



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS

## TRABALLO DE FIN DE GRAO

---

# “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO”

---

GRAO EN “TECNOLOXIAS MARIÑAS”

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS

XUÑO – 2021

AUTOR: D. JOSÉ FERNANDO ROMÁN FREIRE  
DIRECTOR: D. RAFAEL SANTOS COUCEIRO



## TRABALLO DE FIN DE GRAO

---

# “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO”

---

GRAO EN “TECNOLOXÍAS MARIÑAS”

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS

XUÑO – 2021

AUTOR:

DIRECTOR

Fdo.: D. JOSÉ FERNANDO ROMÁN FREIRE

Fdo.: D. RAFAEL SANTOS COUCEIRO



# INDICE

INDICE .....	3
Índice de ilustraciones .....	5
Índice de tablas.....	7
1. Resumen .....	8
2. Objeto del estudio .....	8
3. Alcance .....	9
4. Antecedentes .....	10
5. Disposiciones legales: normas y referencias.....	10
6. Programas informáticos empleados.....	13
7. Bibliografía.....	14
7.1. Publicaciones: .....	14
7.2. Enlaces a páginas web y última fecha de consulta. ....	15
7.3. Otras fuentes de consulta.....	15
8. Definiciones y abreviaturas.....	15
9. Contextualización.....	16
10. Requisitos del diseño conforme a las especificaciones “ <i>Lloyd’S Register, Rules and Regulations for the Classification of the Ships; Main Propulsión Shafting</i> ”, y conforme al estado del arte referido a las características técnicas del conjunto de la línea de ejes. ....	18
10.1 Requerimientos constructivos. ....	19
10.1.1 Relación exhaustiva y detallada de los componentes. ....	21
10.2. Requerimientos de alineación entre elementos de la línea de ejes.....	33
10.3. Requerimientos con origen en la Indicación de la Calidad superficial según ISO 1302:2002.....	34
10.3.1 Representación gráfica de los requerimientos de acabado superficial de los componentes de la línea de ejes. ....	36
10.4. Requerimientos de tratamientos térmicos o termoquímicos para alcanzar los requerimientos constructivos. ....	39
11. Análisis de soluciones. Caso 1: Aplicación exclusiva de tolerancias dimensionales. ....	40
11.1. Tolerancia dimensional general según ISO 2768-1:1989/ UNE EN 22768:1994 ..	40
11.2 Tolerancia dimensional específica según ISO 286-1:2011 e ISO 14405-1: 2016 dimensiones lineales. Cálculo de la unidad de tolerancia e IT.....	42
11.2.2. Determinación del sistema agujero base o eje base. ....	43
11.2.3. Determinación por cálculo o bien por instrucciones de suministradores de la clase de tolerancia de los ejes. ....	44
11.2.4. Determinación de los ajustes entre componentes.....	46



11.2.5. Sistema de Tolerancias para la rosca métricas ISO..... 52

12. Análisis de soluciones. Caso 2: Aplicación de Tolerancias Geométricas..... 54

12.1 Tipología de tolerancias geométricas según norma ISO 1101:2012..... 54

12.1.1 aplicación de tolerancias geométricas sin indicación individual de tolerancias...56

Para el caso de componentes y subcomponentes que carezcan de indicación individual la norma ISO 2768 las agrupa en tres niveles de exigencia, o clases de tolerancia:..... 56

Para el caso de la redondez deben ser igual a la tolerancia dimensional de diámetro. Para indicar en el plano se indicará sobre el cajetín o bien dentro del mismo mediante el texto..... 57

12.2 Aplicación a la línea de ejes..... 57

12.2.1 Aplicación particular a componentes y subcomponentes roscados de la línea de ejes..... 62

13. Planos..... 63

Se detallan a continuación la relación de planos de incluidos..... 63

14. Conclusiones..... 64

14.1 Conclusiones técnicas..... 64

14.2 Conclusiones académicas..... 67

15. Anexos..... 67

15.1 Hoja de cálculo Excel para da contextualización dimensional de la línea de ejes de acuerdo a prescripciones de Lloyd’s Register y/o bibliografía..... 67



## Índice de ilustraciones.

Ilustración 1 Representación 3D mediante Inventor de Línea de ejes.....	18
Ilustración 2 Arreglo final de la línea de ejes completa. Elaboración propia. Disposición de la línea de ejes (elaboración propia, escalas y dimensiones del mismo no vinculantes): .....	19
Ilustración 3 Detalle Reductora del catalogo Reintjes y Detalles dimensiones Reductora Reintjes .....	22
Ilustración 4 Plato de salida de Reductora dotado de cubo nervado DIN ISO 14.....	23
Ilustración 5 Eje intermedio. Elaboración propia .....	25
Ilustración 6 Eje reducido de cola. Elaboración propia. ....	26
Ilustración 7 Eje de cola ensamblado a casquillos de bronce con acoplamiento hidráulico SKF OKF. (Elaboración propia) .....	26
Ilustración 8 Acoplamiento hidráulico ensamblado Tipo SKF OKF 350. Vista en corte y vista posterior.....	27
Ilustración 9 Acoplamiento tipo SKF OKC. Elaboración propia.....	28
Ilustración 10 . Bocina. a y b) vista y sección de la bocina utilizada. c y d) vista y sección del sello de proa de la bocina.....	31
Ilustración 11 Representaciones de Hélice y su ensamblaje en la línea de ejes. Elaboración propia. ....	32
Ilustración 12 Tuerca Pilgrim M260. 1. Cuerpo principal, 2 Anillo, 3 Junta estanca, 4 Cierre canal hidraulico,5 Canal de inyección hidráulica. Elaboración propia.....	33
Ilustración 13 Comprobación óptica completa de la bocina en relación con el plato de salida de la reductora.....	34
Ilustración 14 Grafica Rugosidad Ra. Norma UNE ISO 1302.....	35
Ilustración 15 Posibilidades de codificación ISO.....	42
Ilustración 16 Detalle de sistema de eje base extraído de la ISO 286-1:2010, pg17: 1. Eje base h, 2. Intervalo de tolerancia del eje base, 3 intervalos de tolerancia de los diferentes agujeros, a. Dimensión nominal. ....	43
Ilustración 17 Indicación gráfica de la ISO 286-1:2010 que nos indica la posición “h” para los tramos de la línea de ejes.....	44
Ilustración 18. Plato de salida reductora Reintjes. Utilización conjunta de código ISO 286 y tolerancias según ISO 14405. Elaboración propia.....	50



Ilustración 19. Sección de manguito de Hélice. Ejemplo de tratamiento de corte con uso de tolerancias ISO 286-1:2010 e ISO 14405-1:2016. Elaboración propia..... 52

Ilustración 20 Modo de representación de sistema de tolerancias rosca métrica ISO. Elaboración propia. .... 53

Ilustración 21 Modo de representación 3D de sistema de tolerancias rosca métrica ISO Tuerca Pilgrim . Elaboración propia ..... 53

Ilustración 22. Acoplamiento OKF350. Representación de simbología básica y adicional ISO 1101:2012..... 60

Ilustración 23. Eje de cola Interpretación de las Representación de simbología básica y adicional ISO 1101:2012. Elaboración propia. .... 61



