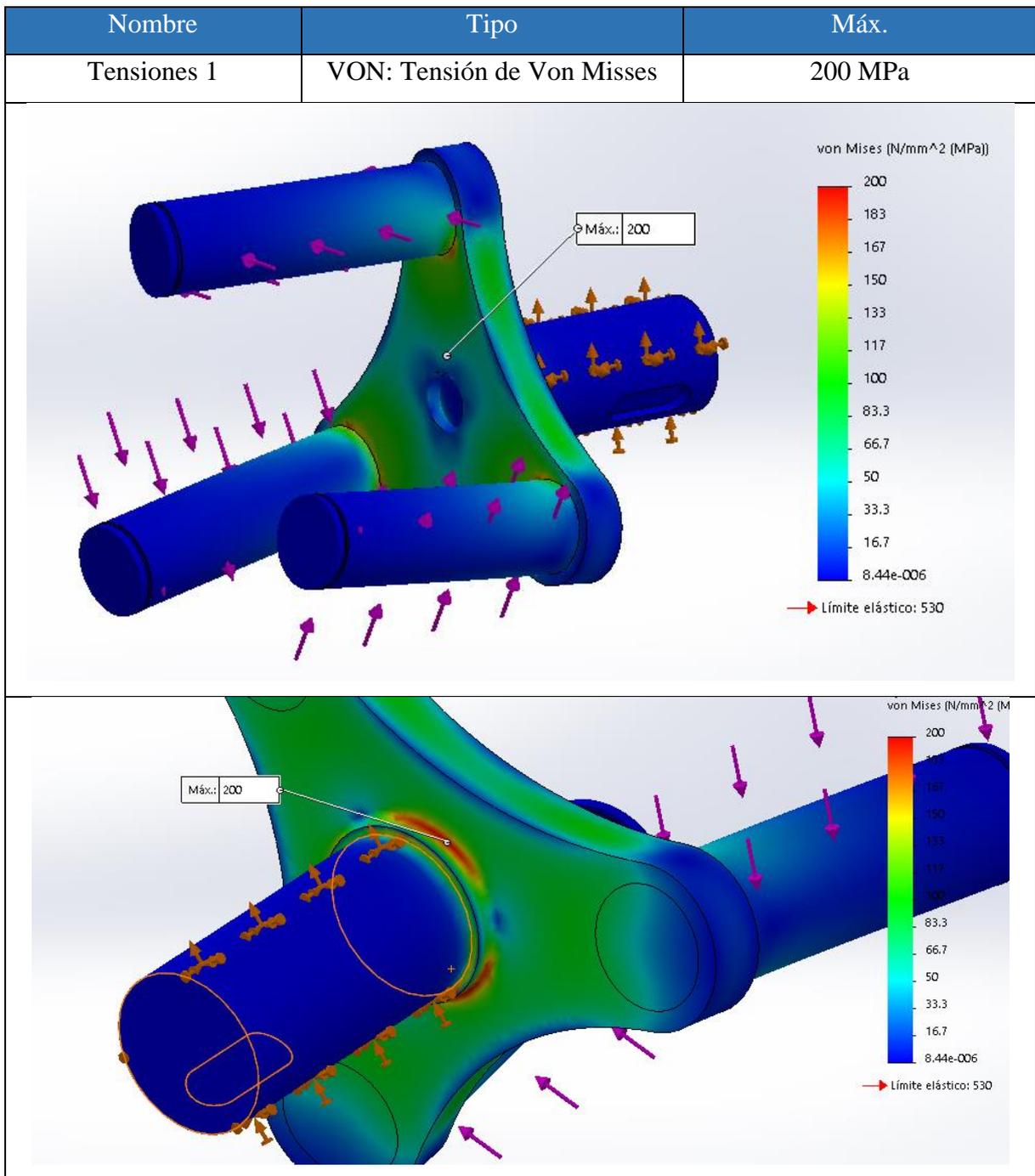


Tabla anexos 40: Resultados tensiones soporte satélites (Etapa 2).

En la imagen de arriba se puede ver donde se encuentran las tensiones máximas en el componente al estar sometido a las cargas y restricciones establecidas anteriormente. Teniendo que la tensión del límite elástico es de 530 MPa y en este estudio se ha obtenido un valor máximo de 200 MPa, el coeficiente de seguridad es de 2.65, por lo que el diseño es válido, ya que el límite elástico está muy por encima del valor máximo del estudio.

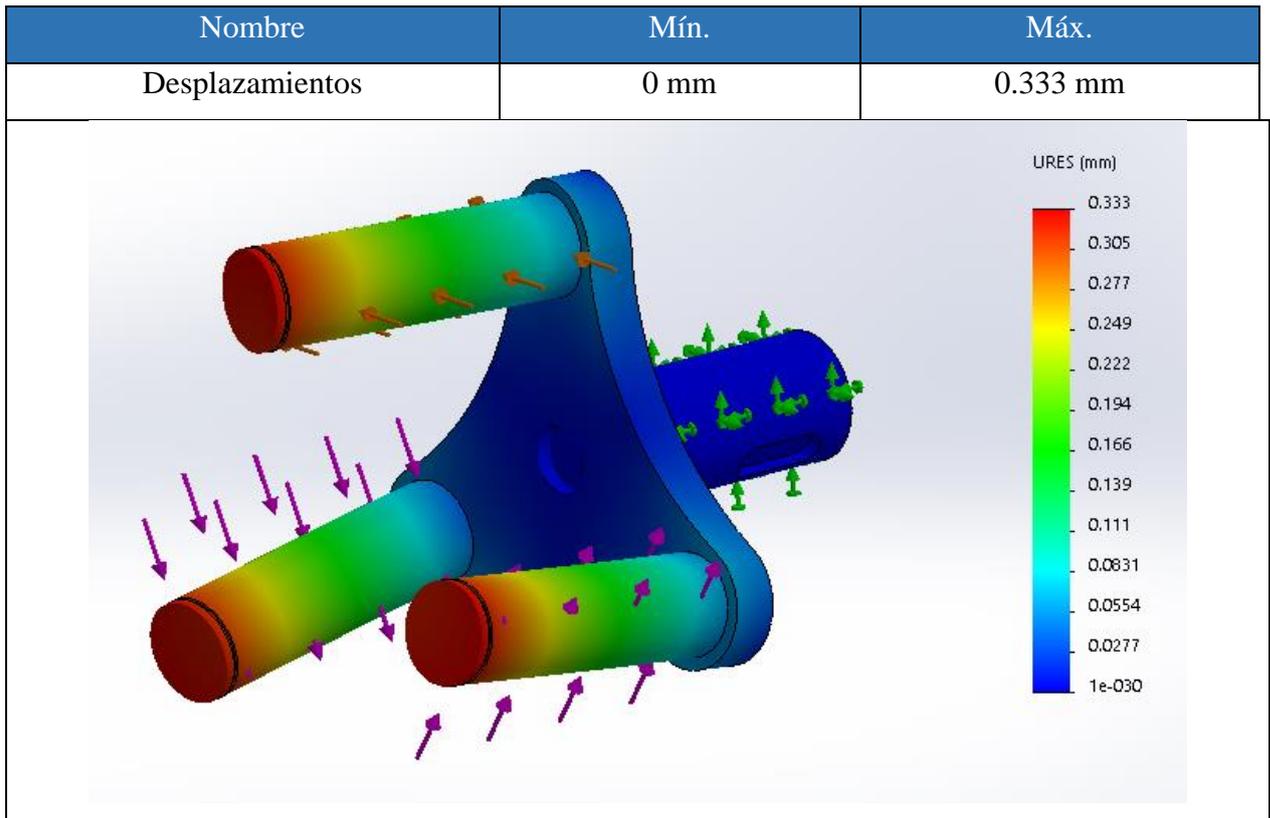


Tabla anexos 41: Resultados desplazamientos soporte satélites (Etapa 2).

El desplazamiento que tendrá este componente, especialmente los ejes de los satélites, es de 33 centésimas de milímetro, un valor muy pequeño. Y dado que las tensiones no sobrepasan el límite elástico, no son deformaciones permanentes.

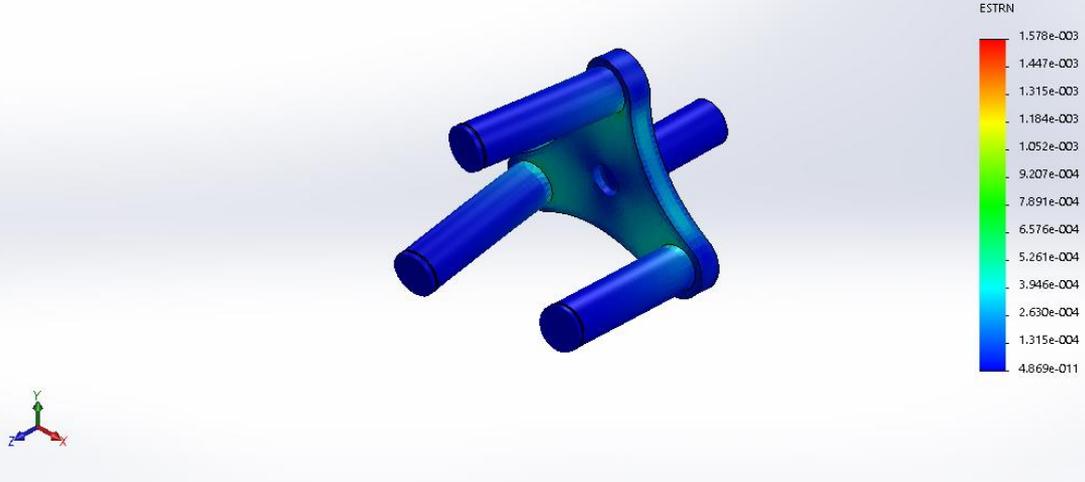
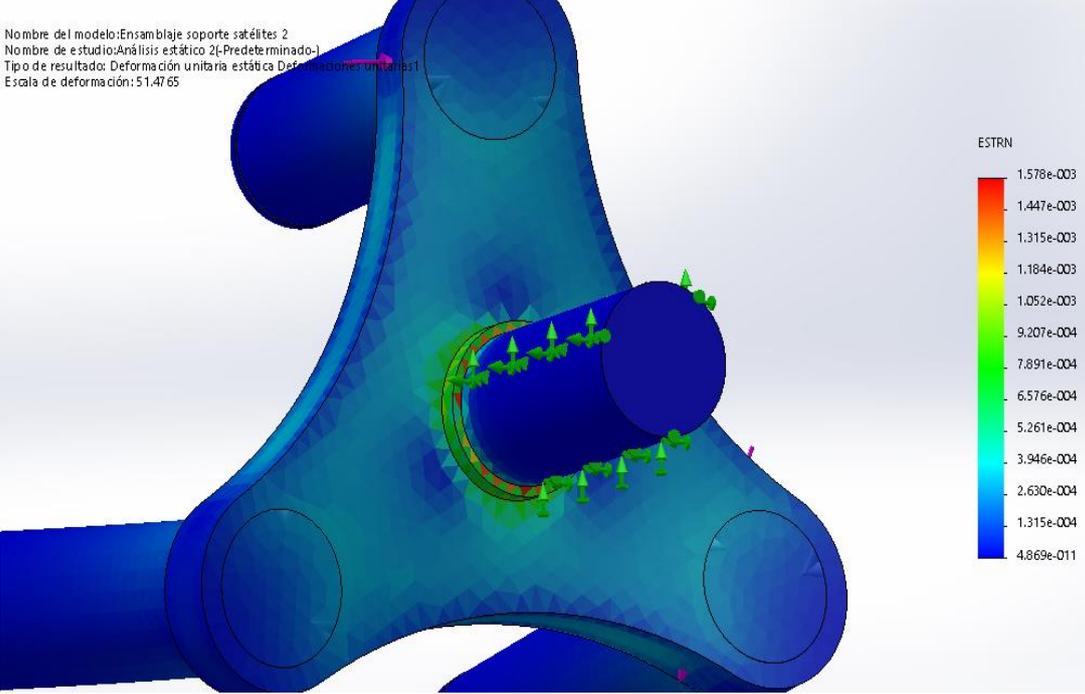
| Nombre  | Máx.    |
|---|---------|
| Deformaciones unitarias   | 0.00158 |
| <p>           Nombre de l modelo:Ensamblaje soporte satélites 2<br/>           Nombre de estudio:Análisis estático 2(-Predeterminado-)<br/>           Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1<br/>           Escala de deformación: 51.4765         </p>   |         |
| <p>           Nombre de l modelo:Ensamblaje soporte satélites 2<br/>           Nombre de estudio:Análisis estático 2(-Predeterminado-)<br/>           Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1<br/>           Escala de deformación: 51.4765         </p>  |         |

Tabla anexos 42: Resultados deformaciones soporte satélites (Etapa 2).

#### 4. Selección de rodamientos.

Una vez calculados los diámetros mínimos y dimensionados los ejes se procede a seleccionar los rodamientos. Para ello, se calcula la carga dinámica para cada rodamiento. En función a la carga dinámica y el diámetro del eje en el que asentará el rodamiento, se procede a seleccionar el rodamiento en el catálogo del fabricante.

| Eje entrada         |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Designación SKF     | 6302                       |
| Confiabilidad       | 90%                        |
| Diámetro interno    | 15 mm                      |
| Diámetro externo    | 42 mm                      |
| Nº bolas            | 8                          |
| Diámetro bola       | 8.1 mm                     |
| Capacidad calculada | 12820.72 N                 |
| Carga de trabajo    | 1029.79 N                  |
|                     |                            |
| Vida                | $1929.71 \times 10^6$ revs |
| Velocidad           | 1800 rpm                   |
| Vida en horas       | 17867.66 h                 |

Tabla anexos 43: Cálculo rodamiento eje de entrada.

Si se considera que la reductora trabajará un turno de 8 horas al día durante los 5 días laborales de la semana, es decir, de lunes a viernes, se tiene que la vida del rodamiento será de 9 años aproximadamente, por lo que en este caso se recomienda su sustitución a los 9 años.

Si por el contrario, se tiene el caso más extremo en el que la reductora estará en servicio las 24 horas del día durante los 365 días del año, la vida del rodamiento se ve reducida a 2 años aproximadamente, por lo que en este caso su sustitución debe realizarse cada 2 años.

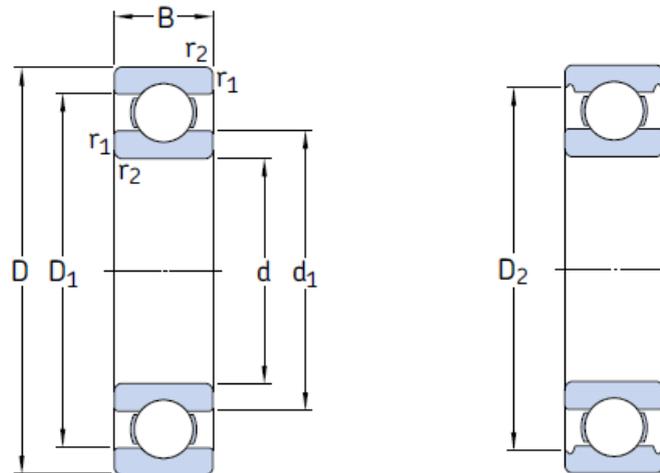
| Eje salida          |                           |
|---------------------|---------------------------|
| Designación SKF     | 6208                      |
| Confiabilidad       | 90%                       |
| Diámetro interno    | 40 mm                     |
| Diámetro externo    | 80 mm                     |
| Nº bolas            | 12                        |
| Diámetro bola       | 12 mm                     |
| Capacidad calculada | 35756.14 N                |
| Carga de trabajo    | 6169.78 N                 |
|                     |                           |
| Vida                | $194.64 \times 10^6$ revs |
| Velocidad           | 150 rpm                   |
| Vida en horas       | 21627.2 h                 |

Tabla anexos 44: Cálculo rodamiento eje de salida.

Si se considera que la reductora trabajará un turno de 8 horas al día durante los 5 días laborales de la semana, es decir, de lunes a viernes, se tiene que la vida del rodamiento será de 11 años aproximadamente, por lo que en este caso se recomienda su sustitución a los 11 años.

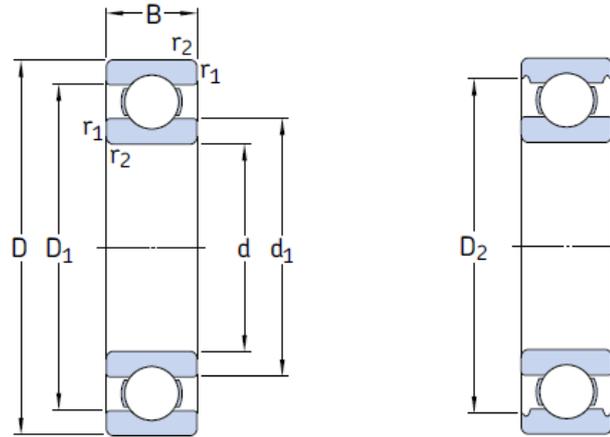
Si por el contrario, se tiene el caso más extremo en el que la reductora estará en servicio las 24 horas del día durante los 365 días del año, la vida del rodamiento se ve reducida a 2 años aproximadamente, por lo que en este caso su sustitución debe realizarse cada 2 años.

A continuación se muestra las características de los rodamientos elegidos para el eje de entrada y para el eje de salida:



| Principal dimensions |    |    | Basic load ratings |        | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass   | Designation |
|----------------------|----|----|--------------------|--------|--------------------|-----------------|----------------|--------|-------------|
| d                    | D  | B  | dynamic            | static | $P_u$              | Reference speed | Limiting speed |        |             |
| mm                   |    |    | kN                 |        | kN                 | r/min           |                | kg     | -           |
| 12                   | 21 | 5  | 1,74               | 0,915  | 0,039              | 70 000          | 43 000         | 0,0063 | 61801       |
|                      | 24 | 6  | 2,91               | 1,46   | 0,062              | 67 000          | 40 000         | 0,011  | 61901       |
|                      | 28 | 8  | 5,4                | 2,36   | 0,1                | 60 000          | 38 000         | 0,021  | * 6001      |
|                      | 30 | 8  | 5,07               | 2,36   | 0,1                | 60 000          | 38 000         | 0,026  | 16101       |
|                      | 32 | 10 | 7,28               | 3,1    | 0,132              | 50 000          | 32 000         | 0,037  | * 6201      |
|                      | 37 | 12 | 10,1               | 4,15   | 0,176              | 45 000          | 28 000         | 0,06   | * 6301      |
| 15                   | 24 | 5  | 1,9                | 1,1    | 0,048              | 60 000          | 38 000         | 0,0065 | 61802       |
|                      | 28 | 7  | 4,36               | 2,24   | 0,095              | 56 000          | 34 000         | 0,016  | 61902       |
|                      | 32 | 8  | 5,85               | 2,85   | 0,12               | 50 000          | 32 000         | 0,03   | * 16002     |
|                      | 32 | 9  | 5,85               | 2,85   | 0,12               | 50 000          | 32 000         | 0,03   | * 6002      |
|                      | 35 | 11 | 8,06               | 3,75   | 0,16               | 43 000          | 28 000         | 0,045  | * 6202      |
|                      | 42 | 13 | 11,9               | 5,4    | 0,228              | 38 000          | 24 000         | 0,082  | * 6302      |

Tabla anexos 45: Características rodamiento eje de entrada.



| Principal dimensions |     |    | Basic load ratings |                | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass  | Designation      |
|----------------------|-----|----|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|----------------|-------|------------------|
| d                    | D   | B  | dynamic            | static         |                    | Reference speed | Limiting speed |       |                  |
|                      |     |    | C                  | C <sub>0</sub> | P <sub>u</sub>     |                 |                |       |                  |
| mm                   |     |    | kN                 |                | kN                 | r/min           | kg             |       | -                |
| 40                   | 52  | 7  | 4,49               | 3,75           | 0,16               | 26 000          | 16 000         | 0,032 | <b>61808</b>     |
|                      | 62  | 12 | 13,8               | 10             | 0,425              | 24 000          | 14 000         | 0,12  | <b>61908</b>     |
|                      | 68  | 9  | 13,8               | 10,2           | 0,44               | 22 000          | 14 000         | 0,13  | * <b>16008</b>   |
|                      | 68  | 15 | 17,8               | 11             | 0,49               | 22 000          | 14 000         | 0,19  | * <b>6008</b>    |
|                      | 80  | 18 | 32,5               | 19             | 0,8                | 18 000          | 11 000         | 0,37  | * <b>6208</b>    |
|                      | 80  | 18 | 35,8               | 20,8           | 0,88               | 18 000          | 11 000         | 0,34  | <b>6208 ETN9</b> |
|                      | 90  | 23 | 42,3               | 24             | 1,02               | 17 000          | 11 000         | 0,63  | * <b>6308</b>    |
|                      | 110 | 27 | 63,7               | 36,5           | 1,53               | 14 000          | 9 000          | 1,25  | <b>6408</b>      |

Tabla anexos 46: Características rodamiento eje de salida.

## 5. Selección y dimensionado de chavetas.

A continuación se procede a calcular la longitud mínima de las chavetas, para de esta forma poderlas seleccionar adecuadamente del catálogo de un fabricante. En este caso, las chavetas cumplen con la norma DIN 6885.

| Engranaje Sol entrada                  |        |
|--|--------|
| Material                               | F114   |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00 |
| N (coef. Seg. estimado)                | 3,00   |
| Lmín (mm)                              | 6,41   |
| L chaveta (mm)                         | 28     |
| N (coef. Seg. Real)                    | 13,11  |
| Dimensiones (mm)                       | 5x5x28 |

Tabla anexos 47: Cálculo y dimensionado de chaveta de engranaje sol (Etapa 1).

| Entrada reductora                      |        |
|--|--------|
| Material                               | F114   |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00 |
| N (coef. Seg. estimado)                | 3,00   |
| Lmín (mm)                              | 6,41   |
| L chaveta (mm)                         | 20     |
| N (coef. Seg. Real)                    | 9,37   |
| Dimensiones (mm)                       | 5x5x20 |

Tabla anexos 48: Cálculo y dimensionado de chaveta entrada reductora.

| Engranaje Sol 2ª Etapa                 |        |
|--|--------|
| Material                               | F114   |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00 |
| N (coef. Seg. estimado)                | 3,00   |
| Lmín (mm)                              | 16,63  |
| L chaveta (mm)                         | 50     |
| N (coef. Seg. Real)                    | 9,02   |
| Dimensiones (mm)                       | 6x6x50 |

Tabla anexos 49: Cálculo y dimensionado de chaveta engranaje sol 2ª etapa.

| Salida reductora                       |         |
|--|---------|
| Material                               | F114    |
| Resistencia a la fluencia (0,2%) (Mpa) | 530,00  |
| N (coef. Seg. estimado)                | 3,00    |
| Lmín (mm)                              | 28,79   |
| L chaveta (mm)                         | 32      |
| N (coef. Seg. Real)                    | 3,34    |
| Dimensiones (mm)                       | 12x8x32 |

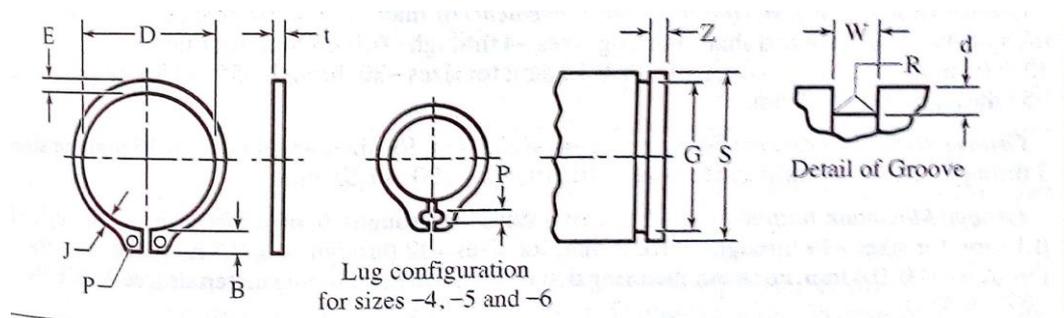
Tabla anexos 50: Cálculo y dimensionado de chaveta salida reductora.

## 6. Selección de anillos de retención.

Como los anillos de retención están situados en los ejes de los planetas y no soportan carga axial significativa, se procede a su selección del mismo en función del diámetro del eje. De tal forma, la colocación de estos anillos de retención requiere una separación desde la ranura del anillo hasta el borde del eje, factor que se ha tenido en cuenta para dimensionar el largo de estos ejes.

### 6.1. Anillo retención ejes planetarios (Etapa 1).

Dado que el eje de los satélites de la etapa 1 es de 15,00 mm, se procede a seleccionar el anillo de retención más adecuado en función del diámetro a partir de la siguiente tabla tal y como se comentó en el apartado correspondiente de la memoria:

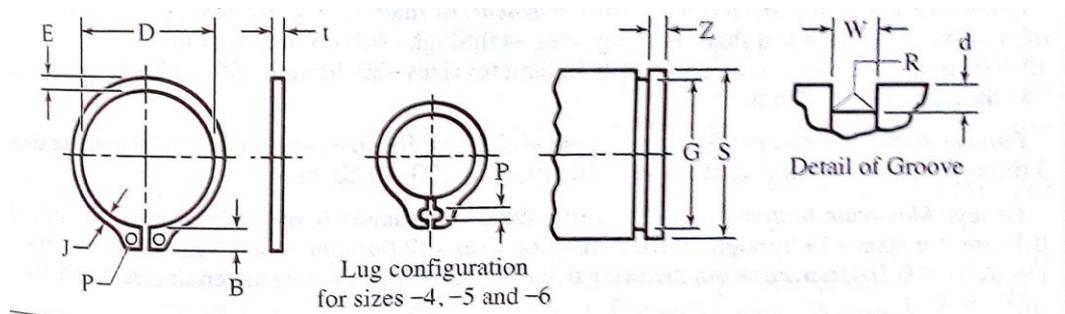


| Shaft Dia. | Ring      |            | Groove   |          |              |              | Shaft Diam | Ring      |            | Groove   |          |              |              |
|------------|-----------|------------|----------|----------|--------------|--------------|------------|-----------|------------|----------|----------|--------------|--------------|
|            | Free Dia. | Thick ness | Dia.     | Width    | Depth        | Edge Margin  |            | Free Dia. | Thick ness | Dia.     | Width    | Depth        | Edge Margin  |
| <i>S</i>   | <i>D</i>  | <i>t</i>   | <i>G</i> | <i>W</i> | <i>d</i> ref | <i>Z</i> min | <i>S</i>   | <i>D</i>  | <i>t</i>   | <i>G</i> | <i>W</i> | <i>d</i> ref | <i>Z</i> min |
| 4          | 3.60      | 0.25       | 3.80     | 0.32     | 0.1          | 0.3          | 36         | 33.25     | 1.3        | 33.85    | 1.4      | 1.06         | 3.2          |
| 5          | 4.55      | 0.4        | 4.75     | 0.5      | 0.13         | 0.4          | 38         | 35.20     | 1.3        | 35.8     | 1.4      | 1.10         | 3.3          |
| 6          | 5.45      | 0.4        | 5.70     | 0.5      | 0.15         | 0.5          | 40         | 36.75     | 1.6        | 37.7     | 1.75     | 1.15         | 3.4          |
| 7          | 6.35      | 0.6        | 6.60     | 0.7      | 0.20         | 0.6          | 42         | 38.80     | 1.6        | 39.6     | 1.75     | 1.20         | 3.6          |
| 8          | 7.15      | 0.6        | 7.50     | 0.7      | 0.25         | 0.8          | 43         | 39.65     | 1.6        | 40.5     | 1.75     | 1.25         | 3.8          |
| 9          | 8.15      | 0.6        | 8.45     | 0.7      | 0.28         | 0.8          | 45         | 41.60     | 1.6        | 42.4     | 1.75     | 1.30         | 3.9          |
| 10         | 9.00      | 0.6        | 9.40     | 0.7      | 0.30         | 0.9          | 46         | 42.55     | 1.6        | 43.3     | 1.75     | 1.35         | 4.0          |
| 11         | 10.00     | 0.6        | 10.35    | 0.7      | 0.33         | 1.0          | 48         | 44.40     | 1.6        | 45.2     | 1.75     | 1.40         | 4.2          |
| 12         | 10.85     | 0.6        | 11.35    | 0.7      | 0.33         | 1.0          | 50         | 46.20     | 1.6        | 47.2     | 1.75     | 1.40         | 4.2          |
| 13         | 11.90     | 0.9        | 12.30    | 1.0      | 0.35         | 1.0          | 52         | 48.40     | 2.0        | 49.1     | 2.15     | 1.45         | 4.3          |
| 14         | 12.90     | 0.9        | 13.25    | 1.0      | 0.38         | 1.2          | 54         | 49.9      | 2.0        | 51.0     | 2.15     | 1.50         | 4.5          |
| 15         | 13.80     | 0.9        | 14.15    | 1.0      | 0.43         | 1.3          | 55         | 50.6      | 2.0        | 51.8     | 2.15     | 1.60         | 4.8          |
| 16         | 14.70     | 0.9        | 15.10    | 1.0      | 0.45         | 1.4          | 57         | 52.9      | 2.0        | 53.8     | 2.15     | 1.60         | 4.8          |
| 17         | 15.75     | 0.9        | 16.10    | 1.0      | 0.45         | 1.4          | 58         | 53.6      | 2.0        | 54.7     | 2.15     | 1.65         | 4.9          |
| 18         | 16.65     | 1.1        | 17.00    | 1.2      | 0.50         | 1.5          | 60         | 55.8      | 2.0        | 56.7     | 2.15     | 1.65         | 4.9          |
| 19         | 17.60     | 1.1        | 17.95    | 1.2      | 0.53         | 1.6          | 62         | 57.3      | 2.0        | 58.6     | 2.15     | 1.70         | 5.1          |
| 20         | 18.35     | 1.1        | 18.85    | 1.2      | 0.58         | 1.7          | 65         | 60.4      | 2.0        | 61.6     | 2.15     | 1.70         | 5.1          |
| 21         | 19.40     | 1.1        | 19.80    | 1.2      | 0.60         | 1.8          | 68         | 63.1      | 2.0        | 64.5     | 2.15     | 1.75         | 5.3          |
| 22         | 20.30     | 1.1        | 20.70    | 1.2      | 0.65         | 1.9          | 70         | 64.6      | 2.4        | 66.4     | 2.55     | 1.80         | 5.4          |
| 23         | 21.25     | 1.1        | 21.65    | 1.2      | 0.67         | 2.0          | 72         | 66.6      | 2.4        | 68.3     | 2.55     | 1.85         | 5.5          |
| 24         | 22.20     | 1.1        | 22.60    | 1.2      | 0.70         | 2.1          | 75         | 69.0      | 2.4        | 71.2     | 2.55     | 1.90         | 5.7          |
| 25         | 23.10     | 1.1        | 23.50    | 1.2      | 0.75         | 2.3          | 78         | 72.0      | 2.4        | 74.0     | 2.55     | 2.00         | 6.0          |
| 26         | 24.05     | 1.1        | 24.50    | 1.2      | 0.75         | 2.3          | 80         | 74.2      | 2.4        | 75.9     | 2.55     | 2.05         | 6.1          |
| 27         | 24.95     | 1.3        | 25.45    | 1.4      | 0.78         | 2.3          | 82         | 76.4      | 2.4        | 77.8     | 2.55     | 2.10         | 6.3          |
| 28         | 25.80     | 1.3        | 26.40    | 1.4      | 0.80         | 2.4          | 85         | 78.6      | 2.4        | 80.6     | 2.55     | 2.20         | 6.6          |
| 30         | 27.90     | 1.3        | 28.35    | 1.4      | 0.83         | 2.5          | 88         | 81.4      | 2.8        | 83.5     | 2.95     | 2.25         | 6.7          |
| 32         | 29.60     | 1.3        | 30.20    | 1.4      | 0.90         | 2.7          | 90         | 83.2      | 2.8        | 85.4     | 2.95     | 2.30         | 6.9          |
| 34         | 31.40     | 1.3        | 32.00    | 1.4      | 1.00         | 3.0          | 95         | 88.1      | 2.8        | 90.2     | 2.95     | 2.40         | 7.2          |
| 35         | 32.30     | 1.3        | 32.90    | 1.4      | 1.05         | 3.1          | 100        | 92.5      | 2.8        | 95.0     | 2.95     | 2.50         | 7.5          |

Tabla anexos 51: Anillo de retención para exteriores según ASME B27.7-1977 para eje de 15mm.

### 6.2. Anillo retención ejes planetarios (Etapa 2).

Dado que el eje de los satélites de la etapa 2 es de 32,00 mm, se procede a seleccionar el anillo de retención más adecuado en función del diámetro a partir de la siguiente tabla:



| Shaft Dia. | Ring      |           | Groove |       |       |             | Shaft Diam | Ring      |           | Groove |       |       |             |
|------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------------|------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------------|
|            | Free Dia. | Thickness | Dia.   | Width | Depth | Edge Margin |            | Free Dia. | Thickness | Dia.   | Width | Depth | Edge Margin |
| S          | D         | t         | G      | W     | d ref | Z min       | S          | D         | t         | G      | W     | d ref | Z min       |
| 4          | 3.60      | 0.25      | 3.80   | 0.32  | 0.1   | 0.3         | 36         | 33.25     | 1.3       | 33.85  | 1.4   | 1.06  | 3.2         |
| 5          | 4.55      | 0.4       | 4.75   | 0.5   | 0.13  | 0.4         | 38         | 35.20     | 1.3       | 35.8   | 1.4   | 1.10  | 3.3         |
| 6          | 5.45      | 0.4       | 5.70   | 0.5   | 0.15  | 0.5         | 40         | 36.75     | 1.6       | 37.7   | 1.75  | 1.15  | 3.4         |
| 7          | 6.35      | 0.6       | 6.60   | 0.7   | 0.20  | 0.6         | 42         | 38.80     | 1.6       | 39.6   | 1.75  | 1.20  | 3.6         |
| 8          | 7.15      | 0.6       | 7.50   | 0.7   | 0.25  | 0.8         | 43         | 39.65     | 1.6       | 40.5   | 1.75  | 1.25  | 3.8         |
| 9          | 8.15      | 0.6       | 8.45   | 0.7   | 0.28  | 0.8         | 45         | 41.60     | 1.6       | 42.4   | 1.75  | 1.30  | 3.9         |
| 10         | 9.00      | 0.6       | 9.40   | 0.7   | 0.30  | 0.9         | 46         | 42.55     | 1.6       | 43.3   | 1.75  | 1.35  | 4.0         |
| 11         | 10.00     | 0.6       | 10.35  | 0.7   | 0.33  | 1.0         | 48         | 44.40     | 1.6       | 45.2   | 1.75  | 1.40  | 4.2         |
| 12         | 10.85     | 0.6       | 11.35  | 0.7   | 0.33  | 1.0         | 50         | 46.20     | 1.6       | 47.2   | 1.75  | 1.40  | 4.2         |
| 13         | 11.90     | 0.9       | 12.30  | 1.0   | 0.35  | 1.0         | 52         | 48.40     | 2.0       | 49.1   | 2.15  | 1.45  | 4.3         |
| 14         | 12.90     | 0.9       | 13.25  | 1.0   | 0.38  | 1.2         | 54         | 49.9      | 2.0       | 51.0   | 2.15  | 1.50  | 4.5         |
| 15         | 13.80     | 0.9       | 14.15  | 1.0   | 0.43  | 1.3         | 55         | 50.6      | 2.0       | 51.8   | 2.15  | 1.60  | 4.8         |
| 16         | 14.70     | 0.9       | 15.10  | 1.0   | 0.45  | 1.4         | 57         | 52.9      | 2.0       | 53.8   | 2.15  | 1.60  | 4.8         |
| 17         | 15.75     | 0.9       | 16.10  | 1.0   | 0.45  | 1.4         | 58         | 53.6      | 2.0       | 54.7   | 2.15  | 1.65  | 4.9         |
| 18         | 16.65     | 1.1       | 17.00  | 1.2   | 0.50  | 1.5         | 60         | 55.8      | 2.0       | 56.7   | 2.15  | 1.65  | 4.9         |
| 19         | 17.60     | 1.1       | 17.95  | 1.2   | 0.53  | 1.6         | 62         | 57.3      | 2.0       | 58.6   | 2.15  | 1.70  | 5.1         |
| 20         | 18.35     | 1.1       | 18.85  | 1.2   | 0.58  | 1.7         | 65         | 60.4      | 2.0       | 61.6   | 2.15  | 1.70  | 5.1         |
| 21         | 19.40     | 1.1       | 19.80  | 1.2   | 0.60  | 1.8         | 68         | 63.1      | 2.0       | 64.5   | 2.15  | 1.75  | 5.3         |
| 22         | 20.30     | 1.1       | 20.70  | 1.2   | 0.65  | 1.9         | 70         | 64.6      | 2.4       | 66.4   | 2.55  | 1.80  | 5.4         |
| 23         | 21.25     | 1.1       | 21.65  | 1.2   | 0.67  | 2.0         | 72         | 66.6      | 2.4       | 68.3   | 2.55  | 1.85  | 5.5         |
| 24         | 22.20     | 1.1       | 22.60  | 1.2   | 0.70  | 2.1         | 75         | 69.0      | 2.4       | 71.2   | 2.55  | 1.90  | 5.7         |
| 25         | 23.10     | 1.1       | 23.50  | 1.2   | 0.75  | 2.3         | 78         | 72.0      | 2.4       | 74.0   | 2.55  | 2.00  | 6.0         |
| 26         | 24.05     | 1.1       | 24.50  | 1.2   | 0.75  | 2.3         | 80         | 74.2      | 2.4       | 75.9   | 2.55  | 2.05  | 6.1         |
| 27         | 24.95     | 1.3       | 25.45  | 1.4   | 0.78  | 2.3         | 82         | 76.4      | 2.4       | 77.8   | 2.55  | 2.10  | 6.3         |
| 28         | 25.80     | 1.3       | 26.40  | 1.4   | 0.80  | 2.4         | 85         | 78.6      | 2.4       | 80.6   | 2.55  | 2.20  | 6.6         |
| 30         | 27.90     | 1.3       | 28.35  | 1.4   | 0.83  | 2.5         | 88         | 81.4      | 2.8       | 83.5   | 2.95  | 2.25  | 6.7         |
| 32         | 29.60     | 1.3       | 30.20  | 1.4   | 0.90  | 2.7         | 90         | 83.2      | 2.8       | 85.4   | 2.95  | 2.30  | 6.9         |
| 34         | 31.30     | 1.3       | 32.00  | 1.4   | 1.00  | 3.0         | 95         | 88.1      | 2.8       | 90.2   | 2.95  | 2.40  | 7.2         |
| 35         | 32.30     | 1.3       | 32.90  | 1.4   | 1.05  | 3.1         | 100        | 92.5      | 2.8       | 95.0   | 2.95  | 2.50  | 7.5         |

Tabla anexos 52: Anillo de retención para exteriores según ASME B27.7-1977 para eje de 30 mm.

## 7. Selección de sellos y juntas.

La selección de los retenes/sellos radiales para los ejes de entrada y salida se realizará a partir del diámetro del eje. Estos retenes deben cumplir con la norma DIN3760, la cual también especifica que el acabado superficial del eje debe estar comprendido entre 1 µm y 4 µm. Para el acabado superficial del eje se escogerá un valor intermedio de 2 µm. El catálogo del que se escogerán estos dos retenes pertenece a la empresa “Trelleborg Sealing Solutions”, del cual, se obtiene la siguiente información:

| Lugar utilización | Diámetro eje | Diámetro exterior | Espesor | Referencia fabricante | Material |
|-------------------|--------------|-------------------|---------|-----------------------|----------|
| Eje entrada       | 15 mm        | 26 mm             | 7 mm    | TRAA00150             | NBR      |
| Eje salida        | 40 mm        | 55 mm             | 7 mm    | TRAB00400             | NBR      |

Tabla anexos 53: Selección retenes ejes de entrada y salida.



## Diseño de una caja reductora con embrague de protección con sobrepotencia.

| Technical Data                |             |           |       | Size    |         |          |           |           |            |            |
|-------------------------------|-------------|-----------|-------|---------|---------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
|                               |             |           |       | 0       | 01      | 1        | 2         | 3         | 4          | 5          |
| Limit torque for overload     | Type 135.11 | $M_G$     | [Nm]  | 2 – 10  | 6 – 30  | 14 – 70  | 26 – 130  | 50 – 250  | 110 – 550  | 140 – 700  |
|                               | Type 135.21 | $M_G$     | [Nm]  | 10 – 20 | 30 – 60 | 70 – 130 | 130 – 250 | 250 – 550 | 550 – 1100 | 700 – 1400 |
| Operating speed <sup>1)</sup> |             | $n_{max}$ | [rpm] | 7000    | 6500    | 5600     | 4300      | 3300      | 2700       | 2200       |
| Weight (pilot bored)          |             |           | [kg]  | 1,3     | 3,0     | 3,2      | 6,5       | 10,1      | 19,5       | 23,4       |
| Permitted misalignments       | axial       | x         | [mm]  | ± 1,0   | ± 1,0   | ± 1,0    | ± 1,0     | ± 1,0     | ± 1,0      | ± 1,0      |
|                               | radial      | y         | [mm]  | 0,5     | 0,5     | 0,5      | 0,5       | 0,5       | 0,5        | 0,5        |
|                               | angular     | $\alpha$  | [°]   | 0,5     | 0,5     | 0,5      | 0,5       | 0,5       | 1,0        | 1,0        |

| Dim. [mm] | D   | D <sub>6</sub> | D <sub>7</sub> | d <sub>min</sub> <sup>H7</sup> | d <sub>max</sub> <sup>H7</sup> | d <sub>4min</sub> <sup>H7</sup> | d <sub>4max</sub> <sup>H7</sup> | E <sub>3</sub> | G             | H   | h | k                 | L  | L <sub>7</sub> | L <sub>12</sub> | I <sub>3</sub> | I <sub>4</sub> | N <sub>4</sub>    | S <sub>2</sub> | u   | v                 |
|-----------|-----|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------|-----|---|-------------------|----|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-----|-------------------|
| 0         | 45  | 80             | 80             | 7                              | 20 <sup>2)</sup>               | 11                              | 30                              | 23             | M4            | 37  | 3 | - <sup>7)</sup>   | 33 | 66             | 48              | 14             | 30             | 50 <sub>h11</sub> | 4              | 37  | 2 <sup>7)</sup>   |
| 01        | 58  | 105            | 105            | 12                             | 22                             | 11                              | 42                              | 32             | <sup>3)</sup> | 46  | 5 | - <sup>7)</sup>   | 45 | 91             | 68              | 22             | 42             | 65 <sub>h11</sub> | 4              | 46  | 2,5 <sup>7)</sup> |
| 1         | 68  | 105            | 105            | 12                             | 25                             | 11                              | 42                              | 32             | <sup>4)</sup> | 50  | 5 | 1,3 <sup>7)</sup> | 52 | 98             | 69              | 23             | 42             | 65 <sub>h11</sub> | 4              | 50  | 3 <sup>7)</sup>   |
| 2         | 88  | 135            | 135            | 15                             | 35                             | 13                              | 60                              | 36             | <sup>5)</sup> | 67  | 6 | 3                 | 57 | 116            | 86              | 27             | 55             | 85 <sub>h11</sub> | 4              | 67  | 10                |
| 3         | 115 | 160            | 160            | 19                             | 45                             | 25                              | 60                              | 38             | <sup>6)</sup> | 84  | 6 | 5,3               | 68 | 129            | 92              | 31             | 55             | 90                | 6              | 84  | 13                |
| 4         | 140 | 198            | 198            | 25                             | 55                             | 30                              | 75                              | 47             | M8            | 104 | 7 | 5,3               | 78 | 166            | 121             | 33             | 82             | 115               | 6              | 97  | 13                |
| 5         | 170 | 198            | 208            | 30                             | 65                             | 50                              | 75                              | 47             | M8            | 125 | 8 | 5,3               | 92 | 180            | 127             | 39             | 82             | 115               | 6              | 109 | 13                |

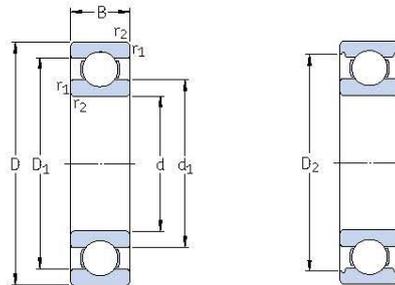
*Tabla anexos 55: Selección embrague.*

## 9. Anexo de catálogos.

A continuación se muestran los extractos de los catálogos utilizados en el diseño de la caja reductora con embrague de sobrepotencia.

## 9.1. Catálogo de rodamientos.

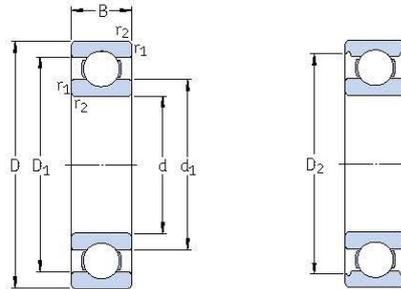
### 1.1 Single row deep groove ball bearings d 12 – 22 mm



| Principal dimensions |    |    | Basic load ratings |                | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass   | Designation      |
|----------------------|----|----|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|----------------|--------|------------------|
| d                    | D  | B  | C                  | C <sub>0</sub> |                    | Reference speed | Limiting speed |        |                  |
| mm                   |    |    | kN                 |                | kN                 | r/min           | kg             | -      |                  |
| <b>12</b>            | 21 | 5  | 1,74               | 0,915          | 0,039              | 70 000          | 43 000         | 0,0063 | <b>61801</b>     |
|                      | 24 | 6  | 2,91               | 1,46           | 0,062              | 67 000          | 40 000         | 0,011  | <b>61901</b>     |
|                      | 28 | 8  | 5,4                | 2,36           | 0,1                | 60 000          | 38 000         | 0,021  | * <b>6001</b>    |
|                      | 30 | 8  | 5,07               | 2,36           | 0,1                | 60 000          | 38 000         | 0,026  | <b>16101</b>     |
|                      | 32 | 10 | 7,28               | 3,1            | 0,132              | 50 000          | 32 000         | 0,037  | * <b>6201</b>    |
|                      | 37 | 12 | 10,1               | 4,15           | 0,176              | 45 000          | 28 000         | 0,06   | * <b>6301</b>    |
| <b>15</b>            | 24 | 5  | 1,9                | 1,1            | 0,048              | 60 000          | 38 000         | 0,0065 | <b>61802</b>     |
|                      | 28 | 7  | 4,36               | 2,24           | 0,095              | 56 000          | 34 000         | 0,016  | <b>61902</b>     |
|                      | 32 | 8  | 5,85               | 2,85           | 0,12               | 50 000          | 32 000         | 0,03   | * <b>16002</b>   |
|                      | 32 | 9  | 5,85               | 2,85           | 0,12               | 50 000          | 32 000         | 0,03   | * <b>6002</b>    |
|                      | 35 | 11 | 8,06               | 3,75           | 0,16               | 43 000          | 28 000         | 0,045  | * <b>6202</b>    |
|                      | 42 | 13 | 11,9               | 5,4            | 0,228              | 38 000          | 24 000         | 0,082  | * <b>6302</b>    |
| <b>17</b>            | 26 | 5  | 2,03               | 1,27           | 0,054              | 56 000          | 34 000         | 0,0075 | <b>61803</b>     |
|                      | 30 | 7  | 4,62               | 2,55           | 0,108              | 50 000          | 32 000         | 0,016  | <b>61903</b>     |
|                      | 35 | 8  | 6,37               | 3,25           | 0,137              | 45 000          | 28 000         | 0,038  | * <b>16003</b>   |
|                      | 35 | 10 | 6,37               | 3,25           | 0,137              | 45 000          | 28 000         | 0,038  | * <b>6003</b>    |
|                      | 40 | 12 | 9,95               | 4,75           | 0,2                | 38 000          | 24 000         | 0,065  | * <b>6203</b>    |
|                      | 40 | 12 | 11,4               | 5,4            | 0,228              | 38 000          | 24 000         | 0,064  | <b>6203 ETN9</b> |
|                      | 47 | 14 | 14,3               | 6,55           | 0,275              | 34 000          | 22 000         | 0,11   | * <b>6303</b>    |
|                      | 62 | 17 | 22,9               | 10,8           | 0,455              | 28 000          | 18 000         | 0,27   | <b>6403</b>      |
| <b>20</b>            | 32 | 7  | 4,03               | 2,32           | 0,104              | 45 000          | 28 000         | 0,018  | <b>61804</b>     |
|                      | 37 | 9  | 6,37               | 3,65           | 0,156              | 43 000          | 26 000         | 0,037  | <b>61904</b>     |
|                      | 42 | 8  | 7,28               | 4,05           | 0,173              | 38 000          | 24 000         | 0,05   | * <b>16004</b>   |
|                      | 42 | 12 | 9,95               | 5              | 0,212              | 38 000          | 24 000         | 0,067  | * <b>6004</b>    |
|                      | 47 | 14 | 13,5               | 6,55           | 0,28               | 32 000          | 20 000         | 0,11   | * <b>6204</b>    |
|                      | 47 | 14 | 15,6               | 7,65           | 0,325              | 32 000          | 20 000         | 0,098  | <b>6204 ETN9</b> |
|                      | 52 | 15 | 16,8               | 7,8            | 0,335              | 30 000          | 19 000         | 0,14   | * <b>6304</b>    |
|                      | 52 | 15 | 18,2               | 9              | 0,38               | 30 000          | 19 000         | 0,14   | <b>6304 ETN9</b> |
|                      | 72 | 19 | 30,7               | 15             | 0,64               | 24 000          | 15 000         | 0,41   | <b>6404</b>      |
| <b>22</b>            | 50 | 14 | 14                 | 7,65           | 0,325              | 30 000          | 19 000         | 0,13   | <b>62/22</b>     |
|                      | 56 | 16 | 18,6               | 9,3            | 0,39               | 28 000          | 18 000         | 0,18   | <b>63/22</b>     |