## Índice de tablas

Tabla 1 Extracto ficha técnica del buque.....	16
Tabla 2 Resumen requerimientos SSCC.....	20
Tabla 3 Relación exhaustiva de componentes y subcomponentes .....	22
Tabla 4 Requerimientos de material de acuerdo a SC Lloyd's .....	24
Tabla 5 Equivalencias de Clasificación normativa acero.....	24
Tabla 6 Equivalencias Acabados superficiales según edición de norma.....	29
Tabla 7 Clasificación de superficies en función a su desempeño según ISO 1302.....	35
Tabla 8 Documento de trabajo Calidad superficial. Función IG Sep.2013. Consellería de Educación. Xunta de Galicia .....	36
Tabla 9 Símbolos de acabado.....	36
Tabla 10 Símbolo gráfico expandido.....	37
Tabla 11 Aplicación a línea de ejes de simbología gráfica expandida.....	38
Tabla 12 Relación entre Tolerancias y calidad superficial.....	38
Tabla 13 Tabla de la norma ISO 2768-1:1989 .....	40
Tabla 14 Tabla 2 de la norma ISO 2768-1:1989 .....	41
Tabla 15 Grados de tolerancia normalizados .....	45
Tabla 16 Posibilidad de indicación de tolerancias dimensional según norma aplicada .	45
Tabla 17 Ajustes recomendados. Sistema Agujero base .....	47
Tabla 18 Relaciones agujero base componentes con eje.....	50
Tabla 19 Tabla de ajustes recomendados ISO .....	51
Tabla 20 Tipos de tolerancias geométricas .....	55
Tabla 21 Símbolos complementarios de Tolerancias geométricas.....	56
Tabla 22 Determinación cuantitativa de parámetros aplicables a las tolerancias geométricas .....	60
Tabla 23 Relación de planos .....	63
Tabla 24 Datos de partida Ficha técnica .....	68
Tabla 25 Tabla de cálculo .....	69
Tabla 26 Tabla de corrección de longitudes .....	70
Tabla 27 Datos pernos acople brida .....	70



## 1. Resumen.

Dado que, como ya es sabido, ningún proceso de fabricación mecánica puede alcanzar la exactitud absoluta, hemos de fabricar los elementos constructivos con un rango de incertidumbre adecuado dentro de aquellos aceptados para llevar a buen término el proyecto de ejecución del buque. Estos rangos aceptados lo son por fuentes de reconocido prestigio; Sociedades de Clasificación, por una parte, normas internacionales y nacionales por otra. Estos rangos son las tolerancias de fabricación aplicadas a los elementos constructivos objeto del presente TFG.

Por todo ello, el dibujo mecánico especializado aquí como dibujo naval en sus dos niveles; la representación del proyectista y la interpretación del ejecutante del proyecto es y será motor de éxito en la consecución del proyecto constructivo naval.

## 2. Objeto del estudio.

Las tolerancias dimensionales restringen los errores de fabricación mediante la imposición de límites admisibles en la variabilidad dimensional. Podemos elevar la siguiente cuestión, ¿Acaso la indicación exhaustiva de la tolerancia dimensional es condición suficiente para determinar que una línea de ejes satisface los requerimientos funcionales para la que ha sido proyectada? Este TFG tiene como BASE TEÓRICA la demostración de la insuficiencia del único uso de las arriba indicadas tolerancias.

Los planos constructivos de un buque deben ser la representación unívoca de todo aquello que forma éste, de modo que un tercero que no haya intervenido en la realización de estos planos constructivos pueda llegar a la misma interpretación que aquellos que realizaron los planos constructivos. Podemos inferir entonces que la representación gráfica aplicada y la interpretación gráfica constituyen un sistema de comunicación y por tanto son en la práctica un *idioma*.

Este “idioma” se constituye en convenciones que aportan la misma información que una representación detallada y, sin embargo aportan el valor añadido de poder ser ejecutada su representación en tiempos económicamente aceptables, pues como todo trabajo de “despacho” constituye un tiempo a sumar a los tiempos de ejecución efectiva del proyecto.



Esta representación gráfica no se ocupa solo de aquello que se podría denominar las dimensiones principales, sino que aporta información suficiente para su verificación, y montaje. Tal es la importancia de aquello que está incorporado a un plano constructivo que en caso de discrepancia con otros documentos primará lo indicado en la representación gráfica con respecto a lo indicado en otros documentos del proyecto.

Con la evolución del estado del arte, la acotación correcta de un conjunto mecánico no se puede limitar al dimensionamiento lineal o angular de sus parámetros, ni siquiera a las desviaciones lineales y angulares de estas dimensiones. Se ha de extender a “cuan próxima” esta una forma con respecto a un patrón, y a “cuan próxima esta una relación entre dos o más formas” con otro patrón. Estos patrones de calidad se constituyen en las denominadas Tolerancias Geométricas.

### 3. Alcance

El presente proyecto pretende centrarse en mostrar la extrema importancia que una representación gráfica adecuada tiene para el devenir de un proyecto constructivo en construcción naval. El estado actual del arte referido a la construcción mecánica permite realizar operaciones de mecanizado con precisiones elevadas, y ese mismo estado del arte permite realizar verificaciones metrológicas no solo dimensionales sino también relativas a la morfología y posición de un determinado elemento constructivo en relación a aquellos otros con los que comparte conjunto, y función.

Por lo todo lo arriba indicado en este trabajo fin de grado, no se profundiza en los cálculos para el dimensionamiento de una línea de ejes sino que partiendo de un eje ya contextualizado en sus dimensiones principales se analizan las posibles soluciones para su representación gráfica detallada bajo la óptica de normativa internacional ISO, y norteamericana ASME.

En esta representación gráfica se incluyen desde las tolerancias generales, dimensionales, acabados superficiales y tolerancias geométricas, así como instrucciones para las comprobaciones metrológicas pertinentes.

En la medida de lo posible se utilizarán términos bilingües español/inglés para las denominaciones relacionadas con construcción naval, pues se entiende que este idioma se constituye en la lengua franca de la ingeniería naval y marina.



### No están dentro del alcance de este trabajo:

- Las características interiores de la reductora.
- Los cálculos de parámetros de la Hélice, que se representa a título informativo.
- El sistema hidráulico.

## **4. Antecedentes**

Por mi dedicación profesional enfocada desde hace años a la interpretación gráfica he desarrollado especial interés por el entorno normativo nacional e internacional relativo al papel central que comporta una interpretación adecuada de aquello que está trazado en un plano.

En los años que he estado matriculado en esta escuela tanto en la *Diplomatura de máquinas navales* como en el curso puente del *grado en Tecnologías Marinas* la interpretación gráfica, bien individualmente, bien como contenido asociado a asignaturas de construcción naval ha tenido un comportamiento nuclear que ha facilitado el aprovechamiento de todos los conceptos relativos a la morfología del buque.

## **5. Disposiciones legales: normas y referencias**

Leyes:

### **Reglamentos:**

- Regulamento dos Traballos Fin de Grao. Aprobado pola Xunta do centro o 29 de Xullo de 2020.
- Real Decreto 1837/2000. Reglamento de Inspección y Certificación de Buques Civiles.

### **Normas Nacionales:**

Normas UNE:

- UNE-EN ISO 4759-1:2001 Tolerancias para elementos de fijación. Parte 1: Pernos, tornillos, espárragos y tuercas. Productos de clase A, B y C. (ISO 4759-1:2000).
- UNE-EN ISO 4759-3:2017 Tolerancias para los elementos de fijación. Parte 3: Arandelas para pernos, tornillos y tuercas. Productos de clase A, C y F. (ISO 4759-3:2016).
- UNE-EN ISO 3952-4:1998 Esquemas cinemáticos. Símbolos gráficos. Parte 4. (ISO 3952-4:1984).



- UNE 17707:1978 Roscas métricas ISO para usos generales. Tolerancias. Principios y datos básicos.

### **Normas Internacionales:**

- Prescripciones de la SSCC Lloyd's Register 2017.