\* SKF Explorer bearing

**1.1 Single row deep groove ball bearings**  
d 40 – 55 mm



| Principal dimensions | Basic load ratings |        | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass   | Designation |        |           |       |
|----------------------|--------------------|--------|--------------------|-----------------|----------------|--------|-------------|--------|-----------|-------|
|                      | dynamic            | static |                    | Reference speed | Limiting speed |        |             |        |           |       |
| d                    | D                  | B      | C                  | C <sub>0</sub>  | P <sub>u</sub> |        |             |        |           |       |
| mm                   |                    |        | kN                 |                 | kN             | r/min  | kg          | –      |           |       |
| 40                   | 52                 | 7      | 4,49               | 3,75            | 0,16           | 26 000 | 16 000      | 0,032  | 61808     |       |
|                      | 62                 | 12     | 13,8               | 10              | 0,425          | 24 000 | 14 000      | 0,12   | 61908     |       |
|                      | 68                 | 9      | 13,8               | 10,2            | 0,44           | 22 000 | 14 000      | 0,13   | * 16008   |       |
|                      | 68                 | 15     | 17,8               | 11              | 0,49           | 22 000 | 14 000      | 0,19   | * 6008    |       |
|                      | 80                 | 18     | 32,5               | 19              | 0,8            | 18 000 | 11 000      | 0,37   | * 6208    |       |
|                      | 80                 | 18     | 35,8               | 20,8            | 0,88           | 18 000 | 11 000      | 0,34   | 6208 ETN9 |       |
|                      | 90                 | 23     | 42,3               | 24              | 1,02           | 17 000 | 11 000      | 0,63   | * 6308    |       |
|                      | 110                | 27     | 63,7               | 36,5            | 1,53           | 14 000 | 9 000       | 1,25   | 6408      |       |
|                      | 45                 | 58     | 7                  | 6,63            | 6,1            | 0,26   | 22 000      | 14 000 | 0,04      | 61809 |
|                      |                    | 68     | 12                 | 14              | 10,8           | 0,465  | 20 000      | 13 000 | 0,14      | 61909 |
| 75                   |                    | 10     | 16,5               | 10,8            | 0,52           | 20 000 | 12 000      | 0,17   | * 16009   |       |
| 75                   |                    | 16     | 22,1               | 14,6            | 0,64           | 20 000 | 12 000      | 0,24   | * 6009    |       |
| 85                   |                    | 19     | 35,1               | 21,6            | 0,915          | 17 000 | 11 000      | 0,42   | * 6209    |       |
| 100                  |                    | 25     | 55,3               | 31,5            | 1,34           | 15 000 | 9 500       | 0,84   | * 6309    |       |
| 120                  |                    | 29     | 76,1               | 45              | 1,9            | 13 000 | 8 500       | 1,55   | 6409      |       |
| 50                   |                    | 65     | 7                  | 6,76            | 6,8            | 0,285  | 20 000      | 13 000 | 0,052     | 61810 |
|                      | 72                 | 12     | 14,6               | 11,8            | 0,5            | 19 000 | 12 000      | 0,14   | 61910     |       |
|                      | 80                 | 10     | 16,8               | 11,4            | 0,56           | 18 000 | 11 000      | 0,18   | * 16010   |       |
|                      | 80                 | 16     | 22,9               | 16              | 0,71           | 18 000 | 11 000      | 0,26   | * 6010    |       |
|                      | 90                 | 20     | 37,1               | 23,2            | 0,98           | 15 000 | 10 000      | 0,45   | * 6210    |       |
|                      | 110                | 27     | 65                 | 38              | 1,6            | 13 000 | 8 500       | 1,1    | * 6310    |       |
|                      | 130                | 31     | 87,1               | 52              | 2,2            | 12 000 | 7 500       | 1,95   | 6410      |       |
| 55                   | 72                 | 9      | 9,04               | 8,8             | 0,375          | 19 000 | 12 000      | 0,083  | 61811     |       |
|                      | 80                 | 13     | 16,5               | 14              | 0,6            | 17 000 | 11 000      | 0,19   | 61911     |       |
|                      | 90                 | 11     | 20,3               | 14              | 0,695          | 16 000 | 10 000      | 0,27   | * 16011   |       |
|                      | 90                 | 18     | 29,6               | 21,2            | 0,9            | 16 000 | 10 000      | 0,39   | * 6011    |       |
|                      | 100                | 21     | 46,2               | 29              | 1,25           | 14 000 | 9 000       | 0,61   | * 6211    |       |
|                      | 120                | 29     | 74,1               | 45              | 1,9            | 12 000 | 8 000       | 1,35   | * 6311    |       |
|                      | 140                | 33     | 99,5               | 62              | 2,6            | 11 000 | 7 000       | 2,35   | 6411      |       |

\* SKF Explorer bearing

## 9.2. Catálogo de retenes.

### Radial Oil Seal



#### ■ Trelleborg Sealing Solutions type TRA

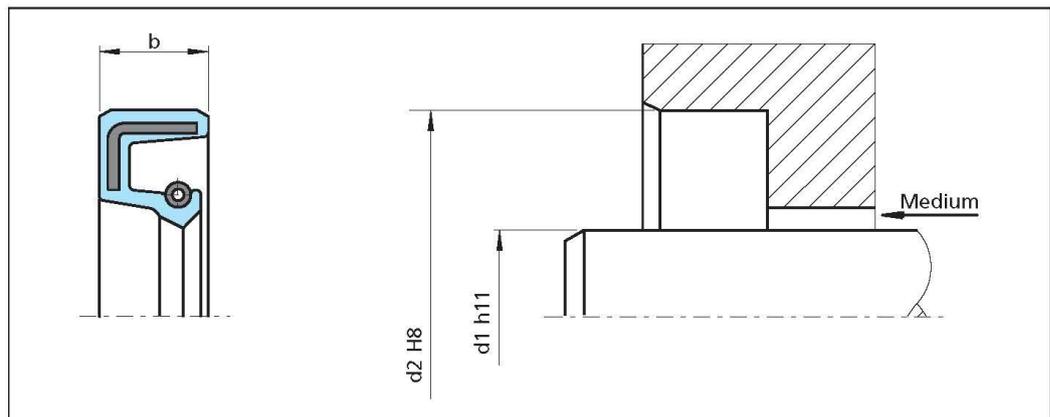


Figure 14 Installation drawing

#### General description

Trelleborg Sealing Solutions type TRA are seals with completely rubber covered outer diameter. Two different O.D design are available: Flat rubber sheath as well as wavy.

This type is not recommended for use in heavily polluted environments.

#### Advantages

- Good static sealing
- Compensation of different thermal expansion
- Reduced risk of fretting corrosion
- Higher bore surface roughness is allowed
- Installation in split-housings
- Modern lip design provides low radial forces

#### Application examples

- Transmission systems (e.g. gearboxes)
- Pumps
- Electrical motors
- Machine tools

#### Technical data

- |              |   |
|--------------|---|
| Pressure:    | up to 0.05 MPa  |
| Temperature: | -40°C to +200°C<br>(depending on material)                |
| Speed:       | up to 30m/s<br>(depending on material)                    |
| Media:       | mineral and synthetic lubricants<br>(CLP, HLP, APGL etc.) |

Trelleborg Sealing Solutions has carried out several thousands compatibility tests. Please ask for details.

#### Important Note:

The above data are maximum values and cannot be used at the same time, e. g. the maximum operating speed depends on material type, pressure and temperature.



## Radial Oil Seal

**Table VI Materials**

| Standard material* | TSS material code | Standard metal insert** | Standard spring** |
|--------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| NBR (70 Shore A)   | N7MM              | Carbon steel            | Carbon steel      |
| NBR (75 Shore A)   | 4N011             |                         |                   |
| FKM (70 Shore A)   | VCBV              | Carbon steel            | Stainless steel   |
| FKM (75 Shore A)   | 4V012             |                         |                   |

\* Special grades and other materials (ACM, EACM, EPDM, HNBR, VMQ) on request.

\*\* Metal insert, and spring as well, can be supplied in different materials on request.

**Ordering example oil seal TSS type**

TSS Type: A  
 Code: TRA  
 Dimensions: Shaft diameter 25 mm  
 Housing diameter 40 mm  
 Width 7 mm  
 Material: NBR  
 Material Code: N7MM

|                          |     |   |       |   |      |
|--------------------------|-----|---|-------|---|------|
| TSS Article No.          | TRA | B | 00250 | - | N7MM |
| Code                     |     |   |       |   |      |
| Execution                |     |   |       |   |      |
| Shaft diameter x 10      |     |   |       |   |      |
| Quality Index (Standard) |     |   |       |   |      |
| Material Code (Standard) |     |   |       |   |      |

**Table VII Preferred series / Dimension, TSS part numbers**

| Dimension      |                |          | TSS Part No.     | TSS      |          |
|----------------|----------------|----------|------------------|----------|----------|
| d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | b        |                  | NBR      | FKM      |
| 4              | 11             | 5        | TRA200040        |          | X        |
| 4              | 12             | 6        | TRA100040        | X        | X        |
| 5              | 15             | 6        | TRA000050        | X        | X        |
| 6              | 12             | 5.5      | TRA400060        | X        | X        |
| 6              | 15             | 4        | TRA000060        | X        |          |
| 6              | 16             | 5        | TRA100060        | X        |          |
| <b>6</b>       | <b>16</b>      | <b>7</b> | <b>TRAA00060</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 6              | 19             | 7        | TRA300060        | X        | X        |
| <b>6</b>       | <b>22</b>      | <b>7</b> | <b>TRAB00060</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 6              | 22             | 8        | TRA600060        | X        |          |
| 7              | 16             | 7        | TRA000070        | X        | X        |
| <b>7</b>       | <b>22</b>      | <b>7</b> | <b>TRAA00070</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 8              | 14             | 4        | TRA700080        | X        |          |
| 8              | 16             | 5        | TRA100080        | X        |          |
| 8              | 16             | 7        | TRA200080        | X        | X        |

The dimensions printed in **bold** type correspond to the recommendations in DIN 3760, draft September 1996.



## Radial Oil Seal

| Dimension      |                |          | TSS Part No.     | TSS      |          |
|----------------|----------------|----------|------------------|----------|----------|
| d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | b        |                  | NBR      | FKM      |
| <b>12</b>      | <b>30</b>      | <b>7</b> | <b>TRAD00120</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 12             | 30             | 10       | TRA300120        | X        |          |
| 12             | 32             | 7        | TRAH00120        | X        | X        |
| 12             | 32             | 10       | TRAI00120        | X        |          |
| 12             | 37             | 10       | TRAK00120        | X        |          |
| 12             | 45             | 7        | TRAL00120        | X        |          |
| 13             | 25             | 5        | TRA100130        | X        |          |
| 13             | 26             | 7        | TRA200130        | X        | X        |
| 13             | 30             | 8        | TRA300130        | X        |          |
| 14             | 22             | 4        | TRA000140        | X        | X        |
| 14             | 22             | 7        | TRA400140        | X        | X        |
| <b>14</b>      | <b>24</b>      | <b>7</b> | <b>TRAA00140</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 14             | 25             | 5        | TRA100140        | X        |          |
| 14             | 28             | 7        | TRAB00140        | X        |          |
| 14             | 28.55          | 6.3      | TRAF00140        |          | X        |
| <b>14</b>      | <b>30</b>      | <b>7</b> | <b>TRAC00140</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 14             | 35             | 7        | TRAD00140        | X        |          |
| 14.5           | 28.55          | 6.3      | TRA000145        |          | X        |
| 15             | 22             | 7        | TRA000150        | X        |          |
| 15             | 24             | 5        | TRAF00150        | X        |          |
| 15             | 24             | 7        | TRA200150        | X        | X        |
| 15             | 25             | 5        | TRA300150        | X        | X        |
| 15             | 26             | 6        | TRA400150        | X        |          |
| <b>15</b>      | <b>26</b>      | <b>7</b> | <b>TRAA00150</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 15             | 28             | 5        | TRA500150        |          | X        |
| 15             | 28             | 7        | TRA600150        | X        | X        |
| <b>15</b>      | <b>30</b>      | <b>7</b> | <b>TRAB00150</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 15             | 30             | 10       | TRA700150        | X        | X        |
| 15             | 32             | 7        | TRAC00150        | X        | X        |
| <b>15</b>      | <b>35</b>      | <b>7</b> | <b>TRAD00150</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 15             | 35             | 10       | TRAJ00150        | X        | X        |
| 15             | 40             | 7        | TRAN00150        | X        |          |
| 15             | 40             | 10       | TRA100150        | X        |          |
| 15             | 42             | 7        | TRAG00150        | X        |          |
| 15             | 42             | 10       | TRAH00150        | X        | X        |
| 16             | 22             | 4        | TRA000160        | X        |          |

The dimensions printed in **bold** type correspond to the recommendations in DIN 3760, draft September 1996.



## Radial Oil Seal

| Dimension      |                |          | TSS Part No.     | TSS      |          |
|----------------|----------------|----------|------------------|----------|----------|
| d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | b        |                  | NBR      | FKM      |
| 38             | 70             | 10       | TRAN00380        | X        |          |
| 38             | 72             | 10       | TRA700380        | X        |          |
| 40             | 50             | 8        | TRA000400        | X        | X        |
| 40             | 52             | 6        | TRA100400        | X        |          |
| <b>40</b>      | <b>52</b>      | <b>7</b> | <b>TRAA00400</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| <b>40</b>      | <b>52</b>      | <b>8</b> | <b>TRA200400</b> | <b>X</b> |          |
| 40             | 52             | 10       | TRA300400        | X        |          |
| <b>40</b>      | <b>55</b>      | <b>7</b> | <b>TRAB00400</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| <b>40</b>      | <b>55</b>      | <b>8</b> | <b>TRA400400</b> | <b>X</b> |          |
| 40             | 55             | 10       | TRA500400        | X        |          |
| 40             | 56             | 8        | TRA700400        | X        |          |
| 40             | 56             | 10       | TRAL00400        | X        |          |
| 40             | 58             | 8        | TRAMGA011        | X        |          |
| 40             | 58             | 9        | TRA900400        | X        |          |
| 40             | 58             | 10       | TRAF00400        | X        | X        |
| 40             | 58             | 12       | TRAMGA012        | X        |          |
| 40             | 60             | 10       | TRAH00400        | X        | X        |
| <b>40</b>      | <b>62</b>      | <b>7</b> | <b>TRAC00400</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 40             | 62             | 10       | TRAI00400        | X        | X        |
| 40             | 62             | 11.5     | TRAMGA013        | X        |          |
| 40             | 62             | 12       | TRAJ00400        | X        |          |
| 40             | 65             | 10       | TRAK00400        | X        | X        |
| 40             | 68             | 7        | TRAM00400        | X        |          |
| 40             | 68             | 10       | TRAN00400        | X        | X        |
| 40             | 68             | 12       | TRAMGA014        | X        |          |
| 40             | 72             | 7        | TRAD00400        | X        | X        |
| 40             | 72             | 10       | TRAQ00400        | X        | X        |
| 40             | 80             | 7        | TRAS00400        | X        |          |
| 40             | 80             | 8        | TRAMGA015        | X        |          |
| 40             | 80             | 10       | TRAT00400        | X        | X        |
| 40             | 85             | 10       | TRAU00400        | X        |          |
| 40             | 90             | 8        | TRAV00400        | X        |          |
| 40             | 90             | 12       | TRAW00400        | X        |          |
| 42             | 55             | 7        | TRA000420        | X        |          |
| <b>42</b>      | <b>55</b>      | <b>8</b> | <b>TRAA00420</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |
| 42             | 56             | 7        | TRA100420        | X        | X        |

The dimensions printed in **bold** type correspond to the recommendations in DIN 3760, draft September 1996.

### 9.3. Catálogo embrague.



## ROBA®-lastic - torsionally flexible

Type 135. \_ \_ \_  
Sizes 0 to 5

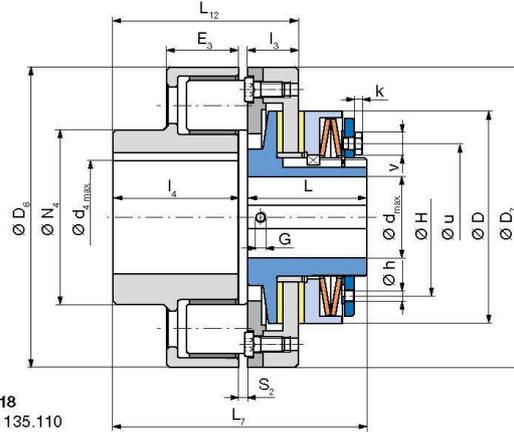


Fig. 18  
Type 135.110

ROBA®-lastic Type 135 is a flexible safety clutch with adjustable torque for connecting two shafts. The flexible coupling part is designed as a simple plug-in coupling.

The torque is transmitted via flexible rubber buffers made of wear and oil-resistant plastic material insensitive to temperature changes.

We reserve the right to make dimensional and constructional alterations.

| Technical Data                |             |              | Size    |         |          |           |           |            |            |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------|---------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
|                               |             |              | 0       | 01      | 1        | 2         | 3         | 4          | 5          |
| Limit torque for overload     | Type 135.11 | $M_G$ [Nm]   | 2 – 10  | 6 – 30  | 14 – 70  | 26 – 130  | 50 – 250  | 110 – 550  | 140 – 700  |
|                               | Type 135.21 | $M_G$ [Nm]   | 10 – 20 | 30 – 60 | 70 – 130 | 130 – 250 | 250 – 550 | 550 – 1100 | 700 – 1400 |
| Operating speed <sup>1)</sup> | $n_{max}$   | [rpm]        | 7000    | 6500    | 5600     | 4300      | 3300      | 2700       | 2200       |
| Weight (pilot bored)          |             | [kg]         | 1,3     | 3,0     | 3,2      | 6,5       | 10,1      | 19,5       | 23,4       |
| Permitted misalignments       | axial       | $x$ [mm]     | ± 1,0   | ± 1,0   | ± 1,0    | ± 1,0     | ± 1,0     | ± 1,0      | ± 1,0      |
|                               | radial      | $y$ [mm]     | 0,5     | 0,5     | 0,5      | 0,5       | 0,5       | 0,5        | 0,5        |
|                               | angular     | $\alpha$ [°] | 0,5     | 0,5     | 0,5      | 0,5       | 0,5       | 1,0        | 1,0        |

| Dim. [mm] | D   | D <sub>6</sub> | D <sub>7</sub> | d <sup>H7</sup> <sub>min</sub> | d <sup>H7</sup> <sub>max</sub> | d <sub>4min</sub> <sup>H7</sup> | d <sub>4max</sub> <sup>H7</sup> | E <sub>3</sub>   | G  | H   | h                 | k               | L   | L <sub>7</sub> | L <sub>12</sub> | I <sub>3</sub> | I <sub>4</sub>     | N <sub>4</sub>     | S <sub>2</sub> | u                 | v               |
|-----------|-----|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|----|-----|-------------------|-----------------|-----|----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| 0         | 45  | 80             | 80             | 7                              | 20 <sup>2)</sup>               | 11                              | 30                              | 23               | M4 | 37  | 3                 | - <sup>7)</sup> | 33  | 66             | 48              | 14             | 30                 | 50 <sub>h11}</sub> | 4              | 37                | 2 <sup>7)</sup> |
| 01        | 58  | 105            | 105            | 12                             | 22                             | 11                              | 42                              | 32 <sup>3)</sup> | 46 | 5   | - <sup>7)</sup>   | 45              | 91  | 68             | 22              | 42             | 65 <sub>h11}</sub> | 4                  | 46             | 2,5 <sup>7)</sup> |                 |
| 1         | 68  | 105            | 105            | 12                             | 25                             | 11                              | 42                              | 32 <sup>4)</sup> | 50 | 5   | 1,3 <sup>7)</sup> | 52              | 98  | 69             | 23              | 42             | 65 <sub>h11}</sub> | 4                  | 50             | 3 <sup>7)</sup>   |                 |
| 2         | 88  | 135            | 135            | 15                             | 35                             | 13                              | 60                              | 36 <sup>5)</sup> | 67 | 6   | 3                 | 57              | 116 | 86             | 27              | 55             | 85 <sub>h11}</sub> | 4                  | 67             | 10                |                 |
| 3         | 115 | 160            | 160            | 19                             | 45                             | 25                              | 60                              | 38 <sup>6)</sup> | 84 | 6   | 5,3               | 68              | 129 | 92             | 31              | 55             | 90                 | 6                  | 84             | 13                |                 |
| 4         | 140 | 198            | 198            | 25                             | 55                             | 30                              | 75                              | 47               | M8 | 104 | 7                 | 5,3             | 78  | 166            | 121             | 33             | 82                 | 115                | 6              | 97                | 13              |
| 5         | 170 | 198            | 208            | 30                             | 65                             | 50                              | 75                              | 47               | M8 | 125 | 8                 | 5,3             | 92  | 180            | 127             | 39             | 82                 | 115                | 6              | 109               | 13              |

### Order Number

|  |   |   |   |  |  |                           |
|--|---|---|---|--|--|---------------------------|
| Adjusting nut<br>standard  |   | 0 | Bore Hub<br>Ø d <sup>H7</sup>   |  | Bore Hub<br>Ø d <sub>4</sub> <sup>H7</sup> |                           |
| with radial adjustment   |   | 1 |   |  |  |                           |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span>— / 1 3 5 . — — — / — / — / — / —</span> </div> |   |   |   |  |  |                           |
| Sizes 0 to 5   | Torque range <sup>8)</sup><br>low 1<br>medium 2 |   | Friction lining<br>standard 1<br>rustproof friction pairing <sup>9)</sup> 2 |  | Keyway acc.<br>DIN 6885-1<br>DIN 6885-3    | Keyway acc.<br>DIN 6885-1 |

Example: Order Number 5 / 135.210 / 60 / 6885-1 / 60 / 6885-1

1) See Explanations page 19  
2) Size 0: up to Ø 19 keyway acc. DIN 6885-1 over Ø 19 keyway acc. DIN 6885-3  
3) Size 01: up to Ø 12 M4, over Ø 12 M5  
4) Size 1: up to Ø 12 M4, over Ø 12 up to Ø 17 M5, over Ø 17 M6

5) Size 2: up to Ø 17 M5, over Ø 17 M6  
6) Size 3: up to Ø 22 M6, over Ø 22 M8  
7) Hexagon socket countersunk screw to ISO 10642/DIN 7991  
8) See Technical Data, limit torque for overload  $M_G$   
9) Only Sizes 01 to 5

## 10. Índice de figuras.

|  |    |
|--|----|
| Ilustración anexos 1: Esquema de las cargas tangenciales sobre los engranajes de la Etapa 1..... | 7  |
| Ilustración anexos 2: Esquema de las cargas radiales sobre los engranajes de la Etapa 1.....     | 8  |
| Ilustración anexos 3: Esquema de las cargas tangenciales sobre los engranajes de la Etapa 2..... | 8  |
| Ilustración anexos 4: Esquema de las cargas radiales sobre los engranajes de la Etapa 2.....     | 9  |
| Ilustración anexos 5: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J' para la Etapa 1 .....   | 10 |
| Ilustración anexos 6: Diagrama para el cálculo del factor geométrico 'J' para la Etapa 2. ....   | 13 |
| Ilustración anexos 7: Esquema fuerzas eje de salida. ....  | 17 |
| Ilustración anexos 8: Diagrama momento torsor (rojo) y momento flector (azul) eje de salida..    | 18 |
| Ilustración anexos 9: Esquema fuerzas eje satélites (Etapa 1).....                               | 20 |
| Ilustración anexos 10: Diagrama momento flector eje satélites (Etapa 1).....                     | 20 |
| Ilustración anexos 11: Esquema fuerzas eje soporte satélites (Etapa 2). ....                     | 21 |
| Ilustración anexos 12: Diagrama momento flector eje satélite (Etapa 2). ....                     | 22 |

## 11. Índice de tablas.

|   |    |
|---|----|
| Tabla anexos 1: Datos iniciales.....  | 5  |
| Tabla anexos 2: Dimensiones básicas engranajes.....                                     | 5  |
| Tabla anexos 3: Valores de ancho de cara de los engranajes.....                         | 7  |
| Tabla anexos 4: Material de los engranajes rectos.....                                  | 7  |
| Tabla anexos 5: Cálculo fuerza tangencial y radial en engranajes.....                   | 9  |
| Tabla anexos 6: Factores para el cálculo del esfuerzo en los engranajes (Etapa 1).....  | 10 |
| Tabla anexos 7: Esfuerzo de flexión en el diente de los engranajes de la etapa 1.....   | 10 |
| Tabla anexos 8: Esfuerzo superficial engranajes (Etapa 1).....                          | 11 |
| Tabla anexos 9: Resistencia corregida de fatiga a la flexión (Etapa 1).....             | 11 |
| Tabla anexos 10: Resistencia corregida de fatiga superficial (Etapa 1).....             | 12 |
| Tabla anexos 11: Coeficientes de seguridad engranajes rectos (Etapa 1).....             | 12 |
| Tabla anexos 12: Factores para el cálculo del esfuerzo en los engranajes (Etapa 2)..... | 13 |
| Tabla anexos 13: Esfuerzo de flexión en el diente de los engranajes de la etapa 2.....  | 14 |
| Tabla anexos 14: Esfuerzo superficial engranajes (Etapa 2).....                         | 14 |
| Tabla anexos 15: Resistencia corregida de fatiga a la flexión (Etapa 2).....            | 14 |
| Tabla anexos 16: Resistencia corregida de fatiga superficial (Etapa 2).....             | 15 |
| Tabla anexos 17: Coeficientes de seguridad engranajes rectos (Etapa 2).....             | 15 |
| Tabla anexos 18: Dimensionado eje de entrada.....                                       | 17 |
| Tabla anexos 19: Dimensionado eje de salida.....  | 18 |
| Tabla anexos 20: Dimensionado eje entre etapas.....                                     | 19 |
| Tabla anexos 21: Dimensionado ejes satélites 1.....                                     | 21 |
| Tabla anexos 22: Dimensionado ejes satélites 2.....                                     | 22 |
| Tabla anexos 23: Información modelo soporte satélites (Etapa 1).....                    | 24 |
| Tabla anexos 24: Propiedades de estudio soporte satélites (Etapa 1).....                | 24 |
| Tabla anexos 25: Propiedades del material soporte satélites (Etapa 1).....              | 25 |
| Tabla anexos 26: Sujeciones en soporte satélites (Etapa 1).....                         | 25 |
| Tabla anexos 27: Fuerzas resultantes en sujeción soporte satélites (Etapa 1).....       | 25 |
| Tabla anexos 28: Cargas en soporte satélites (Etapa 1).....                             | 26 |
| Tabla anexos 29: Información de contacto soporte satélites (Etapa 1).....               | 26 |
| Tabla anexos 30: Resultados tensiones soporte satélites (Etapa 1).....                  | 27 |
| Tabla anexos 31: Resultados desplazamientos soporte satélites (Etapa 1).....            | 28 |
| Tabla anexos 32: Resultados deformaciones soporte satélites (Etapa 1).....              | 29 |
| Tabla anexos 33: Información modelo soporte satélites (Etapa 2).....                    | 31 |
| Tabla anexos 34: Propiedades de estudio soporte satélites (Etapa 2).....                | 31 |
| Tabla anexos 35: Propiedades material soporte satélites (Etapa 2).....                  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla anexos 36: Sujeciones en soporte satélites (Etapa 2). .....                                     | 32 |
| Tabla anexos 37: Fuerzas resultantes en sujeción soporte satélites (Etapa 2). .....                   | 32 |
| Tabla anexos 38: Cargas en soporte satélites (Etapa 2). .....   | 32 |
| Tabla anexos 39: Información de contacto soporte satélites (Etapa 2). .....                           | 33 |
| Tabla anexos 40: Resultados tensiones soporte satélites (Etapa 2). .....                              | 34 |
| Tabla anexos 41: Resultados desplazamientos soporte satélites (Etapa 2). .....                        | 35 |
| Tabla anexos 42: Resultados deformaciones soporte satélites (Etapa 2). .....                          | 36 |
| Tabla anexos 43: Cálculo rodamiento eje de entrada. ....  | 37 |
| Tabla anexos 44: Cálculo rodamiento eje de salida. ....   | 38 |
| Tabla anexos 45: Características rodamiento eje de entrada. ....                                      | 39 |
| Tabla anexos 46: Características rodamiento eje de salida. ....                                       | 40 |
| Tabla anexos 47: Cálculo y dimensionado de chaveta de engranaje sol (Etapa 1). ....                   | 41 |
| Tabla anexos 48: Cálculo y dimensionado de chaveta entrada reductora. ....                            | 41 |
| Tabla anexos 49: Cálculo y dimensionado de chaveta engranaje sol 2ª etapa. ....                       | 41 |
| Tabla anexos 50: Cálculo y dimensionado de chaveta salida reductora. ....                             | 42 |
| Tabla anexos 51: Anillo de retención para exteriores según ASME B27.7-1977 para eje de<br>15mm. ....  | 43 |
| Tabla anexos 52: Anillo de retención para exteriores según ASME B27.7-1977 para eje de 30<br>mm. .... | 44 |
| Tabla anexos 53: Selección retenes ejes de entrada y salida. ....                                     | 44 |
| Tabla anexos 54: Parámetros para la selección del embrague. ....                                      | 45 |
| Tabla anexos 55: Selección embrague. ....   | 46 |





Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

**Planos**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

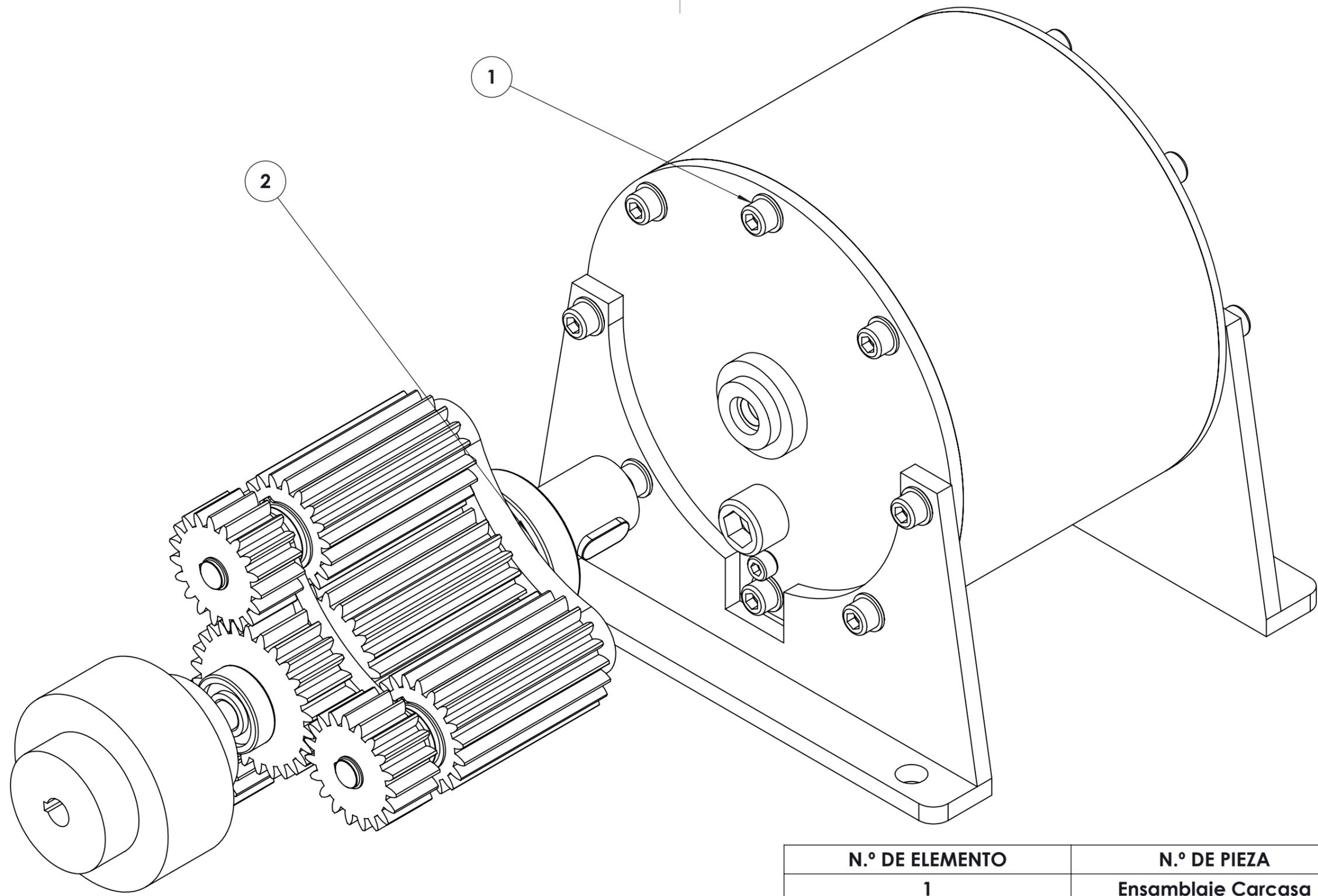
TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017

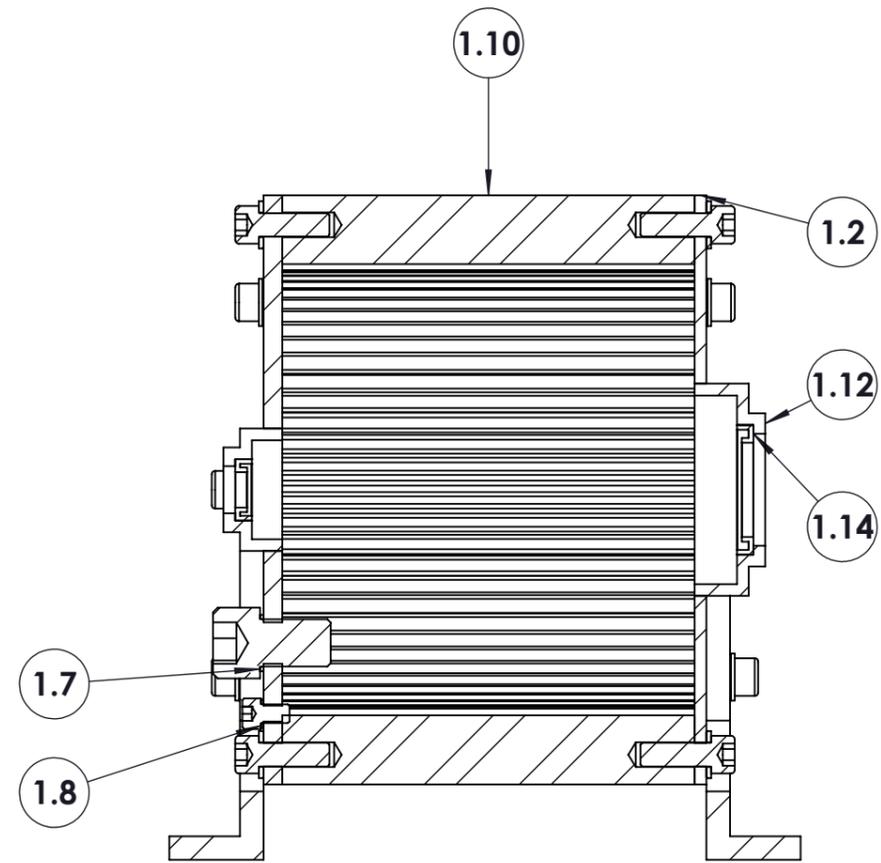
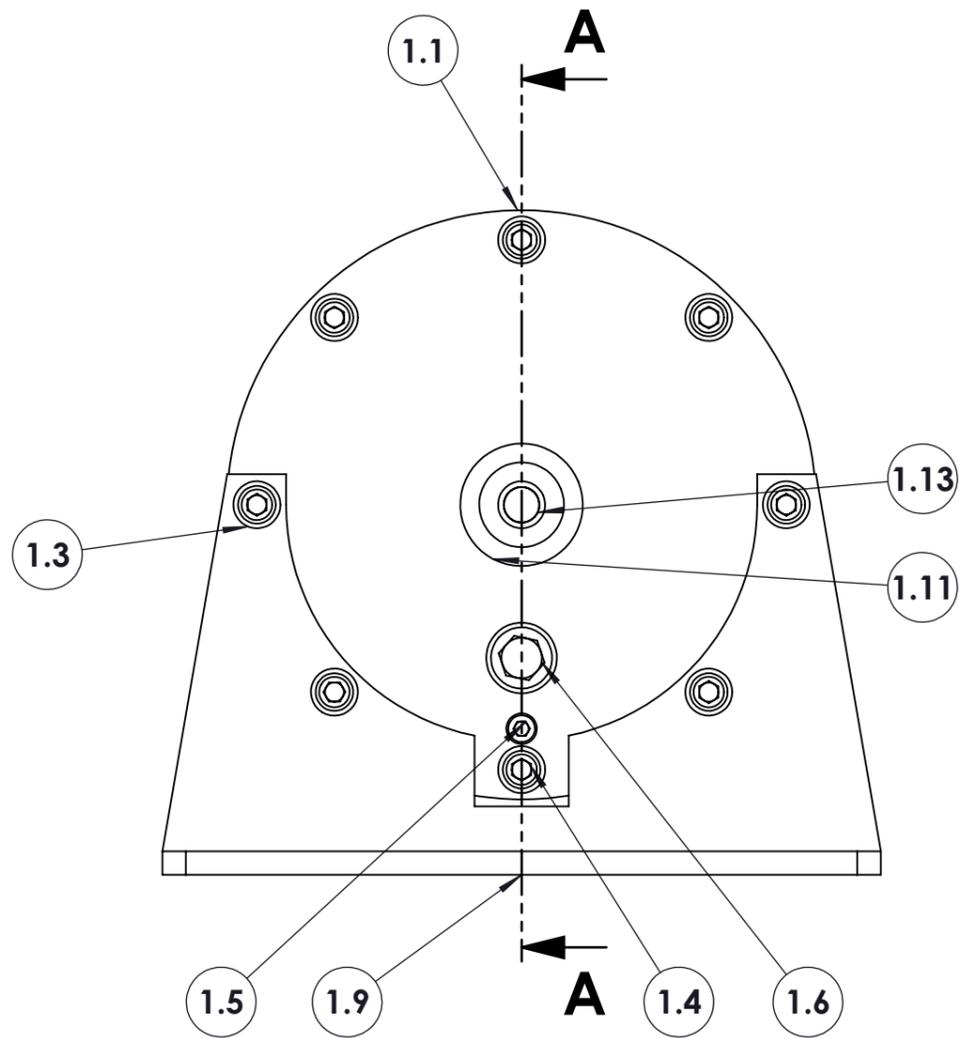
# Diseño de una caja reductora con embrague de protección con sobrepotencia.

## Índice de planos:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ENSAMBLAJE GENERAL.....</b>              | <b>4</b>  |
| SUBENSAMBLAJE CARCASA .....                 | 5         |
| <i>Tapa eje de entrada.....</i>             | <i>6</i>  |
| <i>Tapa eje de salida .....</i>             | <i>7</i>  |
| <i>Corte tornillo tapón de llenado.....</i> | <i>8</i>  |
| <i>Soporte reductora.....</i>               | <i>9</i>  |
| <i>Engranaje interno .....</i>              | <i>10</i> |
| SUBENSAMBLAJE MECANISMO .....               | 11        |
| <i>Engranaje sol etapa 1 .....</i>          | <i>12</i> |
| <i>Engranaje satélite etapa 1.....</i>      | <i>13</i> |
| <i>Engranaje satélite etapa 2.....</i>      | <i>14</i> |
| <i>Engranaje sol etapa 2 .....</i>          | <i>15</i> |
| <i>Eje satélites etapa 1.....</i>           | <i>16</i> |
| <i>Eje satélites etapa 2.....</i>           | <i>17</i> |
| <i>Eje de entrada.....</i>                  | <i>18</i> |
| <i>Soporte satélites etapa 1 .....</i>      | <i>19</i> |
| <i>Soporte satélites etapa 2 .....</i>      | <i>20</i> |



| N.º DE ELEMENTO                                      |                     | N.º DE PIEZA  |  | CANTIDAD                  |
|--|---------------------|---|--|---------------------------|
| 1  |                     | Ensamblaje Carcasa  |  | 1                         |
| 2  |                     | Ensamblaje Mecanismo  |  | 1                         |
| <b>CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA</b> |                     |   |  |                           |
| Autor  |                     | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                  |
| Dibujado   | Saúl Negrín Masagué |   |  |                           |
| Fecha  | 24/08/2017          |   |  |                           |
| Id. s. normas  | UNE-EN-DIN          |   |  |                           |
| ESCALA: 1:3  |                     |                              |  | <b>Ensamblaje general</b> |
|  |                     |   |  |                           |

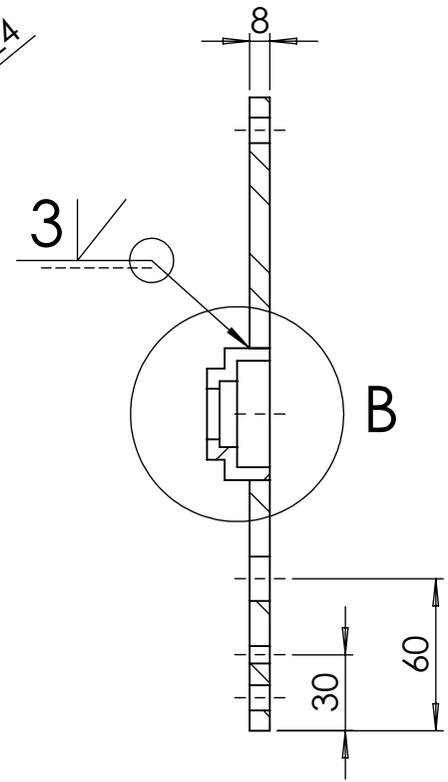
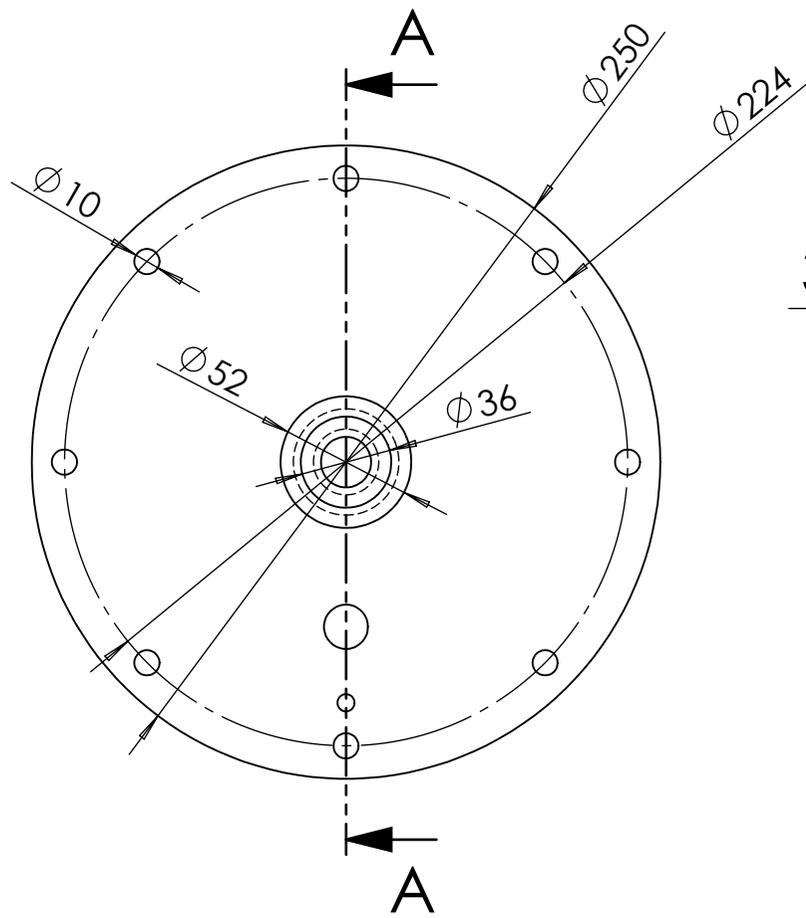


**SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3**

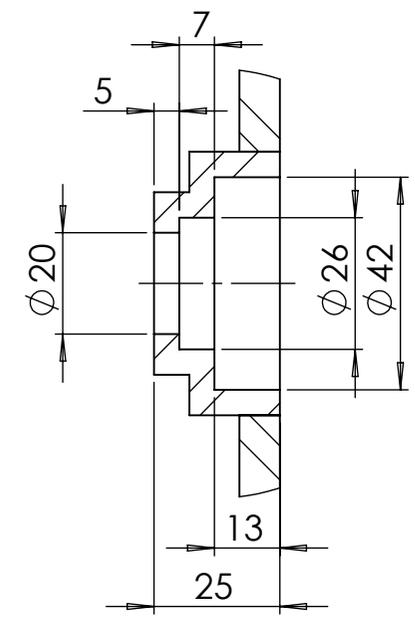
| Marca | Elemento                  | Norma   | Material                         | Cantidad |
|-------|---------------------------|---------|----------------------------------|----------|
| 1.1   | Tapa eje entrada          |         | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 1.2   | Tapa eje salida           |         | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 1.3   | Arandela plana M10        | DIN125  | AISI 316L Acero inoxidable       | 16       |
| 1.4   | Tornillo Allen M10x30     | DIN912  | AISI 316L Acero inoxidable       | 16       |
| 1.5   | Tornillo Allen M8x1.25x12 | DIN912  | AISI 316L Acero inoxidable       | 1        |
| 1.6   | Tornillo Allen M20x2.5x30 | DIN912  | AISI 316L Acero inoxidable       | 1        |
| 1.7   | Arandela plana M20        | DIN7603 | Cobre                            | 1        |
| 1.8   | Arandela plana M8         | DIN7603 | Cobre                            | 1        |
| 1.9   | Soporte reductora         |         | AISI 1045 Acero estirado en frío | 2        |
| 1.10  | Engranaje interno         |         | AISI 4340 Acero normalizado      | 1        |
| 1.11  | Alojamiento retén entrada |         | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 1.12  | Alojamiento retén salida  |         | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 1.13  | Retén 15x26x7             | DIN3760 | NBR                              | 1        |
| 1.14  | Retén 40x55x7             | DIN3760 | NBR                              | 1        |

**CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA**

|                       |                     |   |  |          |
|-----------------------|---------------------|---|--|----------|
| Autor                 |                     | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL |
| Dibujado              | Saúl Negrín Masagué |   |  |          |
| Fecha                 | 24/08/2017          |   |  |          |
| Id. s. normas         | UNE-EN-DIN          |   |  |          |
| ESCALA: 1:3           |                     |                              |  | MARCA: 1 |
| Subensamblaje carcasa |                     |   |  |          |



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3



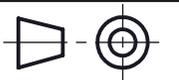
DETALLE B  
ESCALA 2 : 3

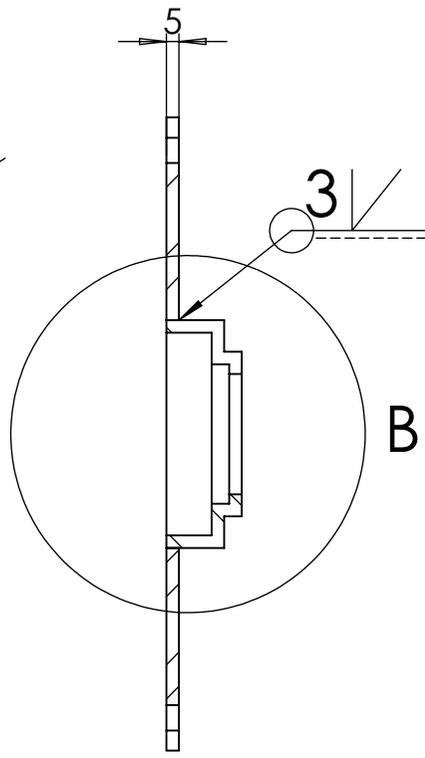
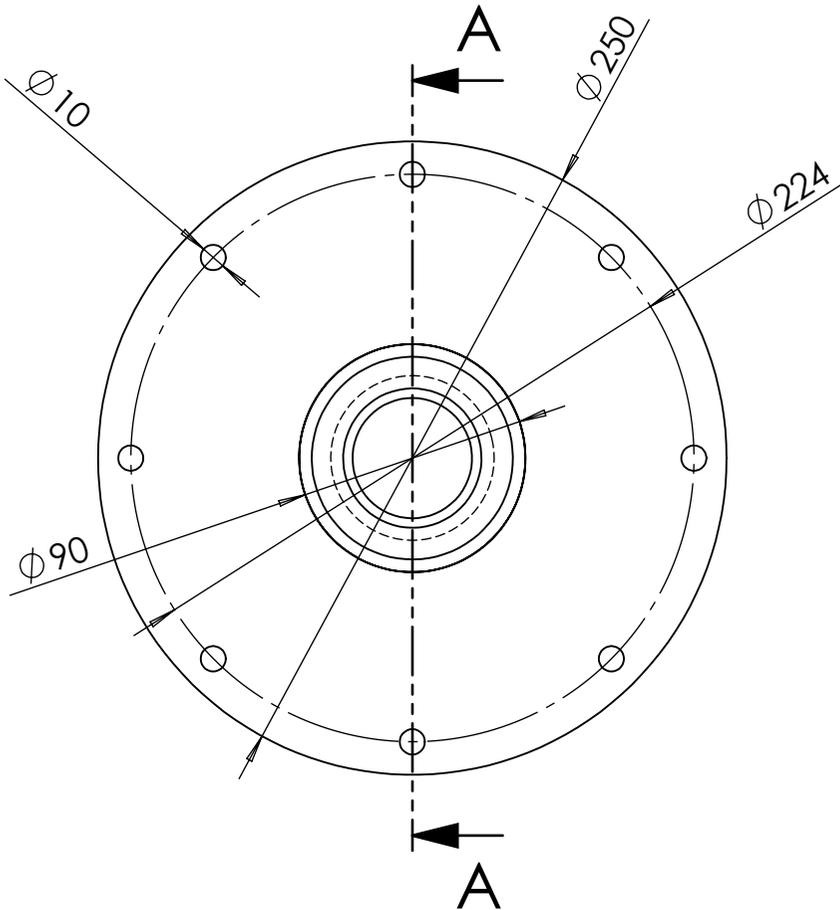
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1mm en las aristas vivas.