### **Normas ISO:**

- ISO 128 Technical Product Documentation (Tpd) — General Principles Of Representation — Part 1: Introduction And Fundamental Requirements
- ISO 129 ISO 129-1:2018(En) Technical Product Documentation (Tpd) — Presentation Of Dimensions And Tolerances — Part 1: General Principles
- ISO 286-1:2010, Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits
- ISO 286-2:2010, Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts
- ISO 463:2006, Geometrical Product Specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Design and metrological characteristics of mechanical dial gauges
- ISO 1101:2012, Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out
- ISO 1302:2002 Geometrical Product Specifications (Gps) — Indication Of Surface Texture In Technical Product Documentation
- ISO 1660:1987, Technical drawings — Dimensioning and tolerancing of profiles
- ISO 1829:1975, Selection of tolerance zones for general purposes
- ISO 1938-1, Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Part 1: Plain limit gauges of linear size
- ISO 2692:2006, Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Maximum material requirement (MMR), least material requirement (LMR) and reciprocity requirement (RPR)
- ISO 3040:2009, Geometrical product specifications (GPS) — Dimensioning and tolerancing — Cones
- ISO 3274:1996, Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Nominal characteristics of contact (stylus) instruments



- ISO 3650:1998, Geometrical Product Specifications (GPS) — Length standards — Gauge blocks
- ISO 3952-4:1998
- ISO 4287:1997, Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters
- ISO 4288:1996, Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture
- ISO 4759. Tolerancias para elementos de fijación.
- ISO 5458:1998, Geometrical Product Specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Positional tolerancing
- ISO 5459:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems
- ISO 8015:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Fundamentals — Concepts, principles and rules
- ISO 8314:1987(en) Shipbuilding and marine structures — Trunnion pieces for span bearings and lead block bearings
- ISO 12181-1:2011, Geometrical product specifications (GPS) – Roundness – Part 1: Vocabulary and parameters of roundness
- ISO 12181-2:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Roundness — Part 2: Specification operators
- ISO 12780-1:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Straightness — Part 1: Vocabulary and parameters of straightness
- ISO 12780-2:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Straightness — Part 2: Specification operators
- ISO/PAS 12868:2009, Geometrical product specification (GPS) — Coordinate measuring machines (CMM): Testing the performance of CMMs using single-stylus contacting probing systems
- ISO 13385-1:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Part 1: Callipers; Design and metrological characteristics
- ISO 13385-2:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Part 2: Calliper depth gauges; Design and metrological characteristics



- ISO 13565 series, Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties
- ISO 14253 series, Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment
- ISO 14253-1:2013, Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 1: Decision rules for proving conformity or nonconformity with specifications
- ISO 14405-1:2010, Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional tolerancing — Part 1: Linear sizes
- ISO 14405-2:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional tolerancing — Part 2: Dimensions other than linear sizes
- ISO 15530-3:2011, Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 3: Use of calibrated workpieces or measurement standards

#### **Normas ASME.**

- Norma ASME y14.5m

## **6. Programas informáticos empleados**

Para la realización de los planos e ilustraciones del TFG:

- Autodesk Inventor 2018
- Autocad 2018

Para la redacción del texto del TFG:

- Microsoft Word 2007
- Acrobat Reader DC
- Acrobat Creator.

Para la parametrización de las dimensiones de la línea de ejes:

- Microsoft Excel 2007



## 7. Bibliografía

### 7.1. Publicaciones:

- Carbajales Pereira R., (1995) Tecnología Mecánica Naval, Tomos I Y II, (Pontevedra, Gráficas Salnés SI)<sup>1</sup>
- González de Lema Martínez, Francisco Javier, (2002) Tecnología de la construcción del buque. (A Coruña, Universidade da Coruña )
- Russell, Paul et alt. (2008) General Engineering Knowledge for Marine Engineers.
- Silva Arlindo, Tavares Riveiro Carlos, et alt. (2004) Desenho Mecânico Moderno. 12ª Edição. (Lisboa, Lidel)
- Simmons Colin, et alt. (2012) Manual of engineering drawing. (Butterworth-Heinemann, London)
- Coca Rebolledo, Rosique Jiménez (1990) Ciencia de los materiales. Teoría, ensayos, tratamientos. (Madrid, Ediciones Pirámide)
- C. Solar. (1987) Tecnología de Maquinas Herramientas 1º FpII. Editorial Everest. León
- N. Larburu. (1990). Prontuario de Maquinas. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Vizentin, Goran & Vukelic, Goran & Srok, Mateo. (2017). Common Failures Of Ship Propulsion Shafts. Pomorstvo. 31. 85-90. 10.31217/P.31.2.1.)
- Dymarski, Czesław. (2009). Analysis of Ship Shaft Line Coupling Bolts Failure. Journal Of Polish Cimac. 4.
- Ansarifard, A.A. & Jaamialahmadi, Abdolrahman. (2015). An investigation the effects of geometric tolerances on the natural frequencies of rotating shafts. Journal of Applied and Computational Mechanics. 1. 103-111. 10.22055/jacm.2014.10767.

---

<sup>1</sup> Bibliografía recomendada en el plan de estudios.



## 7.2. Enlaces a páginas web y última fecha de consulta.

- [www.astillerosmuruet.com](http://www.astillerosmuruet.com)
- [diseño de sistema de propulsión | rice propulsion \(fundicionesrice.com\)](http://diseño de sistema de propulsión | rice propulsion (fundicionesrice.com))
- [marine shafting parts,excellent manufacturers of the marine shafting parts - hi-sea marine](http://marine shafting parts,excellent manufacturers of the marine shafting parts - hi-sea marine)
- [shaft alignment measurement - brabon engineering services](http://shaft alignment measurement - brabon engineering services)
- [laf 164 - 7760 | gmbh \(reintjes-gears.de\)](http://laf 164 - 7760 | gmbh (reintjes-gears.de))
- [marine propeller shaft dimensions: sae specification j755 \(pacificmarine.net\)](http://marine propeller shaft dimensions: sae specification j755 (pacificmarine.net))
- [Acoplamientos OK | SKF](http://Acoplamientos OK | SKF)
- [Torneado CNC de grandes dimensiones | José Mª Mendiola S.A. - Grandes Mecanizados \(jmmendiola.com\)](http://Torneado CNC de grandes dimensiones | José Mª Mendiola S.A. - Grandes Mecanizados (jmmendiola.com))
- [Mecanizado de Piezas de Grandes Dimensiones y Únicas | MITXELENA \(talleresmitxelena.eus\)](http://Mecanizado de Piezas de Grandes Dimensiones y Únicas | MITXELENA (talleresmitxelena.eus))
- [La Precisión en el Mecanizado CNC · MIPESA Grupo Empresarial.](http://La Precisión en el Mecanizado CNC · MIPESA Grupo Empresarial.)
- [ROSMIL 31 Tornillo c-hexagonal.pdf \(rodavigo.net\)](http://ROSMIL 31 Tornillo c-hexagonal.pdf (rodavigo.net))
- [www.oxigensalud.com](http://www.oxigensalud.com)
- [Cojinetes auto lubricados sinterizados Proceso de fabricación \(selfoil.com\)](http://Cojinetes auto lubricados sinterizados Proceso de fabricación (selfoil.com))

La última fecha de consulta a los enlaces arriba indicados ha sido el 15/12/2020.

## 7.3. Otras fuentes de consulta.

- Catálogo de acoplamientos de SKF.
- Catálogo Pilgrim.

## 8. Definiciones y abreviaturas.

Al objeto de dotar de mayor fluidez al presente TFG toda definición que se considere necesaria será implementada en virtud de nota al pie.



## 9. Contextualización.

Las características del buque escogido para la realización del presente estudio son:

<b>Tipo de buque:</b> Buque Arrastrero Factoría/ <i>Factory Stern Trawler.</i>
<b>Clasificación del buque factoría:</b> <i>Æ1A1, Sterntrawler, E0, Tmon, lce1b, lce1a*Forhull</i>
<b>Dedicación:</b> Pesca y procesado de pescado y gambas, contando para ello con una planta de procesado y otra de congelado.

Se hace a continuación un detalle de su ficha técnica:

<b>Características principales y maquinaria/Main characteristics &amp; machinery</b>	<b>Valor</b>
Eslora total/ total length	82.30 m
Eslora ente perpendiculares/ Length bpp	73.80 m
Manga/Breath moulded	18 m
Puntal a cubierta principal/Mean draught	7.95 m
Puntal a cubierta de arrastre/Moulded depth	11.20 m
Propulsión: 1X MAN12V32/44CR	7200 kw; 750 rpm
Reductor/Gear Box	Reintjes LAF 7760 1:5,86 Salida 127 rpm
Vmax/Trial speed	15 nudos/knots

Tabla 1 Extracto ficha técnica del buque

Queda ahora poner en contexto la línea de ejes dentro del proyecto del buque, la reglamentación y la normativa.