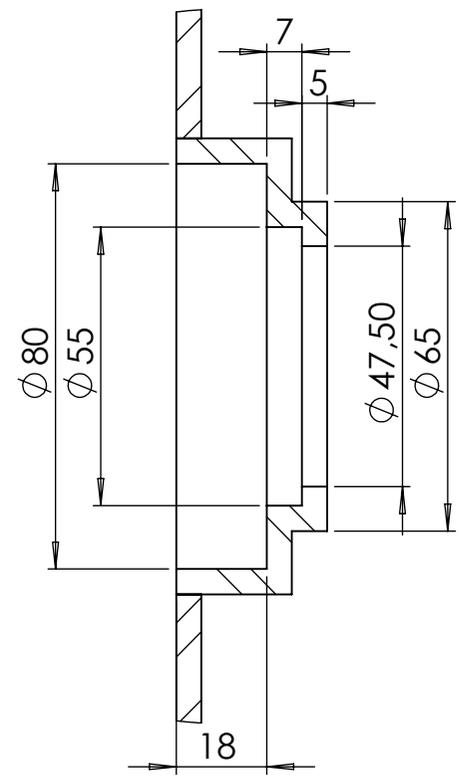


(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

|   |                     |   |  |                           |
|---|---------------------|---|--|---------------------------|
| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |                           |
|   | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                  |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   |  | AISI 1045                 |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  | Acero Estirado en frío    |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |                           |
| ESCALA: 1:3                                   |                     |                               |  | MARCA: 1.1 y 1.11         |
|   |                     |   |  | <h1>Tapa eje entrada</h1> |



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3



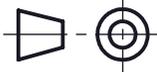
DETALLE B  
ESCALA 2 : 3

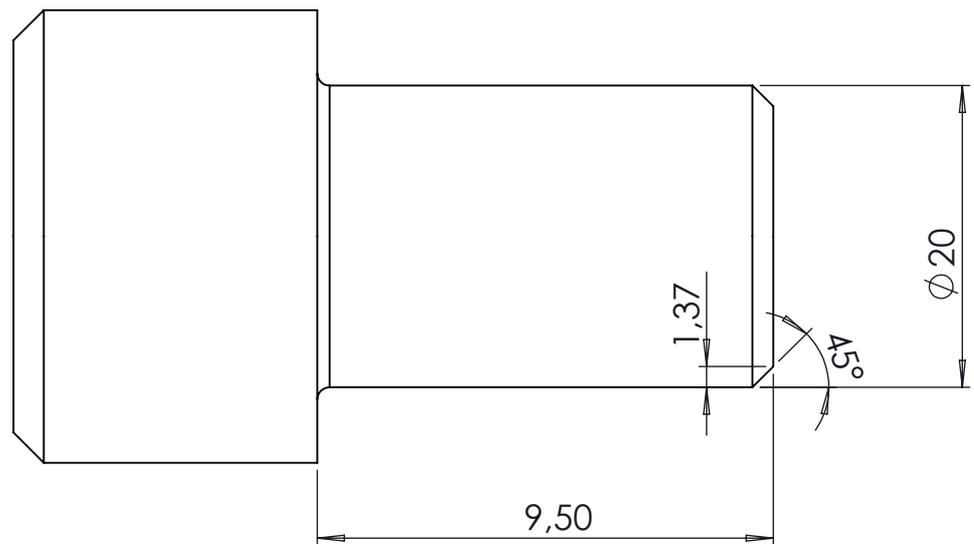
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.



(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

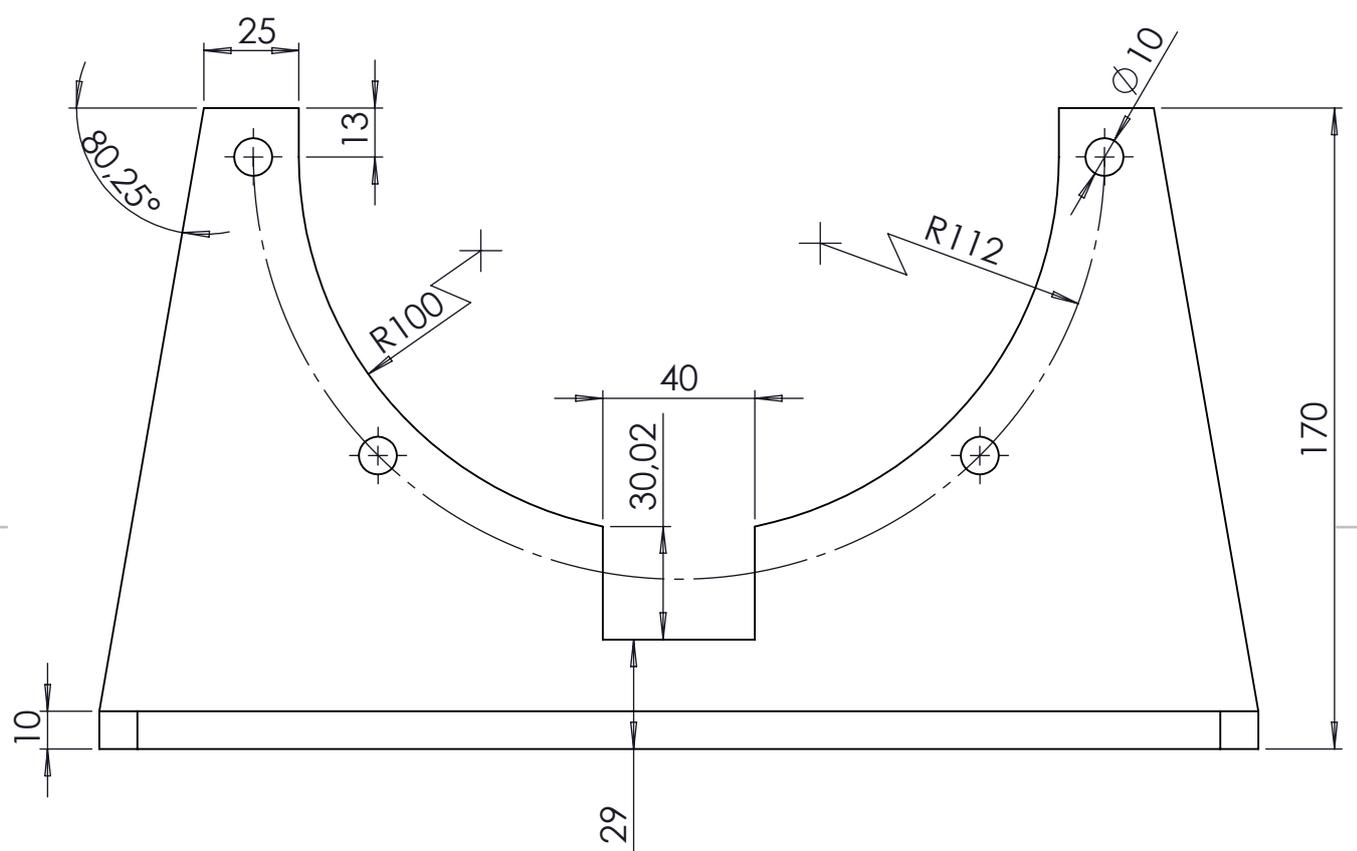
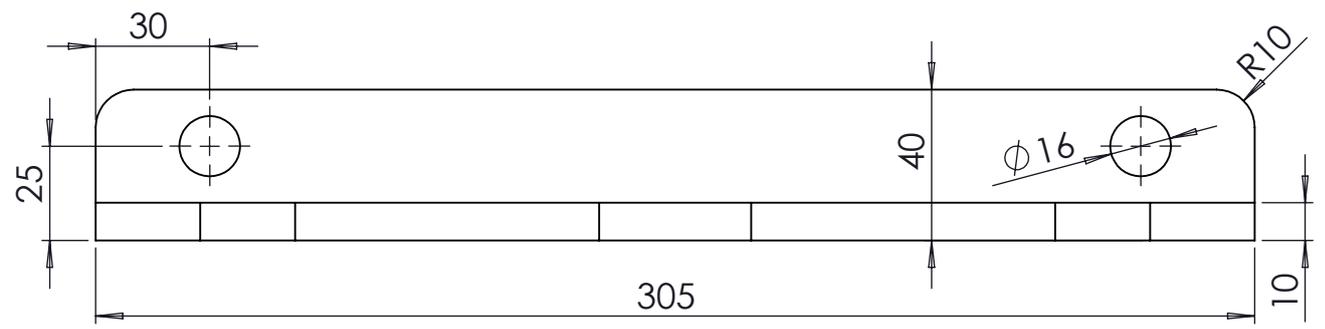
| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |                                     |
|---|---------------------|---|--|-------------------------------------|
|   | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                            |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   |  | AISI 1045<br>Acero Estirado en frío |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  |                                     |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |                                     |
| ESCALA: 1:3                                   |                     |                               |  | MARCA: 1.2 y 1.12                   |
|   |                     |   |  | <h2>Tapa eje salida</h2>            |



Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

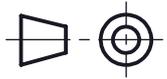
Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.

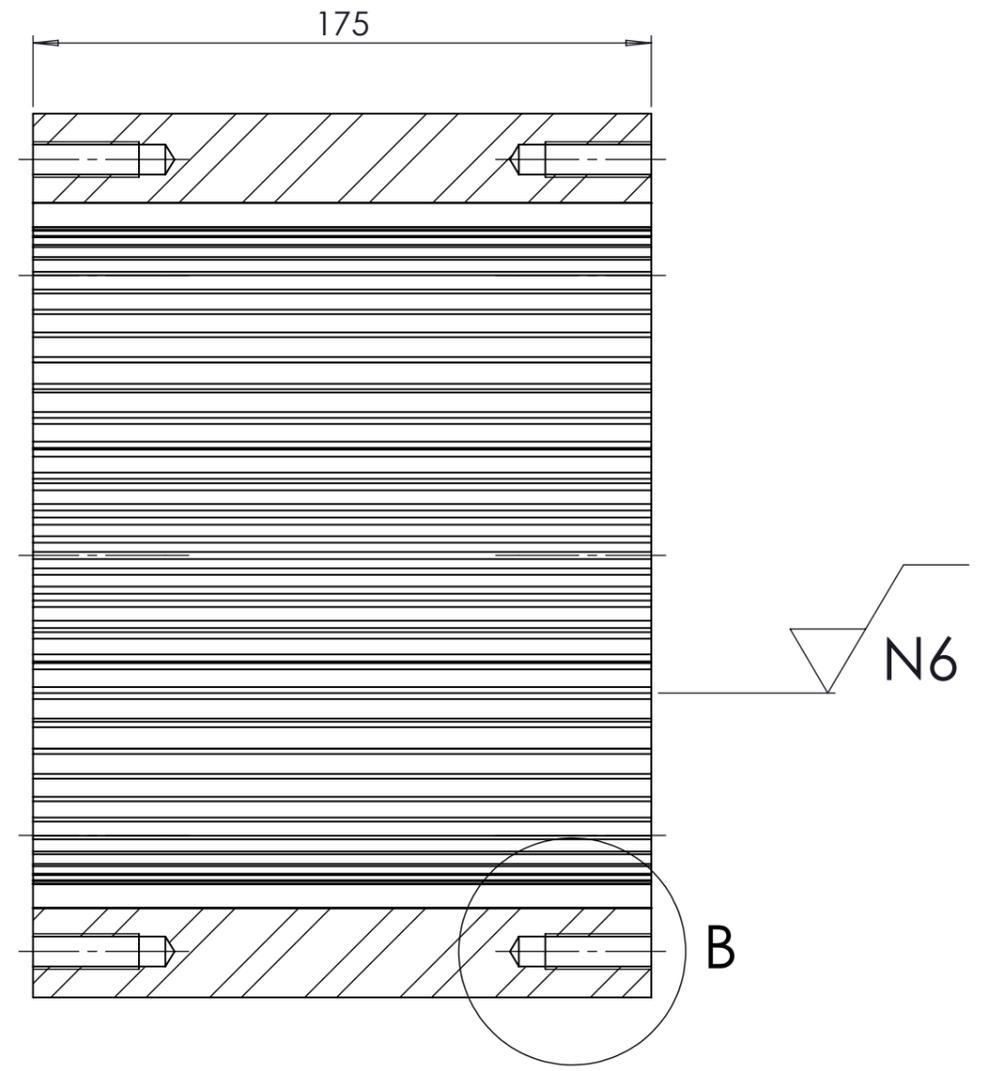
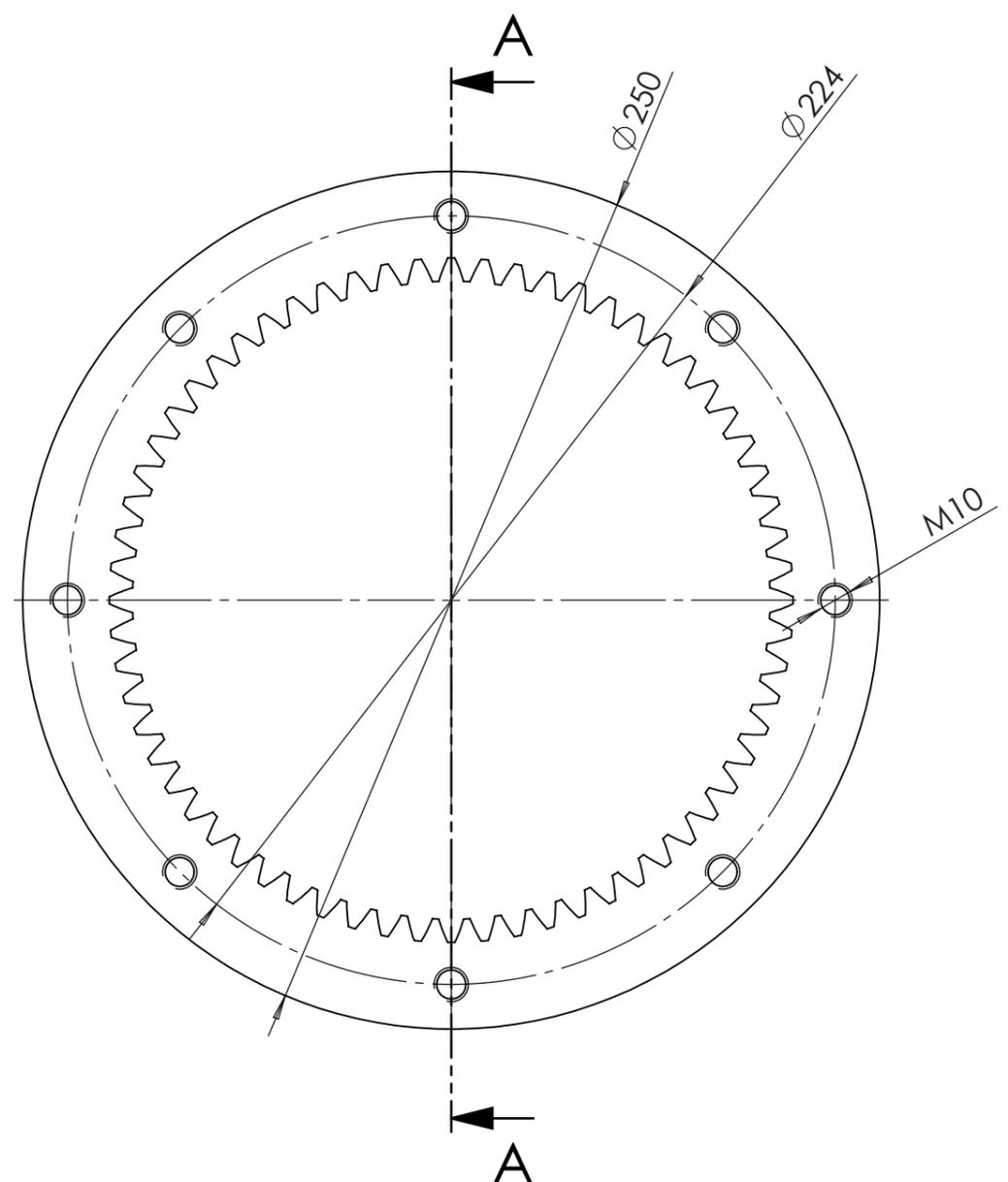
| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |   |
|---|---------------------|---|--|---|
|   | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL<br>AISI 316L<br>Acero Inoxidable |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   |  |   |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  |   |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |   |
| ESCALA: 2:1                                   |                     |                              |  | <b>Corte tornillo tapón llenado</b>       |
|   |                     |   |  |   |



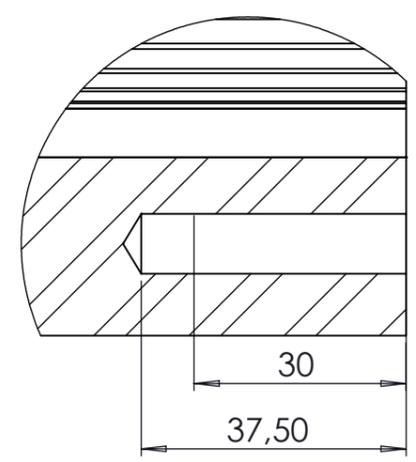
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1mm en las aristas vivas.

|   |                     |   |  |                                     |
|---|---------------------|---|--|-------------------------------------|
| <b>CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA</b>                                |                     |   |  |                                     |
|   | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                            |
| Dibujado  | Saúl Negrín Masagué |   |  | AISI 1045<br>Acero estirado en frío |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  |                                     |
| Id. s. normas   | UNE-EN-DIN          |   |  |                                     |
| ESCALA: 1:2   |                     | <b>Soporte reductora</b>  |  | MARCA: 1.09                         |
|  |                     |   |  |                                     |



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2



DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

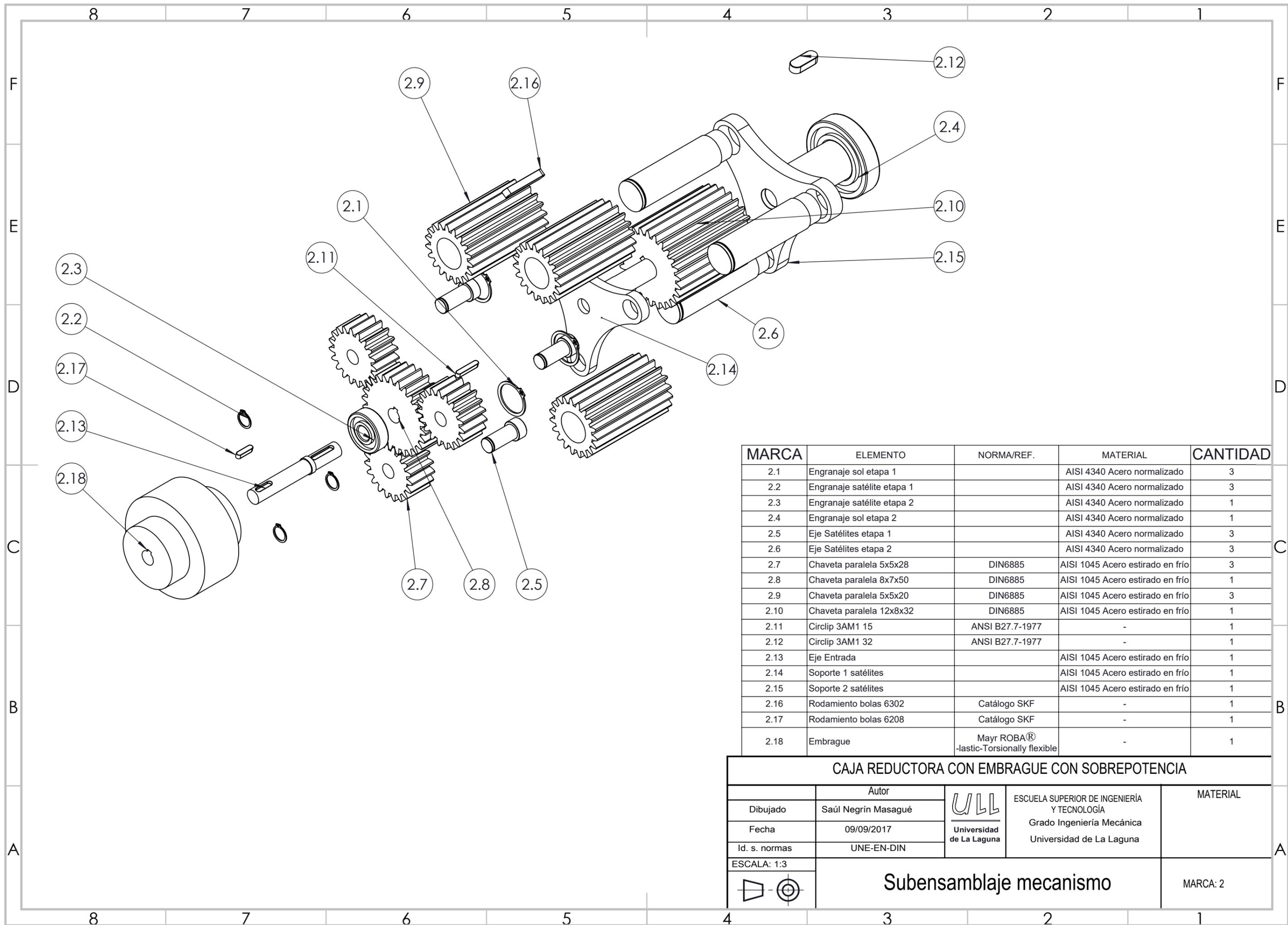


(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.

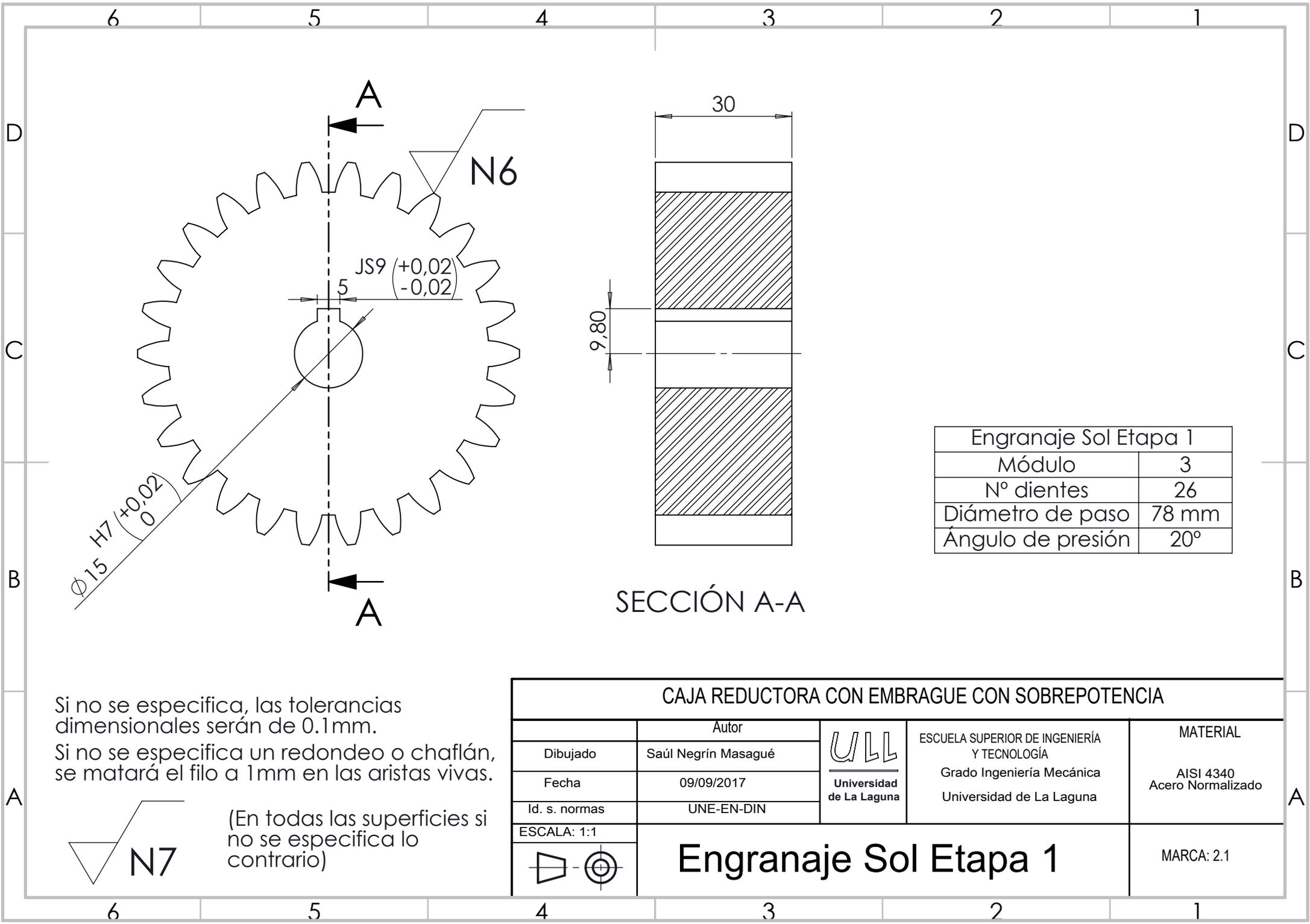
| Engranaje interno |        |
|-------------------|--------|
| Módulo            | 3      |
| Nº dientes        | 64     |
| Diámetro de paso  | 192 mm |
| Ángulo de presión | 20°    |

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |  |             |
|---|---------------------|---|--|--|-------------|
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL<br>AISI 4340<br>Acero Normalizado |             |
| Fecha   | 09/09/2017          |   | ESCALA: 1:2<br> | <b>Engranaje interno</b>                   | MARCA: 1.10 |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |  |             |
| Autor: <b>Engranaje interno</b>               |                     |   |  |  |             |



| MARCA | ELEMENTO                   | NORMA/REF.                                 | MATERIAL                         | CANTIDAD |
|-------|----------------------------|--|----------------------------------|----------|
| 2.1   | Engranaje sol etapa 1      |  | AISI 4340 Acero normalizado      | 3        |
| 2.2   | Engranaje satélite etapa 1 |  | AISI 4340 Acero normalizado      | 3        |
| 2.3   | Engranaje satélite etapa 2 |  | AISI 4340 Acero normalizado      | 1        |
| 2.4   | Engranaje sol etapa 2      |  | AISI 4340 Acero normalizado      | 1        |
| 2.5   | Eje Satélites etapa 1      |  | AISI 4340 Acero normalizado      | 3        |
| 2.6   | Eje Satélites etapa 2      |  | AISI 4340 Acero normalizado      | 3        |
| 2.7   | Chaveta paralela 5x5x28    | DIN6885                                    | AISI 1045 Acero estirado en frío | 3        |
| 2.8   | Chaveta paralela 8x7x50    | DIN6885                                    | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 2.9   | Chaveta paralela 5x5x20    | DIN6885                                    | AISI 1045 Acero estirado en frío | 3        |
| 2.10  | Chaveta paralela 12x8x32   | DIN6885                                    | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 2.11  | Circlip 3AM1 15            | ANSI B27.7-1977                            | -                                | 1        |
| 2.12  | Circlip 3AM1 32            | ANSI B27.7-1977                            | -                                | 1        |
| 2.13  | Eje Entrada                |  | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 2.14  | Soporte 1 satélites        |  | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 2.15  | Soporte 2 satélites        |  | AISI 1045 Acero estirado en frío | 1        |
| 2.16  | Rodamiento bolas 6302      | Catálogo SKF                               | -                                | 1        |
| 2.17  | Rodamiento bolas 6208      | Catálogo SKF                               | -                                | 1        |
| 2.18  | Embrague                   | Mayr ROBA®<br>-lastic-Torsionally flexible | -                                | 1        |

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA   |                     |  |   |          |
|---|---------------------|--|---|----------|
|   | Autor               |  | <br>ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL |
| Dibujado  | Saúl Negrín Masagué |  |   |          |
| Fecha   | 09/09/2017          |  |   |          |
| Id. s. normas   | UNE-EN-DIN          |  |   |          |
| ESCALA: 1:3   |                     |  |   |          |
|  |                     |  | Subensamblaje mecanismo   |          |
|   |                     |  | MARCA: 2  |          |



| Engranaje Sol Etapa 1 |       |
|-----------------------|-------|
| Módulo                | 3     |
| Nº dientes            | 26    |
| Diámetro de paso      | 78 mm |
| Ángulo de presión     | 20°   |

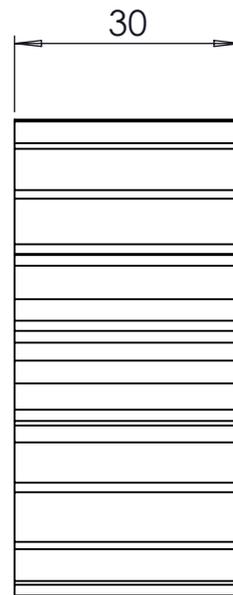
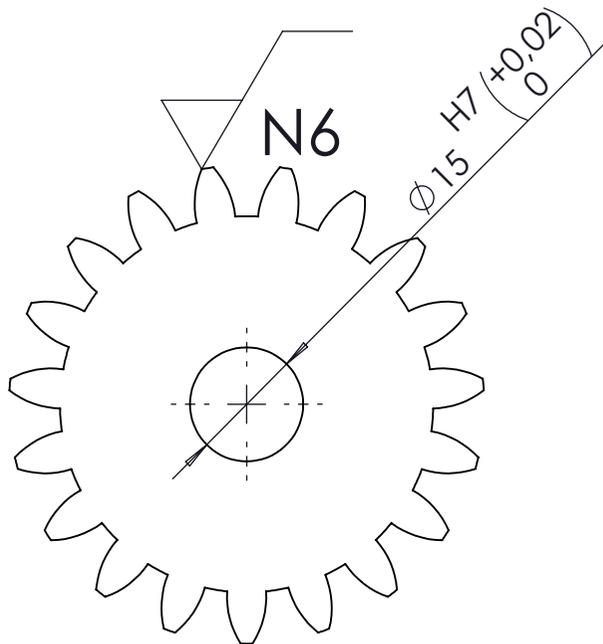
SECCIÓN A-A

Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.  
 Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.



(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |                                |
|---|---------------------|---|--|--------------------------------|
|   | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                       |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   |  | AISI 4340<br>Acero Normalizado |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  |                                |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |                                |
| ESCALA: 1:1                                   |                     |                               | <h1>Engranaje Sol Etapa 1</h1>   |                                |
|   |                     |   |  |                                |



| Engranaje Satélite Etapa 1 |       |
|----------------------------|-------|
| Módulo                     | 3     |
| Nº de dientes              | 19    |
| Diámetro de paso           | 57 mm |
| Ángulo de presión          | 20°   |

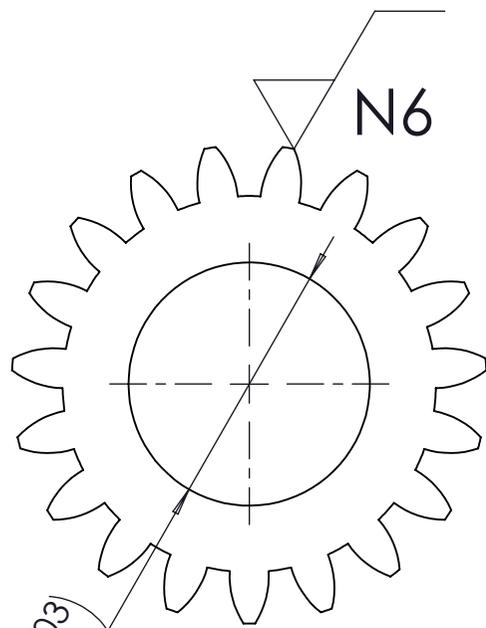
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.

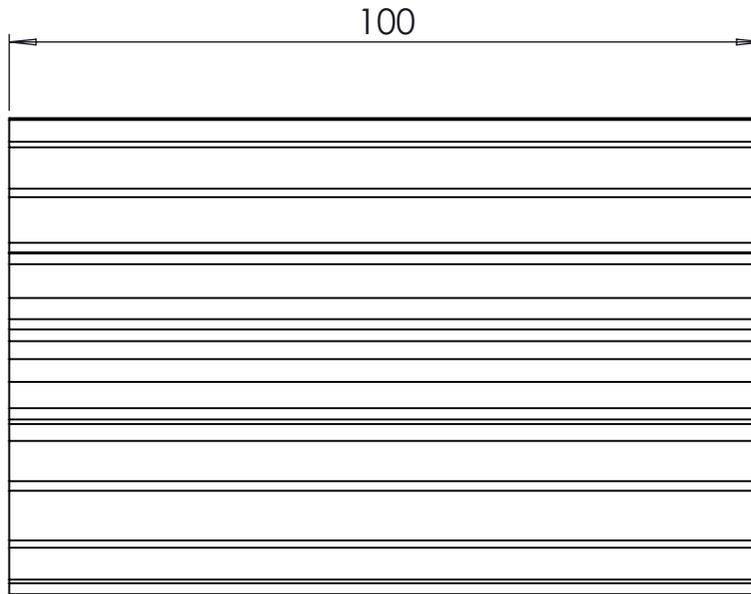


(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |  |  |  |
|---|---------------------|--|--|--|
|   | Autor               |  | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL<br>AISI 4340<br>Acero Normalizado |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |  |  |  |
| Fecha   | 09/09/2017          |  |  |  |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |  |  |  |
| ESCALA: 1:1                                   |                     |  |  |  |
|   |                     |  | <b>Engranaje Satélite Etapa 1</b>  |  |
|   |                     |  | MARCA: 2.2   |  |



$\varnothing 32 \text{ H7 } \left( \begin{matrix} +0.03 \\ 0 \end{matrix} \right)$



| Engranaje Satélite Etapa 2 |       |
|----------------------------|-------|
| Módulo                     | 3     |
| Nº de dientes              | 19    |
| Diámetro de paso           | 57 mm |
| Ángulo de presión          | 20°   |

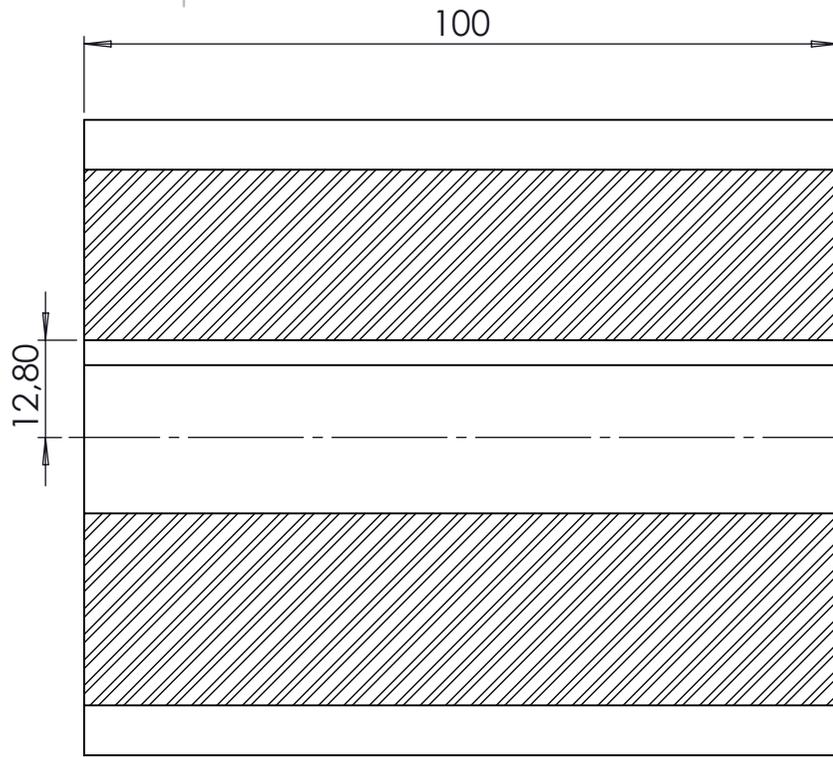
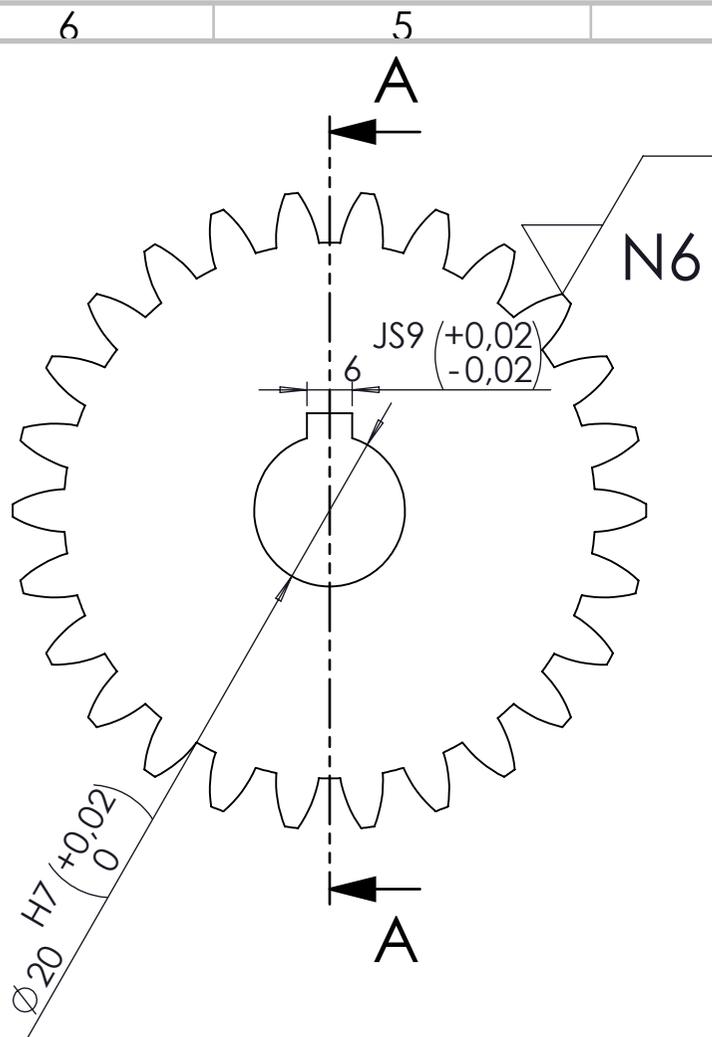
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1mm en las aristas vivas.



(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |                                |
|---|---------------------|---|--|--------------------------------|
|   | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                       |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   |  | AISI 4340<br>Acero Normalizado |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  |                                |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |                                |
| ESCALA: 1:1                                   |                     |                               | <b>Engranaje Satélite Etapa 2</b>  |                                |
|   |                     |   | MARCA: 2.3   |                                |



SECCIÓN A-A

| Engranaje Sol Etapa 2 |       |
|-----------------------|-------|
| Módulo                | 3     |
| Nº de dientes         | 26    |
| Diámetro de paso      | 78 mm |
| Ángulo de presión     | 20°   |

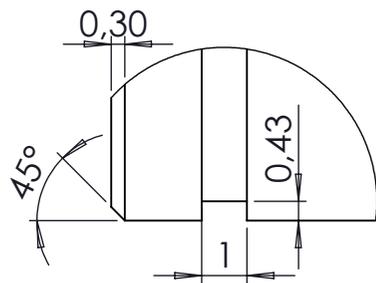
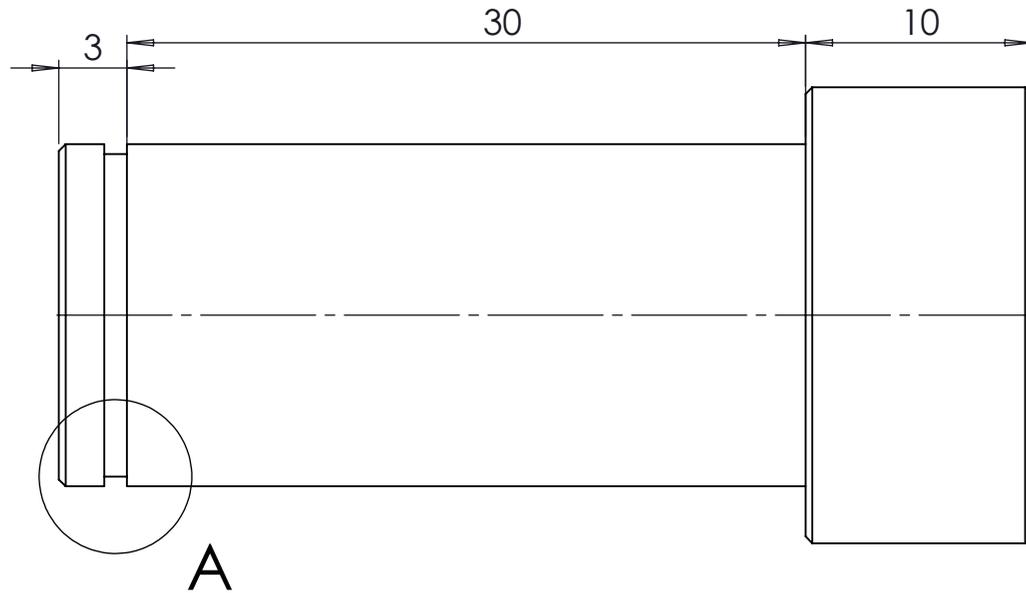
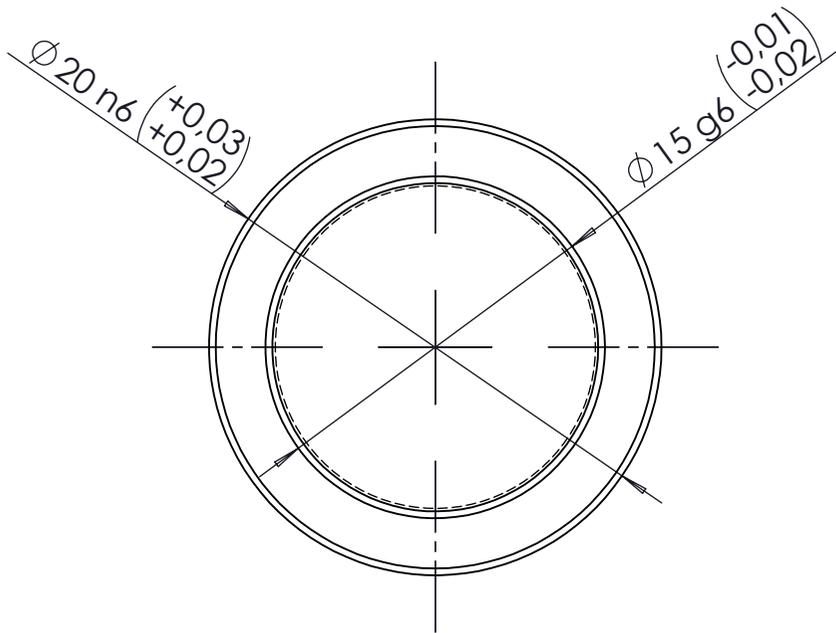
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.



(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |  |  |                                |
|---|---------------------|--|--|--------------------------------|
|   | Autor               |  | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                       |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |  |  | AISI 4340<br>Acero Normalizado |
| Fecha   | 09/09/2017          |  |  |                                |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |  |  |                                |
| ESCALA: 1:1                                   |                     |  |  | MARCA: 2.4                     |
| <h1>Engranaje Sol Etapa 2</h1>                |                     |  |  |                                |



DETALLE A  
ESCALA 6 : 1

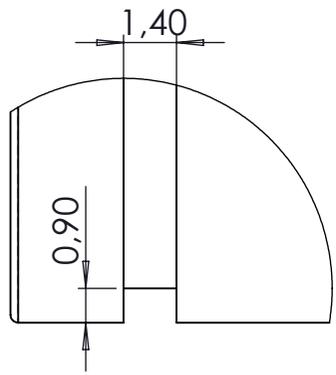
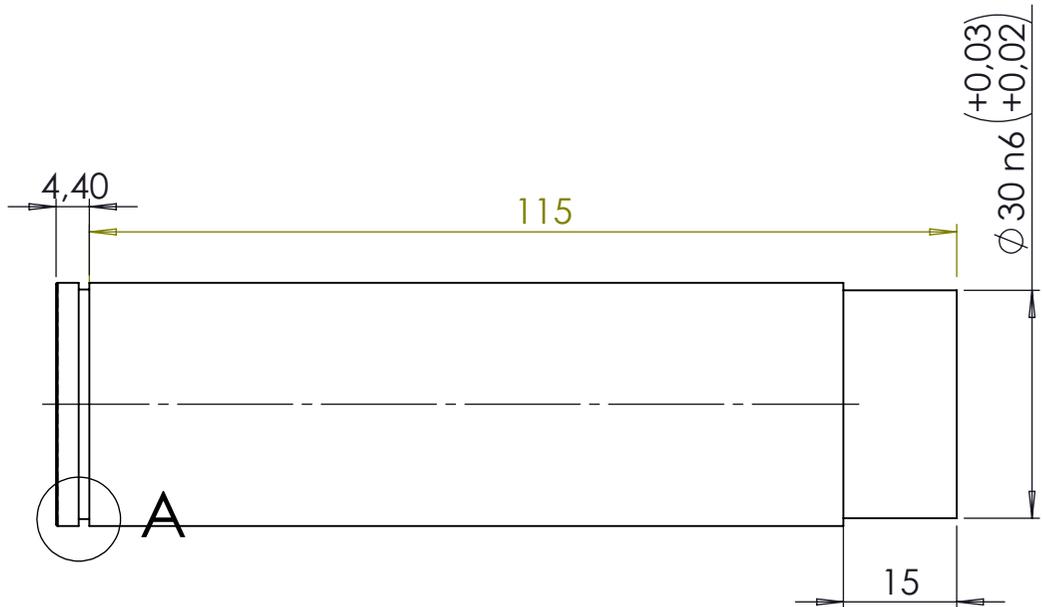
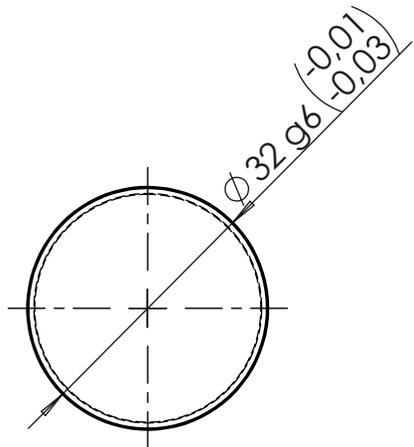


N6 (En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

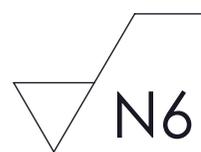
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |  |                                |
|---|---------------------|---|--|--------------------------------|
|   | Autor               |  | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                       |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   |  | AISI 4340<br>Acero Normalizado |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |  |                                |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |  |                                |
| ESCALA: 3:1                                   |                     |   |  | MARCA: 2.5                     |
|   |                     |   |  | <h1>Eje Satélites Etapa 1</h1> |