Podemos definir el *anteproyecto del buque* como un proyecto conceptual, tras este proyecto se realiza el *Proyecto Contractual*, en éste a diferencia del anteproyecto se le añade, entre otros, con mayor grado de detalle y acabado planos de:

- Cámara de máquinas.
- Línea de ejes.

Para el *Proyecto de Clasificación* y al objeto de conseguir el permiso de construcción del buque por parte de la Dirección General de la Marina Mercante se procede a verificar que el proyecto y su documentación técnica están enmarcados dentro de lo dictado por el *Reglamento de Inspección y Certificación De Buques Civiles (R.D. 1837/2000, y revisiones posteriores)*. Para el permiso de construcción se han de enviar una serie de documentos que hacen ya referencia a la línea de ejes. Encontramos las primeras referencias a la línea de ejes en:

- El **Plano de Disposición General**, que nos indica la disposición de la sala de máquinas, que determina ya las líneas de trabajo a seguir en el diseño de la línea de ejes.

El inspector de buques podrá pedir si lo considera pertinente:

- **Planos de disposición de la Cámara de Máquinas.**

A las Sociedades de Clasificación (en adelante SSCC) se les envía:

- **Plano constructivo de la línea de ejes y hélice.**

F. J. González de Lema explica en su libro "*Tecnología de la construcción del buque*" que este plano "será de los últimos en ser terminados". De lo indicado, podemos inferir que siendo los detalles constructivos importantes, estos no podrán ser llevados al plano hasta las fases finales de la construcción y habilitación de la cámara de maquinas y línea de ejes.

Dentro de la configuración constructiva del buque tendremos también los denominados:

- **Planos de taller.**

Los planos "constructivo de la línea de ejes y hélice", y "de taller" son aquellos que encajan con el objeto de estudio de este TFG.

Los planos de taller y el plano constructivo de línea de ejes y hélice están sujetos a Normativa Nacional e Internacional, en este caso Normativa UNE armonizada y normativa ISO en el ámbito internacional. Concretamente en AENOR el Comité Técnico de normalización asignado a esta tarea es el "*CTN 82/SC2- Metrología Dimensional*",

que mantiene relación con el “*Comité Internacional ISO/TC 213 Especificación dimensional y geométrica de los productos y su verificación*”, del mismo modo son de aplicación las normas internacionales que emanan del “*Technical Committee ISO/TC 8, Shipbuilding and marine structures*”. En paralelo a esta normalización se hará referencia en este TFG también a título informativo a la normativa anglosajona de los Estados Unidos reflejada en la normativa ASME

## **10. Requisitos del diseño conforme a las especificaciones “*Lloyd’S Register, Rules and Regulations for the Classification of the Ships; Main Propulsión Shafting*”, y conforme al estado del arte referido a las características técnicas del conjunto de la línea de ejes.**

Dentro de este apartado se van a desarrollar los siguientes contenidos:

- Requerimientos constructivos según SS.AA. y otras fórmulas de cálculo.
- Requerimientos de acabado superficial según ISO 1302:2002.
- Requerimientos de tratamientos térmicos o termoquímicos para alcanzar los requerimientos constructivos.

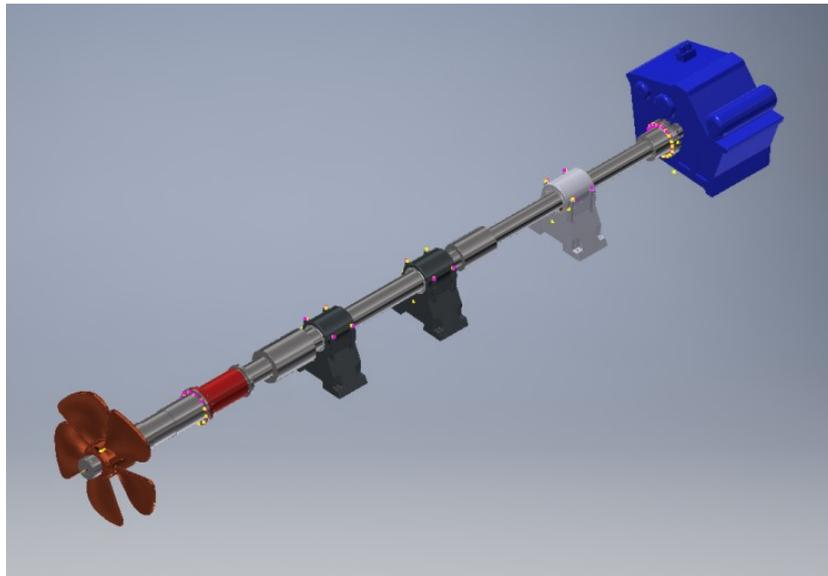


Ilustración 1 Representación 3D mediante Inventor de Línea de ejes.

## 10.1 Requerimientos constructivos.

Se hace en primera instancia una relación sintética de los requerimientos de la SSCC con respecto a los elementos de la línea de ejes, dentro del alcance de este TFG.

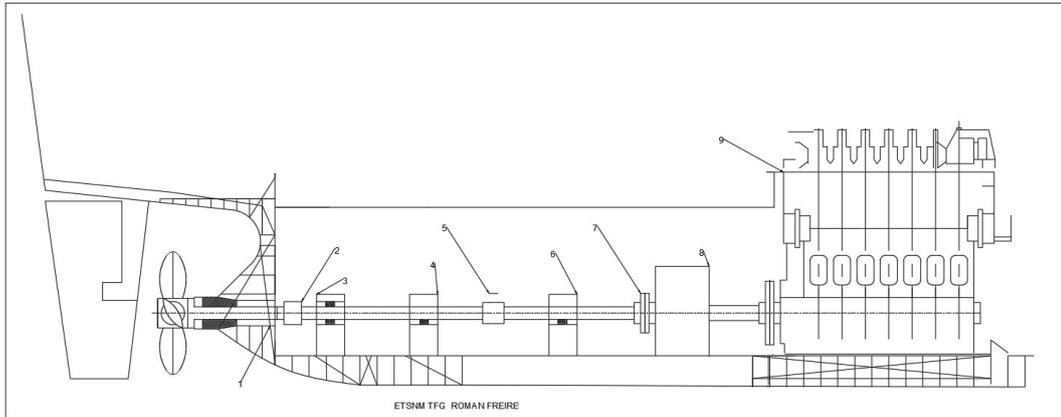


Ilustración 2 Arreglo final de la línea de ejes completa. Elaboración propia. Disposición de la línea de ejes (elaboración propia, escalas y dimensiones del mismo no vinculantes):

- 1 Tubo de bocina con sello y cojinete
- 2 Acoplamiento/Coupling OKC 430 SKF Marine.
- 3 Apoyo con cojinete integral/ Tunnel Bearing support from above and below
- 4 Apoyo con cojinete integral/ Tunnel Bearing support from below
- 5 Acoplamiento/Coupling OKC 350 SKF Marine
- 6 Apoyo con cojinete integral/ Tunnel Bearing support from below
- 7 Acoplamiento/Coupling OKF 350 SKF Marine
- 8 Reductora/Gearbox REINTJES LAF 7760. R=5.86:1
- 9 Motor MAN 12V32/44CR 7400 Kw

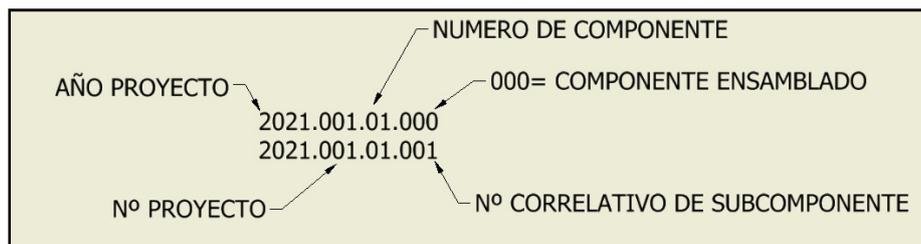
Resumen de requerimientos de la SSAA. <i>Lloyd's part 5. Main and auxiliary machinery</i>		
Section 2.1	Material	Mínimo de 500 N/mm <sup>2</sup> ante eventual aparición de vibraciones.
Section 2.2	Test ultrasónico. <i>Ultrasonic test</i>	Requerido por superar los 250 mm de diámetro
Section 3.1	Dimensionado de ejes. <i>Shaft dimensioning</i>	Se realiza acorde a la formulación indicada
Section 3.1.5	Chaveteros. <i>Keyways</i>	No necesarios cuando hay una velocidad de salida estacionaria.
Section 3.6	Ejes huecos. <i>Hollow shafts</i>	Se calcula como macizo por no superar el diámetro interior el 40 % del diámetro total.