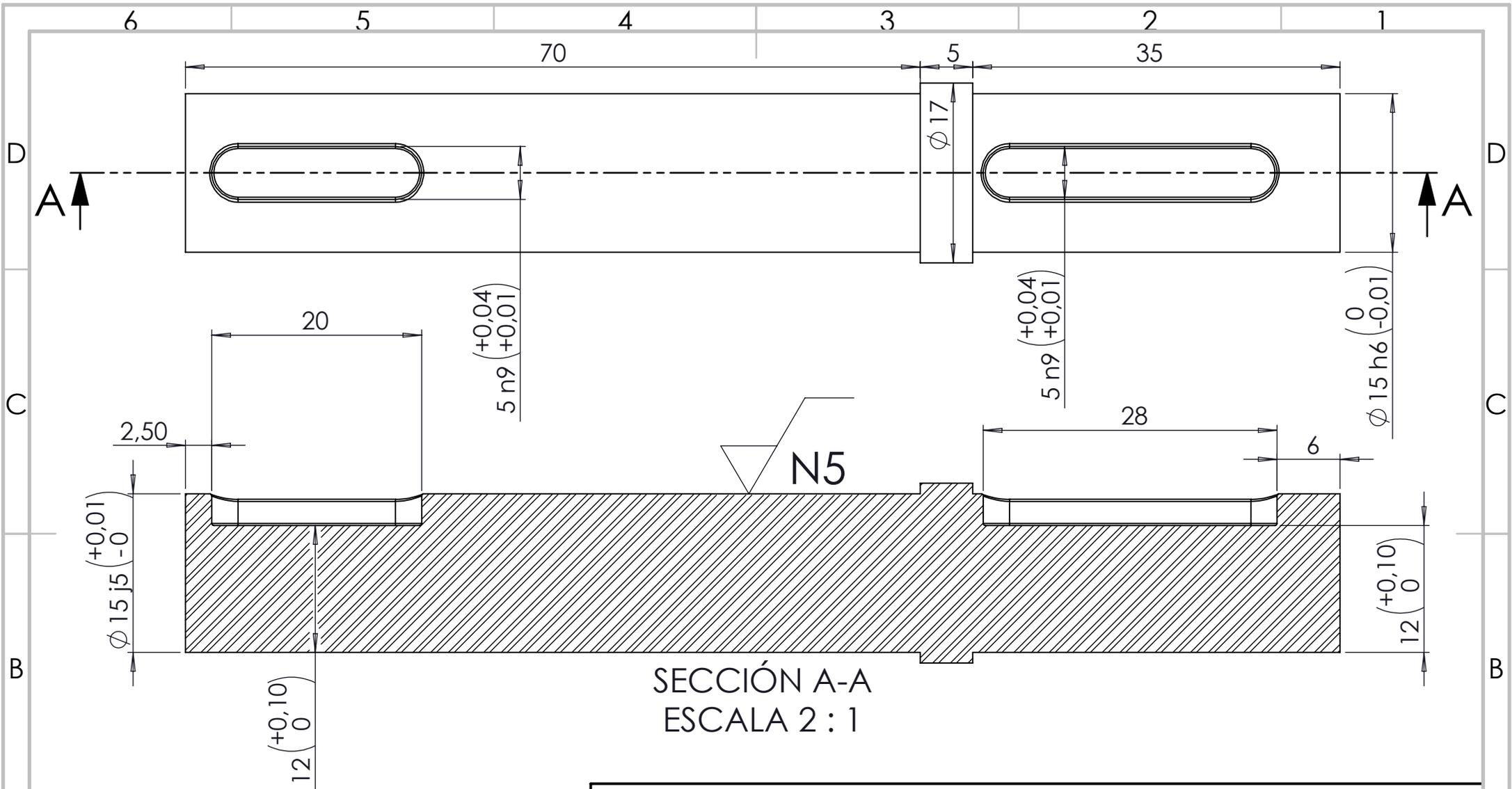
DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



N6 (En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.  
Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |   |                                |  |
|---|---------------------|---|--------------------------------|--|
|   | Autor               | <br>ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                       |  |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |   | AISI 4340<br>Acero Normalizado |  |
| Fecha   | 09/09/2017          |   |                                |  |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |   |                                |  |
| ESCALA: 1:1                                   |                     |   | <h1>Eje Satélite Etapa 2</h1>  |  |
|   |                     |   |                                |  |



SECCIÓN A-A  
ESCALA 2 : 1

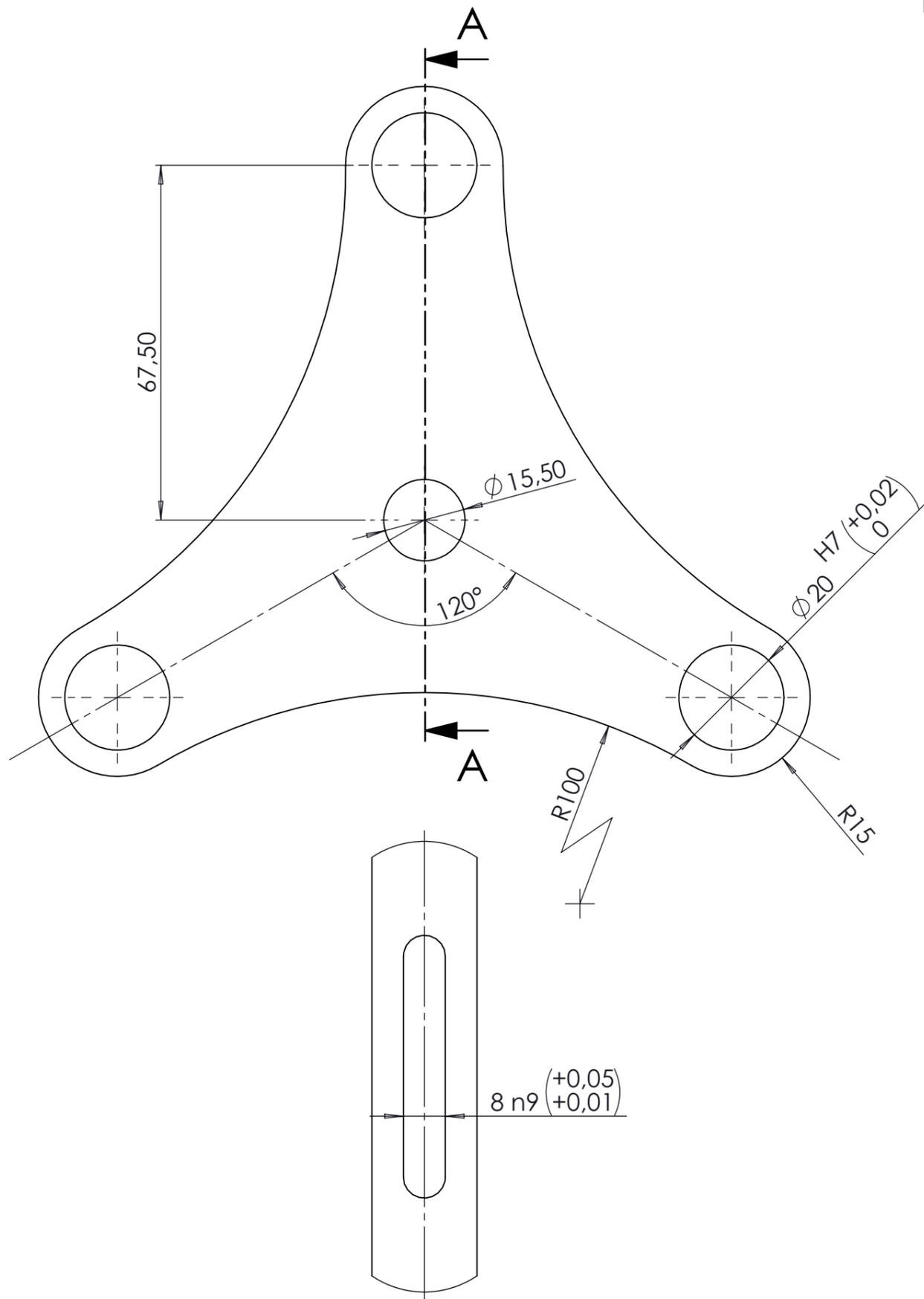
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.



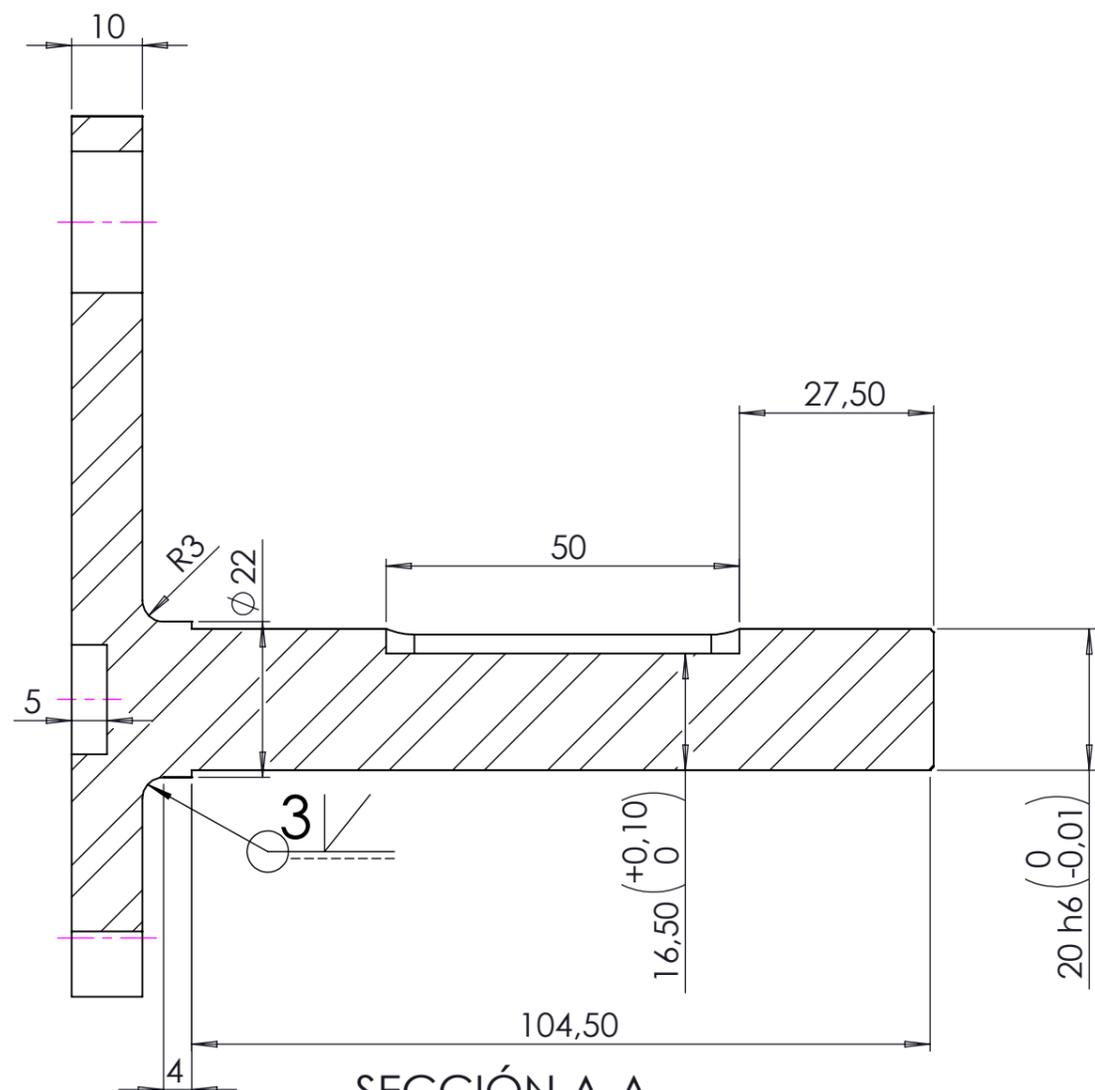
(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA  |                     |   |   |                                     |
|--|---------------------|---|---|-------------------------------------|
|  | Autor               | <br>Universidad de La Laguna | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA | MATERIAL                            |
| Dibujado   | Saúl Negrín Masagué |   | Grado Ingeniería Mecánica                   | AISI 1045<br>Acero estirado en frío |
| Fecha  | 09/09/2017          |   | Universidad de La Laguna                    |                                     |
| Id. s. normas  | UNE-EN-DIN          |   |   |                                     |
| ESCALA: 2:1  |                     | <h1>Eje de Entrada</h1>   |   | MARCA: 2.13                         |
|  |                     |   |   |                                     |



Detalle  
Chavetero



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

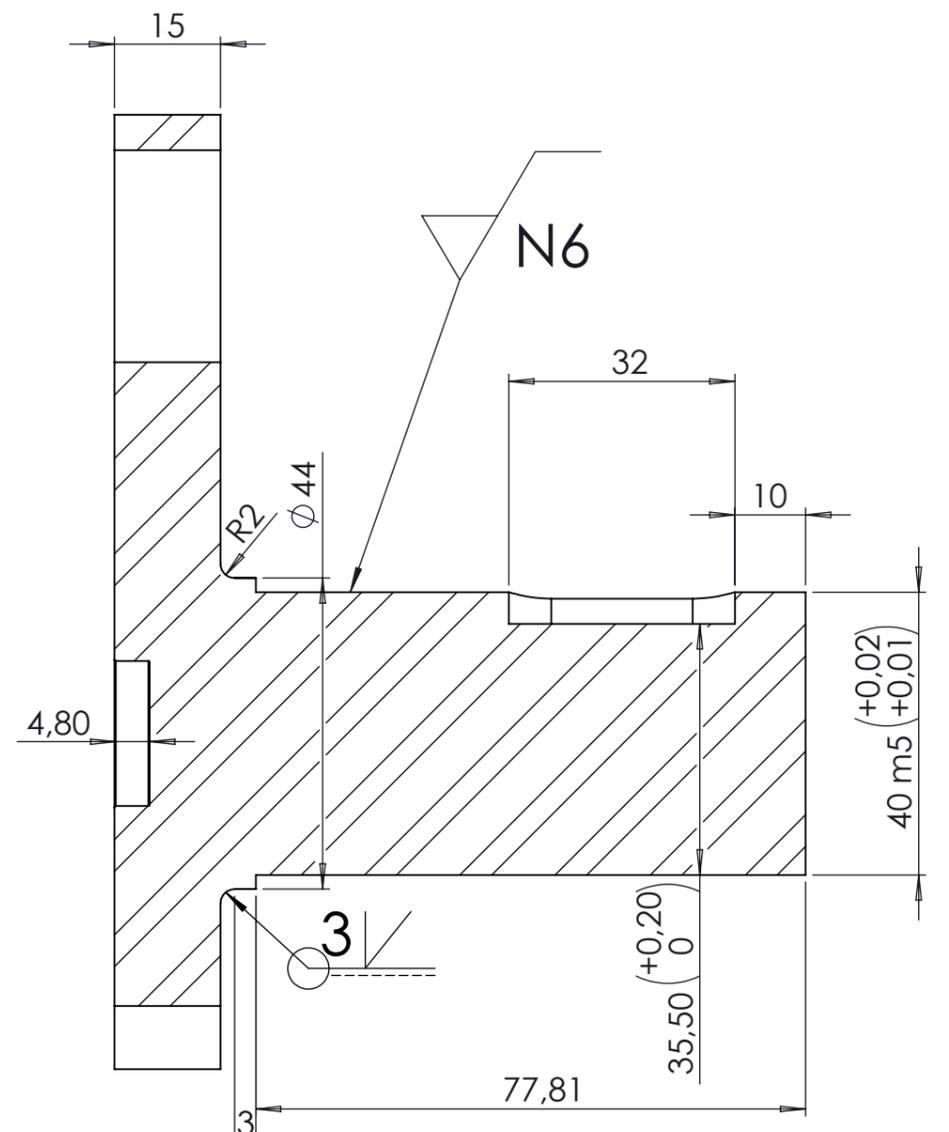
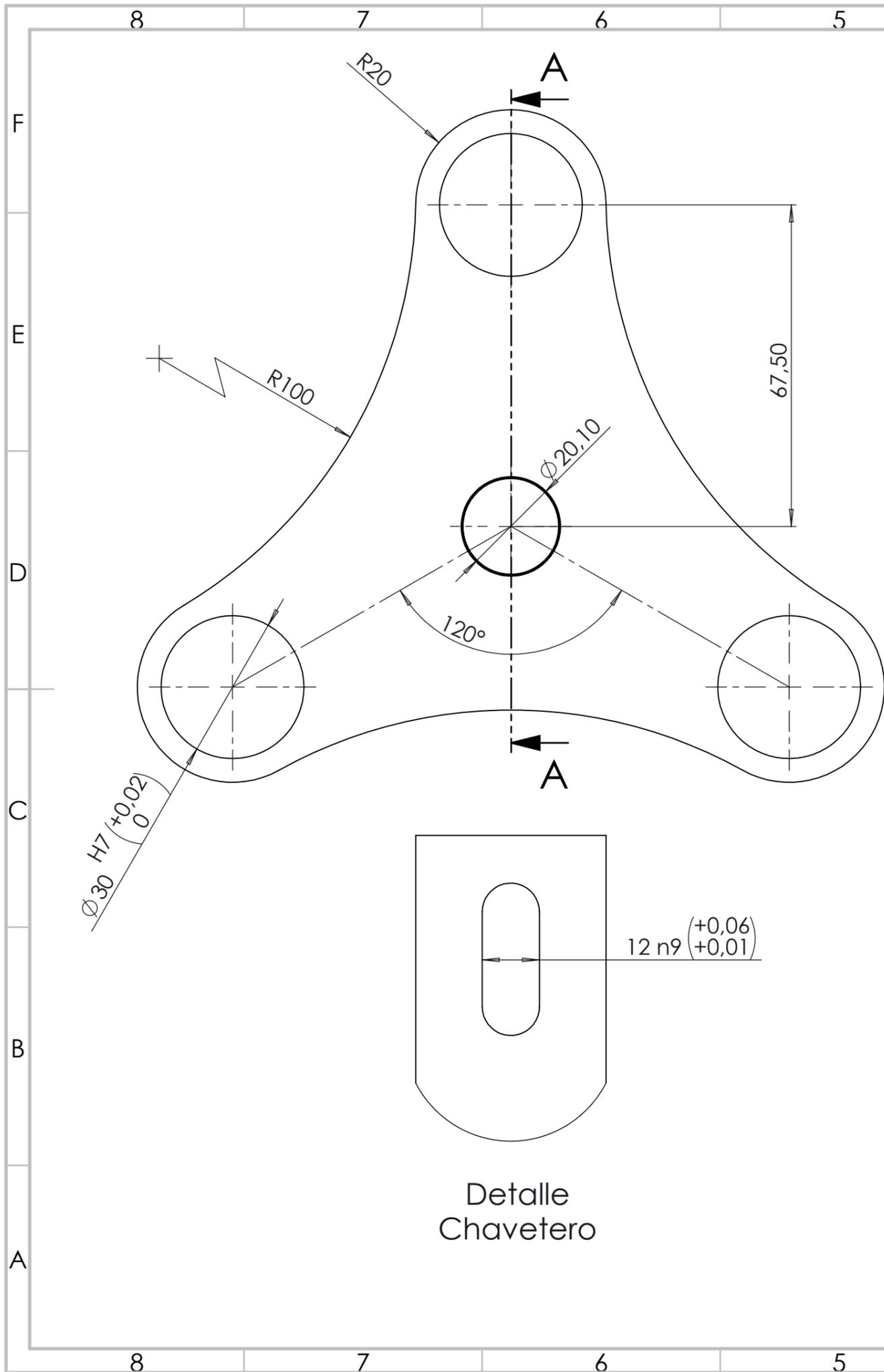
Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.



(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA |                     |  |  |                                     |
|---|---------------------|--|--|-------------------------------------|
|   | Autor               |  | ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                            |
| Dibujado                                      | Saúl Negrín Masagué |  |  | AISI 1045<br>Acero Estirado en frío |
| Fecha   | 09/09/2017          |  |  |                                     |
| Id. s. normas                                 | UNE-EN-DIN          |  |  |                                     |
| ESCALA: 1:1                                   |                     |  |  | MARCA: 2.14                         |
|   |                     |  |  |                                     |



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

Si no se especifica, las tolerancias dimensionales serán de 0.1 mm.

Si no se especifica un redondeo o chaflán, se matará el filo a 1 mm en las aristas vivas.



(En todas las superficies si no se especifica lo contrario)

|   |                     |                          |   |                                     |
|---|---------------------|--------------------------|---|-------------------------------------|
| CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE CON SOBREPOTENCIA   |                     |                          |   |                                     |
|   | Autor               |                          | <br>ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Grado Ingeniería Mecánica<br>Universidad de La Laguna | MATERIAL                            |
| Dibujado  | Saúl Negrín Masagué |                          |   | AISI 1045<br>Acero Estirado en frío |
| Fecha   | 09/09/2017          |                          |   |                                     |
| Id. s. normas   | UNE-EN-DIN          |                          |   |                                     |
| ESCALA: 1:1   |                     |                          |   |                                     |
|  |                     | Soporte Satélite Etapa 2 |   | MARCA: 2.15                         |





Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

**Pliego de Condiciones**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología  
Sección de Ingeniería Industrial

Diseño de una caja reductora con embrague de protección con  
sobrepotencia.

## Índice Pliego de Condiciones

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| <b>1.</b> | <b>CONDICIONES GENERALES.....</b> | <b>4</b> |
| 1.1.      | CONDICIONES DE USO GENERAL. ....  | 4        |
| <b>2.</b> | <b>CONDICIONES TÉCNICAS.....</b>  | <b>4</b> |
| 2.1.      | ACABADOS SUPERFICIALES. ....      | 4        |
| 2.2.      | MONTAJE.....                      | 4        |
| 2.3.      | ORDEN DE MONTAJE. ....            | 5        |
| <b>3.</b> | <b>MANTENIMIENTO. ....</b>        | <b>6</b> |

El pliego de condiciones que se redactará a continuación hará referencia al diseño y montaje de la caja reductora con embrague de sobrepotencia de éste proyecto.

## **1. Condiciones generales.**

En este proyecto se tendrán en cuenta, de forma genérica, todas las indicaciones técnicas suministradas por los fabricantes de los diferentes componentes que forman parte del ensamblaje. Por lo tanto, quedan excluidos de este pliego dichos componentes.

### **1.1. Condiciones de uso general.**

La caja reductora que trata este proyecto está diseñada para ser impulsada por un motor eléctrico de 4kW y 1800rpm. La máquina impulsada será de impacto moderado y la velocidad de giro será de aproximadamente 150rpm. Dado que no se especifica en este proyecto el uso que se le va a dar a la caja reductora, podrá ser utilizada en el ámbito industrial dentro de los parámetros establecidos en este proyecto.

Como medida de protección contra las sobrepotencias, la caja reductora está equipada con un embrague de disco que estará debidamente calibrado al par de entrada, para de esta manera, evitar que la velocidad de salida sea mayor de lo requerido.

## **2. Condiciones técnicas.**

### **2.1. Acabados superficiales.**

Será de suma importancia lograr los acabados superficiales especificados en los planos realizando el mecanizado con la máquina-herramienta más adecuada para tales rugosidades. De tal forma, también se procurará eliminar las aristas vivas de las piezas biselando o achaflanando los bordes, ya que suponen un peligro para los trabajadores o personas que manipularán la caja reductora, tanto durante su montaje como en el mantenimiento.

### **2.2. Montaje.**

Para el correcto montaje del conjunto de la reductora, se han de definir una serie de especificaciones y directrices. Si el elemento a montar pesa más de 15kg, se deberá levantar mediante una eslinga y un polipasto de cadena o un sistema de elevación adecuado para reducir las lesiones del operario y los sobreesfuerzos.

Para la unión por soldadura del soporte de retén y rodamiento en la tapa, tanto la tapa de entrada como la de salida, se realizará mediante un patrón de ensamblaje que asegure la

centralidad de las dos piezas en el caso de que se fabriquen en serie. Si por el contrario, se trata de montar una caja reductora, ya sea por mantenimiento y reparación como por fabricación de una única caja reductora, se puede centrar en el torno ambas piezas y dar uno o dos puntos de soldadura para asegurar la unión, para finalmente, fuera del torno, realizar la soldadura completa.

En el montaje de las tapas al engranaje interno, se utilizará una pasta de juntas con resistencia a la temperatura de más de 100°C para garantizar la estanqueidad y evitar la pérdida del lubricante.

En la parte inferior de la tapa del eje de entrada y por dentro de la reductora se colocará un pequeño imán para recoger las virutas metálicas que puedan quedar en el lubricante por causa del rozamiento entre los engranajes.

En el montaje de los engranajes y de los ejes se utilizará el aceite lubricante para garantizar la lubricación del movimiento de unos elementos respecto a otros.

### **2.3. Orden de montaje.**

- Tras haber soldado el alojamiento del rodamiento y del retén (tanto del eje de entrada, como el del eje de salida) a la tapa correspondiente, se procede a insertar los rodamientos y los retenes en los correspondiente orificios.
- Se montan los ejes de los satélites en los soportes de los mismos.
- Se colocan los engranajes de los satélites en los correspondientes ejes y se aseguran mediante el anillo de retención o circlip.
- Se recomienda unir mediante los tornillos la tapa del eje de salida con el engranaje interno tras haber aplicado la correspondiente pasta de juntas resistente a la temperatura entre las dos superficies, asegurando la unión y apretando los tornillos mediante el sistema de apriete en estrella para evitar deformaciones en la tapa. También se unirá el soporte de la reductora correspondiente (o pata de la reductora), ya que 4 de los tornillos sujetan esta pata con la caja.
- Se procede a introducir el soporte de satélites, con los satélites dentro de la reductora (engranaje interno y tapa de salida) haciendo pasar el eje de salida del soporte a través del rodamiento y del retén con cuidado y con ayuda de un mazo de teflón, nylon o madera hasta el final.