Section 3.7.2	Acoplamientos y transición entre diámetros. <i>Couplings and transitions of diameter</i>	El radio de redondeo entre brida y cuerpo del acoplamiento será de al menos el 8% del diámetro. Han de tener un buen acabado y no tener solape con el pitch circle diameter de los pernos.
Section 3.7.7	Transición entre diámetros	Mediante encuentro cónico o bien un radio igual a la diferencia entre diámetros.
Section 3.8	Pernos de acoplamiento	Calculados según la fórmula indicada.

Tabla 2 Resumen requerimientos SSCC

Con la evolución de los procesos de mecanizado por arranque de viruta, las máquinas herramientas han conseguido precisiones de fabricación más elevadas. Se indican a continuación los elementos que conforman la línea de ejes objeto del presente TFG y dentro del alcance, para ello se ha procedido a referenciarlos del siguiente modo:



Se presenta a continuación una relación exhaustiva y detallada de los componentes y subcomponentes del objeto de este TFG.

**10.1.1 Relación exhaustiva y detallada de los componentes.**

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Referencia</b>	<b>Descripción</b>
1	1	2021.001.001.000	Hélice
SC1	1	2021.001.001.001	Hélice, cuerpo externo.
SC1	1	2021.001.001.002	Manguito de hélice
SC1	1	2021.001.001.003	Anillo de cierre proa
<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.002.000</b>	<b>Eje de cola</b>
SC2	1	2021.001.002.001	Eje de cola
SC2	1	2021.001.002.002	Camisa de bronce 530
SC2	1	2021.001.002.003	Camisa de bronce 780
SC2	1	2021.001.002.004	Chaveta de cabeza de eje
SC2	1	2021.001.002.005	Perno M10 6g ISO 4014
<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.003.000</b>	<b>Tuerca Pilgrim M260</b>
SC3	1	2021.001.003.001	Cuerpo Pilgrim M260
SC3	1	2021.001.003.002	Anillo Pilgrim M260
SC3	1	2021.001.003.003	Junta estanca
SC3	1	2021.001.003.004	Tapón PARKER 219P
SC3	1	2021.001.003.005	Perno ISO 4027 M10 x 40
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.004.000</b>	<b>Bocina</b>
SC4	1	2021.001.004.001	Cuerpo bocina
SC4	1	2021.001.004.002	Elastómero TUFNOL
SC4	1	2021.001.004.003	Elastómero TUFNOL
SC4	1	2021.001.004.003	Anillos cierre
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.005.000</b>	<b>Sello bocina. Tipo Cedervall</b>
SC5	1	2021.001.005.001	Cuerpo
SC5	2	2021.001.005.002	Junta
SC5	2	2021.001.005.003	Estátor
SC5	1	2021.001.005.004	Rotor
SC5	1	2021.001.005.005	Elastómero
SC5	2	2021.001.005.006	Anillo de ajuste
SC5	1	2021.001.005.007	Casquillo prensaestopas
<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.006.000</b>	<b>Eje reducido de cola</b>
<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.007.000</b>	<b>Eje intermedio</b>
<b>8</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.008.000</b>	<b>Acoplamiento OKC 350</b>
SC8	1	2021.001.008.001	Cuerpo
SC8	1	2021.001.008.002	Casquillo
SC8	1	2021.001.008.003	Retén
SC8	1	2021.001.008.004	Tapa de cierre
<b>9</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.009.000</b>	<b>Acoplamiento OKC 430</b>
SC9	1	2021.001.009.001	Cuerpo
SC9	1	2021.001.009.002	Casquillo
SC9	1	2021.001.009.003	Retén
SC9	1	2021.001.009.004	Tapa de cierre
<b>10</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.010.000</b>	<b>Acoplamiento OKF 350</b>
SC10	1	2021.001.010.001	Acoplamiento OKF 350
SC10	1	2021.001.010.002	Casquillo
SC10	1	2021.001.010.003	Reten
SC10	1	2021.001.010.004	Tapa
<b>11</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.011.000</b>	<b>Apoyo Cojinete 350</b>
SC11	1	2021.001.011.001	Base buje 350
SC11	1	2021.001.011.002	Tapa buje 350
SC11	1	2021.001.011.003	Cojinete ASTM UNS—L53585
SC11	1	2021.001.011.004	Aro de cierre
SC11	1	2021.001.011.005	Perno M36 ISO 4014
SC11	1	2021.001.011.006	Arandela M36 ISO 7089 DIN 125B
<b>12</b>	<b>2</b>	<b>2021.001.012.000</b>	<b>Apoyo cojinete 430</b>

SC12	1	2021.001.011.001	Base buje 430
SC12	1	2021.001.011.002	Tapa buje 430
SC12	1	2021.001.011.003	Cojinete ASTM UNS—L53585
SC12	1	2021.001.011.004	Aro de cierre
SC12	1	2021.001.011.005	Perno M36 ISO 4014
SC12	1	2021.001.011.006	Arandela M36 ISO 7089 DIN 125B
<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.013.000</b>	<b>Reductora</b>
<b>14</b>	<b>1</b>	<b>2021.001.014.000</b>	<b>Plato salida reductora</b>
Racores de conexión hidráulica. <i>No representados.</i>			

Tabla 3 Relación exhaustiva de componentes y subcomponentes

A continuación se detallan las características constructivas de los componentes indicados.

### 10.1.1. Reductoras.

Si bien esta fuera del alcance de este TFG, no es menos cierto que la alineación de la línea de ejes toma como referencia el centro del eje de salida de la reductora formando la denominada “Line of Sight (LOS)”. Por tanto se tomará como referencia aquí el plato de salida de la reductora que se acopla con el acoplamiento a proa del eje intermedio.

En este caso de estudio la reductora escogida acorde a las necesidades de diseño en una reductora/gearbox *REINTJES LAF 7760*. Del catálogo del fabricante extraemos los siguientes datos necesarios:

- Incorpora chumacera de empuje interior/ built-in thrust bearing.
- La salida se hace mediante brida/ flange coupling.