- Se coloca la chaveta correspondiente en el eje de salida del soporte de los satélites de la etapa 1 y se coloca aquí el engranaje sol de la etapa 2 y seguidamente se introduce dentro de la reductora, alineando y centrando el engranaje sol de la etapa 2 con los engranajes satélites de la etapa 2.
- Se pone la chaveta correspondiente en el eje de entrada del lado que va dentro de la reductora y se coloca el engranaje sol de la etapa 1 en este eje y se coloca en el interior de la reductora alineándolo y centrándolo con respecto a los engranajes satélites de la etapa 1.
- Tras haber aplicado la pasta de juntas con resistencia a altas temperaturas en la tapa y colocar un pequeño imán, se procede a unir con el engranaje interno, alineándola con dos tornillos antes de unir las dos superficies. También se unirá en este paso la pata correspondiente a este lado y se apretarán los tornillos mediante el sistema en estrella para reducir las deformaciones de la tapa y las posibles fugas de lubricante.
- Se colocan las chavetas, tanto del eje de salida como del eje de entrada unida al eje mediante cinta adhesiva de cualquier tipo hasta su montaje/acople para que no se pierdan.
- Se coloca el tornillo de tapón de vaciado junto con la correspondiente arandela de cobre a fuerza de mano en el orificio de vaciado.
- Se introduce el lubricante con un “tristel” o una herramienta de trasvase de líquidos por el orificio de llenado del lubricante hasta que rebose y salga por dicho orificio. Este es el nivel de llenado máximo.
- Se coloca el tornillo de tapón de llenado con la arandela de cobre en el orificio de llenado.
- El embrague se colocará en el lugar de montaje y se alineará el motor con la reductora y la máquina impulsada.

### **3. Mantenimiento.**

El mantenimiento abarca todas aquellas acciones que se realizan con el fin de preservar las condiciones óptimas de funcionamiento del equipo. El mantenimiento se adaptará al uso que se le dará a la caja reductora, quedando a responsabilidad del usuario final la inspección periódica del mismo para comprobar que los componentes se encuentren en buenas condiciones.

Para facilitar el mantenimiento, la carcasa se ha diseñado de tal forma que permita su desmontaje para poder acceder y visualizar los componentes internos. También se ha añadido un orificio de llenado de lubricante y un tapón de drenaje para el cambio del lubricante.

Para el mantenimiento de los elementos comerciales y normalizados presentes en el ensamblaje, se recurrirá a los catálogos y manuales suministrados por sus fabricantes, ya que en ellos se expresan todas las instrucciones para su mantenimiento, para su uso y sus limitaciones.





Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA CAJA REDUCTORA CON EMBRAGUE  
DE PROTECCIÓN CON SOBREPOTENCIA.**

**Presupuesto y mediciones**

AUTOR: **Saúl Negrín Masagué**

TUTOR: **Carmelo Militello Militello**

Julio de 2017

## Diseño de una caja reductora con embrague de protección con sobrepotencia.

## Índice Presupuesto y Mediciones

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>CUADRO DE PRECIOS.....</b>                 | <b>4</b>  |
| 1.1.      | MANO DE OBRA. ....                            | 4         |
| 1.2.      | MATERIALES. ....                              | 4         |
| 1.3.      | MAQUINARIA.....                               | 5         |
| <b>2.</b> | <b>ESTADO DE MEDICIONES.....</b>              | <b>6</b>  |
| <b>3.</b> | <b>CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTO.....</b>    | <b>7</b>  |
| 3.1.      | ENGRANAJES.....                               | 7         |
| 3.2.      | EJES. ....                                    | 8         |
| 3.3.      | CARCASA.....                                  | 9         |
| 3.4.      | SOPORTE SATÉLITES. ....                       | 10        |
| 3.5.      | RODAMIENTOS.....                              | 10        |
| 3.6.      | EMBRAGUE.....                                 | 10        |
| 3.7.      | RETENES. ....                                 | 10        |
| 3.8.      | CIRCLIPS.....                                 | 11        |
| 3.9.      | CHAVETAS. ....                                | 11        |
| 3.10.     | ARANDELAS. ....                               | 11        |
| 3.11.     | TORNILLERÍA. ....                             | 11        |
| 3.12.     | MONTAJE.....                                  | 11        |
| 3.13.     | ELEMENTOS AUXILIARES. ....                    | 12        |
| <b>4.</b> | <b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....</b> | <b>13</b> |
| <b>5.</b> | <b>PRESUPUESTO DE BASE POR CONTRATA.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>6.</b> | <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>                  | <b>15</b> |

## 1. Cuadro de precios.

### 1.1. Mano de obra.

| Categoría          | €/h  |
|--------------------|------|
| Oficial de primera | 14,5 |
| Oficial de segunda | 10   |

Tabla presupuesto y mediciones 1: Precio mano de obra.

### 1.2. Materiales.

| Material                           | Precio | Unidad |
|------------------------------------|--------|--------|
| Acero F114 (AISI 1045)             | 3,7    | €/kg   |
| Acero F127 (AISI 1045)             | 4,15   | €/kg   |
| Arandela plana inox. M10 A4        | 0,08   | €/und  |
| Tornillo allen inox. M10x30 A4     | 1,08   | €/und  |
| Tornillo allen inox. M8x1,25x12 A4 | 0,88   | €/und  |
| Tornillo allen inox. M20x2,5x30 A4 | 6,95   | €/und  |
| Arandela cobre M20                 | 2,1    | €/und  |
| Arandela cobre M8                  | 0,93   | €/und  |
| Retén 15x26x7                      | 1,17   | €/und  |
| Retén 40x55x7                      | 2,1    | €/und  |
| Chaveta paralela 5x5x28            | 1,06   | €/und  |
| Chaveta paralela 8x7x50            | 0,67   | €/und  |
| Chaveta paralela 5x5x20            | 0,93   | €/und  |
| Chaveta paralela 12x8x32           | 0,91   | €/und  |
| Circlip exterior 15mm              | 0,7    | €/und  |
| Circlip exterior 32mm              | 1,06   | €/und  |
| Rodamiento bolas SKF6308           | 24,2   | €/und  |
| Rodamiento bolas SKF6208           | 17,77  | €/und  |
| Embrague                           | 425,48 | €/und  |
| Pasta juntas alta temperatura      | 7      | €/und  |
| SAE 80-90W lubricante              | 5,32   | €/L    |

Tabla presupuesto y mediciones 2: Precios materiales.

### 1.3. Maquinaria.

| Máquina             | Precio | Unidade |
|---------------------|--------|---------|
| Torno               | 20     | €/h     |
| Fresadora           | 25     | €/h     |
| Rectificadora       | 30     | €/h     |
| Taladrado y roscado | 15     | €/h     |
| Taladrado           | 10     | €/h     |
| Soldadura           | 20     | €/h     |

*Tabla presupuesto y mediciones 3: Precios maquinaria.*

## 2. Estado de mediciones.

|                   | Elemento                           | Cantidad |
|-------------------|------------------------------------|----------|
| Engranajes        | Engranaje Sol Etapa 1              | 1        |
|                   | Engranaje Satélite Etapa 1         | 3        |
|                   | Engranaje Sol Etapa 2              | 1        |
|                   | Engranaje Satélite Etapa 2         | 3        |
|                   | Engranaje interno                  | 1        |
| Ejes              | Eje Satélite Etapa 1               | 3        |
|                   | Eje Satélite Etapa 2               | 3        |
|                   | Eje entrada                        | 1        |
| Carcasa           | Tapa eje de entrada                | 1        |
|                   | Tapa eje de salida                 | 1        |
|                   | Soporte reductora                  | 2        |
|                   | Alojamiento retén entrada          | 1        |
|                   | Alojamiento retén salida           | 1        |
| Soporte Satélites | Soporte Satélites Etapa 1          | 1        |
|                   | Soporte Satélites Etapa 2          | 1        |
| Rodamientos       | Rodamiento bolas SKF6308           | 1        |
|                   | Rodamiento bolas SKF6208           | 1        |
| Embrague          | Embrague                           | 1        |
| Retenes           | Retén 15x26x7                      | 1        |
|                   | Retén 40x55x7                      | 1        |
| Circlip           | Circlip exterior 15mm              | 3        |
|                   | Circlip exterior 32mm              | 3        |
| Chaveta           | Chaveta paralela 5x5x28            | 1        |
|                   | Chaveta paralela 8x7x50            | 1        |
|                   | Chaveta paralela 5x5x20            | 1        |
|                   | Chaveta paralela 12x8x32           | 1        |
| Arandelas         | Arandela plana inox. M10 A4        | 16       |
|                   | Arandela cobre M20                 | 1        |
|                   | Arandela cobre M8                  | 1        |
| Tornillería       | Tornillo allen inox. M10x30 A4     | 16       |
|                   | Tornillo allen inox. M8x1,25x12 A4 | 1        |
|                   | Tornillo allen inox. M20x2,5x30 A4 | 1        |

Tabla presupuesto y mediciones 4: Mediciones.

### 3. Cuadro de precios descompuesto.

#### 3.1. Engranajes.

| Engranaje Sol Etapa 1 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|-----------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F127            | €/Kg     | 1,34     | 4,15                | 5,54             |
| Torneado              | h        | 0,7      | 20                  | 14,00            |
| Fresado               | h        | 1,5      | 25                  | 37,50            |
| Taladrado             | h        | 0,25     | 10                  | 2,50             |
| Rectificado           | h        | 0,2      | 30                  | 6,00             |
|                       |          |          | <b>Total</b>        | <b>65,54</b>     |

Tabla presupuesto y mediciones 5: Cuadro de precios descompuesto engranaje Sol Etapa 1.

| Engranaje Satélite Etapa 1 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|----------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F127                 | €/Kg     | 2,34     | 4,15                | 9,73             |
| Torneado                   | h        | 0,7      | 20                  | 14,00            |
| Fresado                    | h        | 2        | 25                  | 50,00            |
| Taladrado                  | h        | 0,25     | 10                  | 2,50             |
| Rectificado                | h        | 0,2      | 30                  | 6,00             |
|                            |          |          | <b>Total</b>        | <b>82,23</b>     |

Tabla presupuesto y mediciones 6: Cuadro de precios descompuesto engranajes Satélite Etapa 1.

| Engranaje Sol Etapa 2 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|-----------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F127            | €/Kg     | 4,45     | 4,15                | 18,48            |
| Torneado              | h        | 0,7      | 20                  | 14,00            |
| Fresado               | h        | 2        | 25                  | 50,00            |
| Taladrado             | h        | 0,25     | 10                  | 2,50             |
| Rectificado           | h        | 0,2      | 30                  | 6,00             |
|                       |          |          | <b>Total</b>        | <b>90,98</b>     |

Tabla presupuesto y mediciones 7: Cuadro de precios descompuesto engranaje Sol Etapa 2.

| Engranaje Satélite Etapa 2 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|----------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F127                 | €/Kg     | 7,82     | 4,15                | 32,43            |
| Torneado                   | h        | 0,7      | 20                  | 14,00            |
| Fresado                    | h        | 2        | 25                  | 50,00            |
| Taladrado                  | h        | 0,25     | 10                  | 2,50             |
| Rectificado                | h        | 0,2      | 30                  | 6,00             |
|                            |          |          | <b>Total</b>        | <b>104,93</b>    |

Tabla presupuesto y mediciones 8: Cuadro de precios descompuesto engranajes Satélite Etapa 2.

| Engranaje interno   | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|---------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F127          | €/Kg     | 24,28    | 4,15                | 100,75           |
| Torneado            | h        | 1,5      | 20                  | 30,00            |
| Taladrado y roscado | h        | 0,7      | 15                  | 10,50            |
| Fresado             | h        | 2        | 25                  | 50,00            |
| Rectificado         | h        | 0,5      | 30                  | 15,00            |
|                     |          |          | <b>Total</b>        | <b>206,25</b>    |

Tabla presupuesto y mediciones 9: Cuadro de precios descompuesto engranaje interno.

### 3.2. Ejes.

| Ejes                 |          |          |                     |                  |
|----------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Eje Satélite Etapa 1 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Acero F127           | €/Kg     | 0,11     | 4,15                | 0,44             |
| Torneado             | h        | 1,5      | 20                  | 30,00            |
| Fresado              | h        | 0,25     | 25                  | 6,25             |
| Rectificado          | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |

Tabla presupuesto y mediciones 10: Cuadro de precios descompuesto ejes satélites Etapa 1.

| Ejes                 |          |          |                     |                  |
|----------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Eje Satélite Etapa 2 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Acero F127           | €/Kg     | 0,76     | 4,15                | 3,15             |
| Torneado             | h        | 1,5      | 20                  | 30,00            |
| Fresado              | h        | 0,25     | 25                  | 6,25             |
| Rectificado          | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |

Tabla presupuesto y mediciones 11: Cuadro de precios descompuesto ejes satélites Etapa 2.

| Ejes        |          |          |                     |                  |
|-------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Eje entrada | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Acero F114  | €/Kg     | 0,27     | 3,7                 | 1,00             |
| Torneado    | h        | 0,5      | 20                  | 10,00            |
| Fresado     | h        | 0,4      | 25                  | 10,00            |
| Rectificado | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |

Tabla presupuesto y mediciones 12: Cuadro de precios descompuesto eje de entrada.

### 3.3. Carcasa.

| Carcasa             |          |          |                     |                  |
|---------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Tapa eje de entrada | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Acero F114          | €/Kg     | 3,08     | 3,7                 | 11,40            |
| Torneado            | h        | 0,8      | 20                  | 16,00            |
| Fresado             | h        | 0,3      | 25                  | 7,50             |
| Taladrado           | h        | 0,5      | 10                  | 5,00             |
| Rectificado         | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |
| Soldadura           | h        | 0,25     | 20                  | 5,00             |

Tabla presupuesto y mediciones 13: Cuadro de precios descompuesto tapa eje de entrada.

| Tapa eje de salida | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|--------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F114         | €/Kg     | 1,93     | 3,7                 | 7,14             |
| Torneado           | h        | 0,8      | 20                  | 16,00            |
| Fresado            | h        | 0,3      | 25                  | 7,50             |
| Taladrado          | h        | 0,5      | 10                  | 5,00             |
| Rectificado        | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |
| Soldadura          | h        | 0,25     | 20                  | 5,00             |

Tabla presupuesto y mediciones 14: Cuadro de precios descompuesto tapa eje de salida.

| Soporte reductora | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|-------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F114        | €/Kg     | 5,72     | 3,7                 | 21,16            |
| Fresado           | h        | 1        | 25                  | 25,00            |
| Taladrado         | h        | 0,6      | 10                  | 6,00             |
| Rectificado       | h        | 0,2      | 30                  | 6,00             |

Tabla presupuesto y mediciones 15: Cuadro de precios descompuesto soporte reductora.

| Alojamiento retén entrada | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|---------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F114                | €/Kg     | 0,56     | 3,7                 | 2,07             |
| Torneado                  | h        | 1        | 20                  | 20,00            |
| Rectificado               | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |

Tabla presupuesto y mediciones 16: Cuadro de precios descompuesto alojamiento retén entrada.

| Alojamiento retén salida | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|--------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Acero F114               | €/Kg     | 1,67     | 3,7                 | 6,18             |
| Torneado                 | h        | 1        | 20                  | 20,00            |
| Rectificado              | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |

Tabla presupuesto y mediciones 17: Cuadro de precios descompuesto alojamiento retén salida.

### 3.4. Soporte satélites.

| Soporte Satélites         |          |          |                     |                  |
|---------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Soporte Satélites Etapa 1 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Acero F114                | €/Kg     | 0,9      | 3,7                 | 3,33             |
| Torneado                  | h        | 0,5      | 20                  | 10,00            |
| Fresado                   | h        | 2        | 25                  | 50,00            |
| Taladrado                 | h        | 0,5      | 10                  | 5,00             |
| Rectificado               | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |
| Soldadura                 | h        | 0,25     | 20                  | 5,00             |

Tabla presupuesto y mediciones 18: Cuadro de precios descompuesto soporte satélites Etapa 1.

| Soporte Satélites Etapa 2 |          |          |                     |                  |
|---------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Soporte Satélites Etapa 2 | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Acero F114                | €/Kg     | 1,9      | 3,7                 | 7,03             |
| Torneado                  | h        | 0,5      | 20                  | 10,00            |
| Fresado                   | h        | 2        | 25                  | 50,00            |
| Taladrado                 | h        | 0,5      | 10                  | 5,00             |
| Rectificado               | h        | 0,25     | 30                  | 7,50             |
| Soldadura                 | h        | 0,25     | 20                  | 5,00             |

Tabla presupuesto y mediciones 19: Cuadro de precios descompuesto soporte satélites Etapa 2.

### 3.5. Rodamientos.

| Rodamientos              |          |          |                     |                  |
|--------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
|                          | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Rodamiento bolas SKF6308 | Ud.      | 1        | 24,2                | 24,20            |
| Rodamiento bolas SKF6208 | Ud.      | 1        | 17,77               | 17,77            |

Tabla presupuesto y mediciones 20: Cuadro de precios descompuesto rodamientos.

### 3.6. Embrague.

| Embrague |          |          |                     |                  |
|----------|----------|----------|---------------------|------------------|
|          | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Embrague | Ud.      | 1        | 425,48              | 425,48           |

Tabla presupuesto y mediciones 21: Cuadro de precios descompuesto embrague.

### 3.7. Retenes.

| Retenes       |          |          |                     |                  |
|---------------|----------|----------|---------------------|------------------|
|               | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Retén 15x26x7 | Ud.      | 1        | 1,17                | 1,17             |
| Retén 40x55x7 | Ud.      | 1        | 2,1                 | 2,10             |

Tabla presupuesto y mediciones 22: Cuadro de precios descompuesto retenes.

### 3.8. Circlips.

| Circlip               |          |          |                     |                  |
|-----------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
|                       | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Circlip exterior 15mm | Ud.      | 3        | 0,7                 | 2,10             |
| Circlip exterior 32mm | Ud.      | 3        | 1,06                | 3,18             |

Tabla presupuesto y mediciones 23: Cuadro de precios descompuesto circlips.

### 3.9. Chavetas.

| Chaveta                  |          |          |                     |                  |
|--------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
|                          | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Chaveta paralela 5x5x28  | Ud.      | 1        | 1,06                | 1,06             |
| Chaveta paralela 8x7x50  | Ud.      | 1        | 0,67                | 0,67             |
| Chaveta paralela 5x5x20  | Ud.      | 1        | 0,93                | 0,93             |
| Chaveta paralela 12x8x32 | Ud.      | 1        | 0,91                | 0,91             |

Tabla presupuesto y mediciones 24: Cuadro de precios descompuesto chavetas.

### 3.10. Arandelas.

| Arandelas                   |          |          |                     |                  |
|-----------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
|                             | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Arandela plana inox. M10 A4 | Ud.      | 16       | 0,08                | 1,28             |
| Arandela cobre M20          | Ud.      | 1        | 2,1                 | 2,10             |
| Arandela cobre M8           | Ud.      | 1        | 0,93                | 0,93             |

Tabla presupuesto y mediciones 25: Cuadro de precios descompuesto arandelas.

### 3.11. Tornillería.

| Tornillería                        |          |          |                     |                  |
|------------------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
|                                    | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
| Tornillo allen inox. M10x30 A4     | Ud.      | 16       | 1,08                | 17,28            |
| Tornillo allen inox. M8x1,25x12 A4 | Ud.      | 1        | 0,88                | 0,88             |
| Tornillo allen inox. M20x2,5x30 A4 | Ud.      | 1        | 6,95                | 6,95             |

Tabla presupuesto y mediciones 26: Cuadro de precios descompuesto tornillería.

### 3.12. Montaje.

|                    | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|--------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Oficial de primera | h        | 1        | 14,5                | 14,50            |
| Oficial de segunda | h        | 0,7      | 10                  | 7,00             |
|                    |          |          | <b>Total</b>        | <b>21,50</b>     |

Tabla presupuesto y mediciones 27: Cuadro de precios descompuesto montaje.

### 3.13. Elementos auxiliares.

|                               | Unidades | Cantidad | Precio unitario (€) | Precio total (€) |
|-------------------------------|----------|----------|---------------------|------------------|
| Pasta juntas alta temperatura | %        | 0,2      | 7                   | 1,40             |
| SAE 80-90W lubricante         | L        | 1        | 5,32                | 5,32             |
|                               |          |          | <b>Total</b>        | <b>6,72</b>      |

*Tabla presupuesto y mediciones 28: Cuadro de precios descompuesto elementos auxiliares.*

**4. Presupuesto de ejecución material.**

| <b>Presupuesto de ejecución material</b> | <b>Precio (€)</b> |
|--|-------------------|
| Engranajes                               | 549,93            |
| Ejes                                     | 119,58            |
| Carcasa                                  | 221,95            |
| Soporte Satélites                        | 165,36            |
| Rodamientos                              | 41,97             |
| Embrague                                 | 425,48            |
| Retenes                                  | 3,27              |
| Circlip                                  | 5,28              |
| Chaveta                                  | 3,57              |
| Arandelas                                | 4,31              |
| Tornillería                              | 25,11             |
| Montaje                                  | 21,50             |
| Elementos auxiliares                     | 6,72              |
| <b>Total</b>                             | <b>1594,04</b>    |

*Tabla presupuesto y mediciones 29: Presupuesto de ejecución material.*

## 5. Presupuesto de base por contrata.

| <b>Presupuesto por contrata</b>   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| Presupuesto de ejecución material | 1594,04        |
| Gastos generales (15%)            | 239,11         |
| Beneficio industrial (25%)        | 398,51         |
| I.G.I.C. (7%)                     | 111,58         |
| <b>Total</b>                      | <b>2343,23</b> |

*Tabla presupuesto y mediciones 30: Presupuesto de base por contrata.*

## 6. Índice de tablas.

|  |    |
|--|----|
| Tabla presupuesto y mediciones 1: Precio mano de obra. ....  | 4  |
| Tabla presupuesto y mediciones 2: Precios materiales. ....   | 4  |
| Tabla presupuesto y mediciones 3: Precios maquinaria. ....   | 5  |
| Tabla presupuesto y mediciones 4: Mediciones. ....   | 6  |
| Tabla presupuesto y mediciones 5: Cuadro de precios descompuesto engranaje Sol Etapa 1.....            | 7  |
| Tabla presupuesto y mediciones 6: Cuadro de precios descompuesto engranajes Satélite Etapa 1.<br>..... | 7  |
| Tabla presupuesto y mediciones 7: Cuadro de precios descompuesto engranaje Sol Etapa 2.....            | 7  |
| Tabla presupuesto y mediciones 8: Cuadro de precios descompuesto engranajes Satélite Etapa 2.<br>..... | 7  |
| Tabla presupuesto y mediciones 9: Cuadro de precios descompuesto engranaje interno.....                | 8  |
| Tabla presupuesto y mediciones 10: Cuadro de precios descompuesto ejes satélites Etapa 1. ....         | 8  |
| Tabla presupuesto y mediciones 11: Cuadro de precios descompuesto ejes satélites Etapa 2. ....         | 8  |
| Tabla presupuesto y mediciones 12: Cuadro de precios descompuesto eje de entrada. ....                 | 8  |
| Tabla presupuesto y mediciones 13: Cuadro de precios descompuesto tapa eje de entrada.....             | 9  |
| Tabla presupuesto y mediciones 14: Cuadro de precios descompuesto tapa eje de salida. ....             | 9  |
| Tabla presupuesto y mediciones 15: Cuadro de precios descompuesto soporte reductora.....               | 9  |
| Tabla presupuesto y mediciones 16: Cuadro de precios descompuesto alojamiento retén entrada.<br>.....  | 9  |
| Tabla presupuesto y mediciones 17: Cuadro de precios descompuesto alojamiento retén salida.            | 9  |
| Tabla presupuesto y mediciones 18: Cuadro de precios descompuesto soporte satélites Etapa 1.<br>.....  | 10 |
| Tabla presupuesto y mediciones 19: Cuadro de precios descompuesto soporte satélites Etapa 2.<br>.....  | 10 |
| Tabla presupuesto y mediciones 20: Cuadro de precios descompuesto rodamientos.....                     | 10 |
| Tabla presupuesto y mediciones 21: Cuadro de precios descompuesto embrague.....                        | 10 |
| Tabla presupuesto y mediciones 22: Cuadro de precios descompuesto retenes. ....                        | 10 |
| Tabla presupuesto y mediciones 23: Cuadro de precios descompuesto circlips.....                        | 11 |
| Tabla presupuesto y mediciones 24: Cuadro de precios descompuesto chavetas. ....                       | 11 |
| Tabla presupuesto y mediciones 25: Cuadro de precios descompuesto arandelas. ....                      | 11 |
| Tabla presupuesto y mediciones 26: Cuadro de precios descompuesto tornillería.....                     | 11 |
| Tabla presupuesto y mediciones 27: Cuadro de precios descompuesto montaje.....                         | 11 |
| Tabla presupuesto y mediciones 28: Cuadro de precios descompuesto elementos auxiliares.....            | 12 |
| Tabla presupuesto y mediciones 29: Presupuesto de ejecución material.....                              | 13 |
| Tabla presupuesto y mediciones 30: Presupuesto de base por contrata. ....                              | 14 |