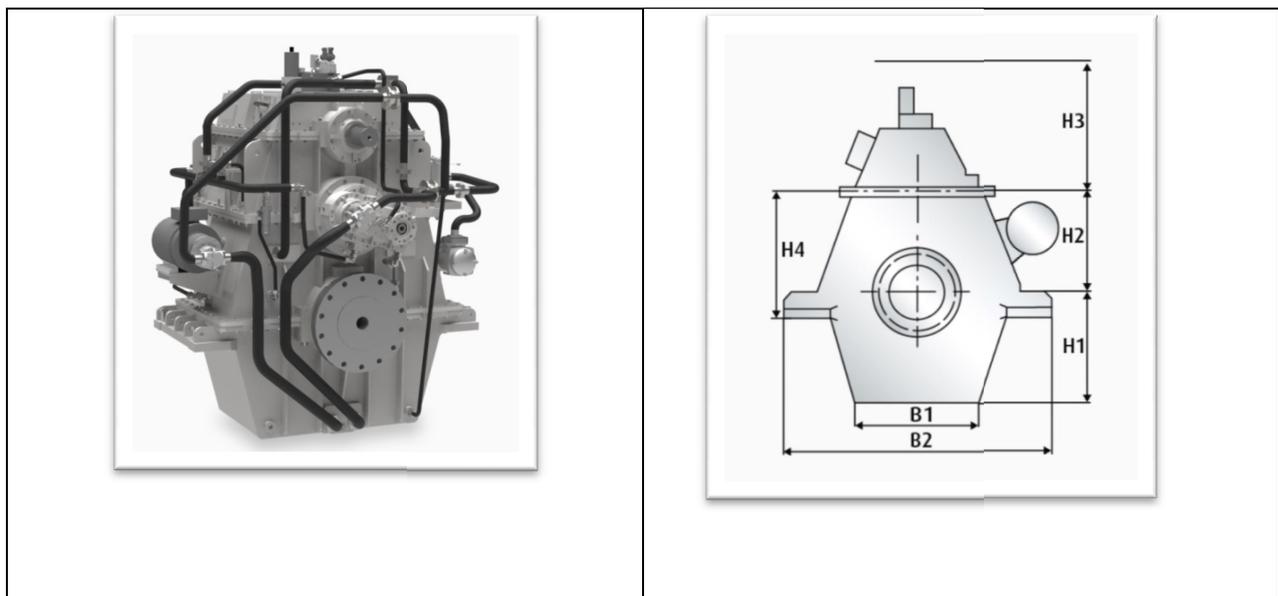


Ilustración 3 Detalle Reductora del catalogo Reintjes y Detalle dimensiones Reductora Reintjes



Con respecto a sus dimensiones en fabricante facilita las siguientes:

- H1 1000 mm
- H2 1050 mm
- H3 900 mm
- H4 1131 mm
- B1 1500 mm
- B2 2450 mm

De entre todas estas dimensiones, H1 (1000 mm) nos indica la altura de salida del eje intermedio. Esta altura será necesaria para la localización y situación de los apoyos intermedios.

El plato de salida de la reductora será objeto de estudio de tolerancias.

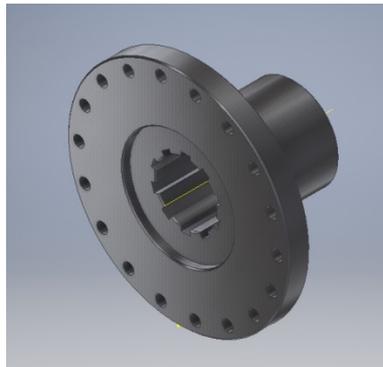


Ilustración 4 Plato de salida de Reductora dotado de cubo nervado DIN ISO 14

### 10.1.2. Línea de ejes.

Está compuesta por tres tramos unidos mediante acoplamientos.

- Eje intermedio.
- Eje reducido de cola.
- Eje de cola.

Se fabrica habitualmente en tres tramos, sus longitudes hacen que se acote su proceso de mecanizado a los denominados *tornos de grandes dimensiones*. Estos tornos se comercializan para ser capaces de mecanizar diámetros de volteo de hasta unos 2500 mm (aprox.) y longitudes de trabajo de hasta unos 24000 mm (aprox.), y un peso soportado entre puntos de hasta 80000 kg.



Material: De acuerdo con las especificaciones de Lloyd's referidas al material para ejes que nos indica que debe ser:

	Resistencia mínima a la tracción
Acero al carbono	400 a 760 N/mm <sup>2</sup>
Acero al carbono-manganeso	400 a 760 N/mm <sup>2</sup>
Acero aleado	➤ 800 N/mm <sup>2</sup>
En supuestos con presencia de stress vibratorio	➤ 500 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 4 Requerimientos de material de acuerdo a SC Lloyd's

Por todo lo indicado y atendiendo a la clasificación UNE EN 10083 y sus equivalentes internacionales se estima apropiado escoger para la línea de ejes:

UNE EN 10083:2008	UNE 36011*	DIN 17200	SAE
C45E	F1140	CK45	SAE 1045

\*La norma española UNE 36011 está anulada pero se indica por tener todavía un elevado grado de penetración comercial.

Tabla 5 Equivalencias de Clasificación normativa acero

El test ultrasónico será obligado al superar los 250 mm de diámetro en todos los casos. Los diámetros de los tres tramos de la línea de ejes cumplen con el mínimo indicado por Lloyd's según la fórmula a continuación para ejes macizos o huecos cuyo diámetro interior sea inferior al 40% del diámetro exterior.

$$\phi \text{ (mm)} = Fk^3 \sqrt{\left(\frac{P}{R} \frac{(560)}{(\sigma u + 1)}\right)} \quad (10.1)$$

Una vez realizado este cálculo según fórmula y atendiendo también a criterios de homogeneidad que no contradicen los mínimos calculados.

- Eje intermedio                      350 mm
- Eje reducido de cola                430 mm
- Eje de cola                            430 mm

Las distancias máximas entre apoyos calculadas y corregidas para que cumplan con una flecha máxima de 1 mm (ver anexo de cálculos) son de:

- Eje intermedio:                      5000 mm
- Eje reducido de cola:                5400 mm
- Eje de cola:                            5400 mm



Resaltar que estas medidas se refieren a las distancias entre apoyos para cumplir con la flecha máxima, NO a la longitud de los ejes. La longitud de los ejes viene determinada por:

- La configuración del buque.
- El número de tramos que será de tres según la SSCC.

En este caso se tendrán las siguientes longitudes:

Eje intermedio:	5000 mm, con un cojinete apoyo inferior.
Eje reducido de cola:	5000 mm, con un cojinete apoyo inferior y otro integral
Eje de cola:	5000 mm, provisto de cojinete y bocina con sello.

Con esta configuración, EN NINGUN CASO habrá distancias entre apoyos superiores a las calculadas.

Se escoge una configuración de longitud total de 15 m, y tres apoyos. Al tener esta longitud máxima que es inferior a los 16 m podrá ser tratado como “eje rígido” y no tener en cuenta los efectos del oleaje ni las acciones de la mar<sup>2</sup>.

Con referencia a la unión con los acoplamientos y siguiendo lo indicado por Lloyd’s, NO se utilizarán chavetas ni chaveteros al haber una velocidad de salida de 127 rpm no variable<sup>3</sup>



Ilustración 5 Eje intermedio. Elaboración propia

<sup>2</sup> Russell, Paul et al. (2008) General Engineering Knowledge for Marine Engineers. Chapter 6, Aligment “The effect of the waves and sea action over the main engine’s rigid bedplate length of 16 m can be ignored”

<sup>3</sup> Lloyd’S Register, Rules and Regulations for the Classification of the Ships; Main Propulsión Shafting. Part 5, chapter 6 section 3, 3.1.5. “Keyways are in general not to be used whith a barred speed range”

El eje reducido de cola tendrá una transición entre los diámetros del intermedio y del eje de cola, esta transición entre diámetros se hará mediante redondeo igual a la diferencia de diámetros de acuerdo a lo indicado en las reglas de Lloyd's<sup>4</sup>

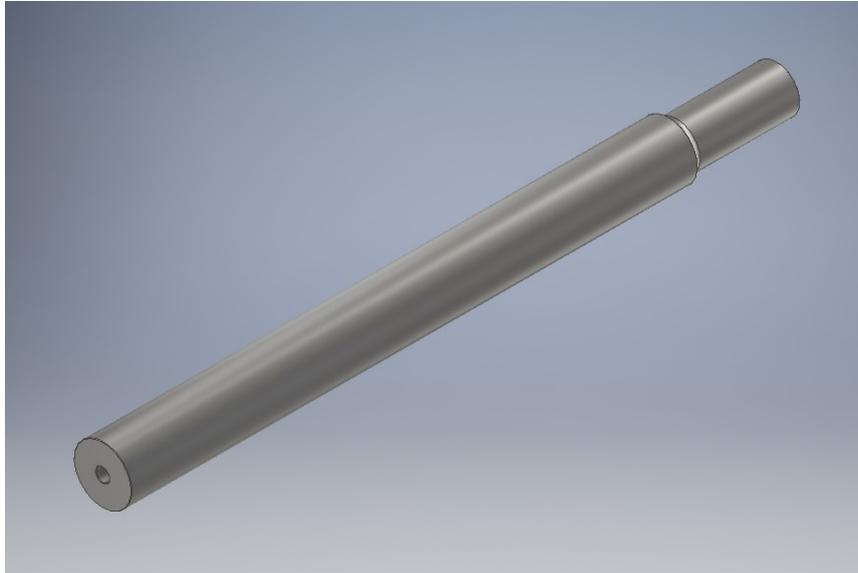


Ilustración 6 Eje reducido de cola. Elaboración propia.

El eje de cola termina a popa en cono de conicidad 1:15, y rosca a izquierdas M260 para tuerca *Pilgrim*. El cono tiene incorporadas por mecanización ranuras de aceite. Este eje lleva unidos mediante ajuste con apriete dos cojinetes de bronce para desplazarse sobre el interior de la bocina. Para la colocación con apriete de los cojinetes se procede al enfriamiento del eje con nitrógeno<sup>5</sup>.

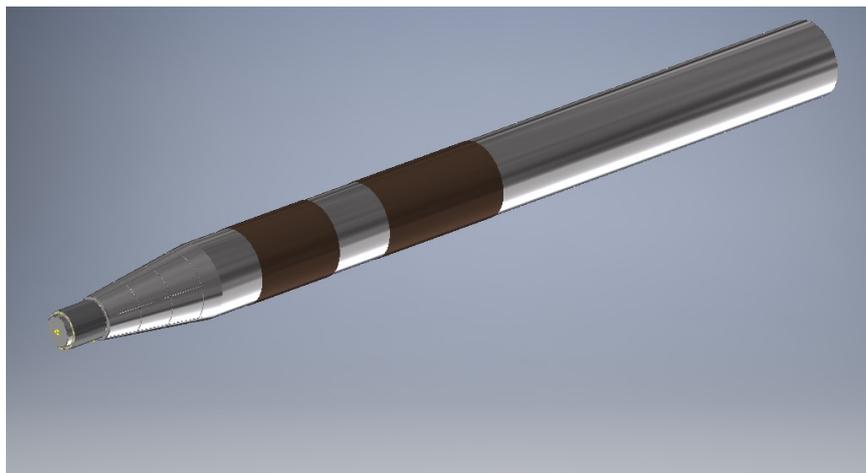


Ilustración 7 Eje de cola ensamblado a casquillos de bronce con acoplamiento hidráulico SKF OKF. (Elaboración propia)

<sup>4</sup> Lloyd'S Register, Rules and Regulations for the Classification of the Ships; Main Propulsion Shafting. Part 5, Chapter 6 Section 3.7.7.

<sup>5</sup> Nitrógeno Líquido En La Industria Mecánica. [www.oxigensalud.com](http://www.oxigensalud.com). La utilización de gases criogénicos es cada vez más común en la realización de procesos de ensamblaje, nominalmente el nitrógeno líquido produce un aumento de la durabilidad y la resistencia además de hacer posible el ensamblaje de las camisas de bronce y el eje de cola que de otro modo sería más difícil pues estimar la realización del ensamblaje con interferencia fuerte mediante un proceso de zunchado no es viable por cuestiones de fiabilidad y compromiso del alineado de la línea.

### 10.1.3. Acoplamientos.

Se escogen los acoplamientos de tipo “hidráulico” del fabricante SKF. Para el montaje de los mismos el fabricante indica un ajuste con juego  $h7/F7$  y  $h7/E7$ . Posteriormente se llega al apriete mediante sistema de tensión hidráulica. Este sistema implica la inyección de aceite a presión entre el exterior del manguito y el cuerpo del acoplamiento una vez se llega a la presión tarada se consigue un *ajuste de interferencia* que equivaldría a  $h7/S7$ . Se consigue mediante tensión hidráulica. Existen dos tipos diferentes de acoplamientos a usar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

- Embridados o Flanged coupling. Recomendado para conexiones con reductora.
- No embridados o Shaft coupling. Recomendados para la unión entre ejes.

#### 10.1.3.1 Acoplamientos embridados o Flange couplings.

Formados por cuatro subcomponentes.

- Cuerpo principal.
- Manguito.
- Junta
- Cierre.
- Racores de inyección de aceite hidráulico.

El fabricante sirve este componente SKF OKF en diámetros múltiples de 10 mm desde 100 mm hasta 1000 mm. El eje ha de tener una rugosidad mínima en la zona del acoplamiento para garantizar la eficacia debida del citado sistema de acoplamiento.

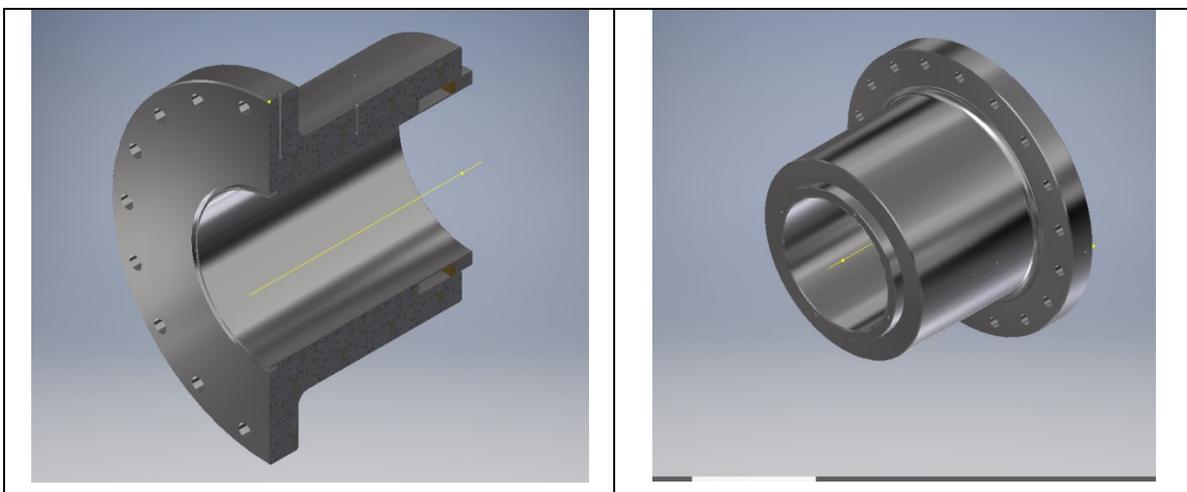


Ilustración 8 Acoplamiento hidráulico ensamblado Tipo SKF OKF 350. Vista en corte y vista posterior.



Para su unión con el plato de salida de la reductora, los centros de los agujeros que alojan los pernos de unión forman un diámetro denominado como "*Pitch Circle Diameter (E)*" el cual se calcula mediante la fórmula del fabricante:

$$E \sim \varnothing 1 - 1.6 \times DIA \text{ tornillo (10.2)}$$

$\varnothing 1$ : *diámetro exterior de la brida.*

*DIA*: "*Diámetro*"

### 10.1.3.2. Acoplamientos entre ejes o Shaft couplings.

Para la unión entre ejes se utilizarán los acoplamientos de SKF tipo OKC. Formados por subcomponentes.

- Cuerpo principal.
- Manguito.
- Junta
- Cierre.
- Racores de inyección de aceite hidráulico.

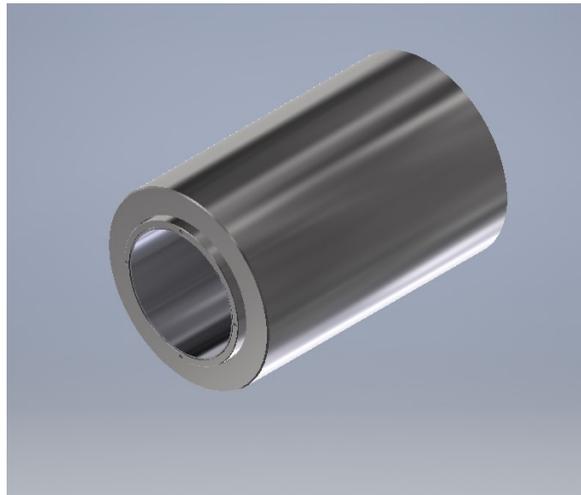


Ilustración 9 Acoplamiento tipo SKF OKC. Elaboración propia.



En concordancia con el grado de apriete conseguido para que la tensión hidráulica aplicada no se comprometa se ha de conseguir en las zonas de interferencia entre acoplamiento y ejes un grado de acabado tal que su rugosidad superficial sea lo suficientemente pequeña como para evitar fugas de aceite. Para ello se debe conseguir al menos un grado de acabado superficial según norma ISO EN 1302:

	UNE EN 1302:2002 ( $\mu\text{m}$ )	UNE 1302:2002 ( $\mu\text{pulgadas}$ )	UNE 1302:1992
Zonas de acople con ejes	Ra 0.8	Ra 32	N6
Zonas libres	Ra 3.2-0.8	Ra 6.4-3.2	N8/N6

Tabla 6 Equivalencias Acabados superficiales según edición de norma

#### 10.1.4. Subcomponentes.

##### Pernos y tuercas/ Bolts, nuts

Se utilizarán para la unión con el plato de salida de la reductora elementos de unión tales como:

- Pernos de cabeza hexagonal M36 (8.8) tipo ISO 4014:2011, con tensión de rotura de  $800 \text{ N/mm}^2$
- Arandelas tipo DIN 125B
- Tuercas M36 tipo ISO 4032

Para el cálculo del diámetro de los pernos empleados para conectar bridas se han utilizado las siguientes fórmulas:

Por cálculo:

$$\emptyset \text{ pernos} = \sqrt{\frac{10^6 \times \text{potencia al eje en kw}}{\text{rpm del eje} \times n^9 \text{ de pernos} \times \text{resistencia a traccion del material}}} \quad (10.3)$$

Por la sociedad de clasificación:

$$\emptyset \text{ pernos} = \sqrt{\frac{10^6 \times 240 \times P}{nD \times \sigma_u \times R}} \quad (\text{mm}) \quad (10.4)$$

**10.1.5. Chumaceras/Cojinetes/ Bearings** Para este TFG se ha consultado documentación de SKF utilizando el denominado en catálogo de la compañía como “Simplex shaft bearing”. Se presenta en dos configuraciones diferentes:

- *Pedestal bearing. Plummer block.*
- *Pedestal bearing. Tunnel block.*

De acuerdo con la información del fabricante, los cojinetes son de metal blanco, auto lubricados, y se sirven hasta diámetros de 1040 mm, lo cual incluye los diámetros utilizados en la línea de ejes de este TFG. Se obtienen por procesos de sinterización y calibrado (recompactación de la pieza sinterizada para mejorar la precisión y acabado superficial)

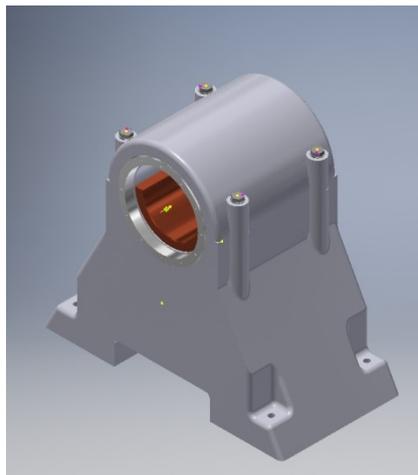


Fig. Modelado de conjunto de cojinete, *pedestal tunnel bearing*, elaborado a partir de información de catálogo de SKF.

### 10.1.6. Bocina y sello.

Para este trabajo se utiliza una bocina con sello en proa e inundada por popa. El agua es suministrada desde un tanque con nivel máxima de 0.5 m respecto al centro del eje de cola. El agua entra al sello por su parte inferior mediante tubería flexible y sale por la parte superior. El conjunto bocina-sello está unido teniendo entre ellos el mamparo de popa de la cámara de máquinas. El mamparo no se representa para dar claridad a las representaciones gráficas.

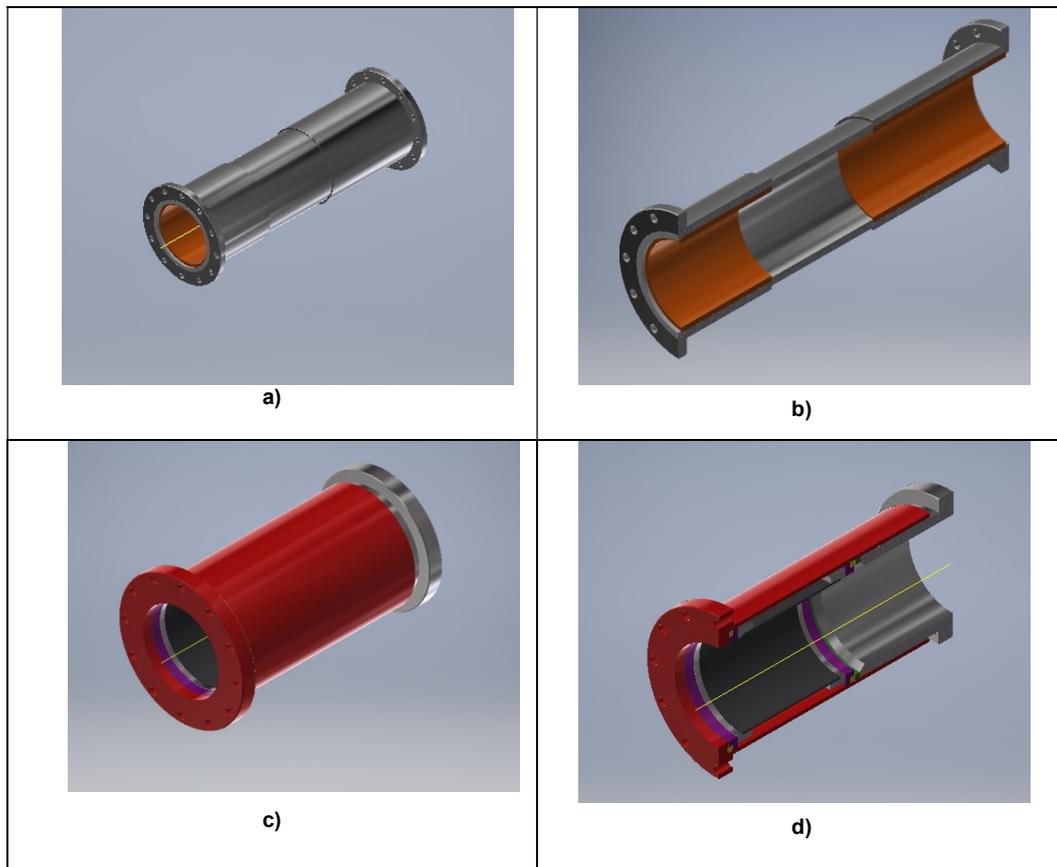


Ilustración 10 . Bocina. a y b) vista y sección de la bocina utilizada. c y d) vista y sección del sello de proa de la bocina.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Realizado por el autor a partir de sección ilustrativa de sello Cedervall&RITH/MECO mostrado en "Tecnología de la construcción del buque" pag 271.

### 10.1.7 Hélice.

Se representa una “Hélice sin chaveta”<sup>7</sup> según modelo inspirado en la representación en corte 2D del libro *Tecnología de la construcción del buque* pág. 273 cuya fuente es documentación de la ETSIN: Construcción naval III.

Está compuesta por los siguientes subcomponentes:

1. Núcleo hélice.
2. Manguito.

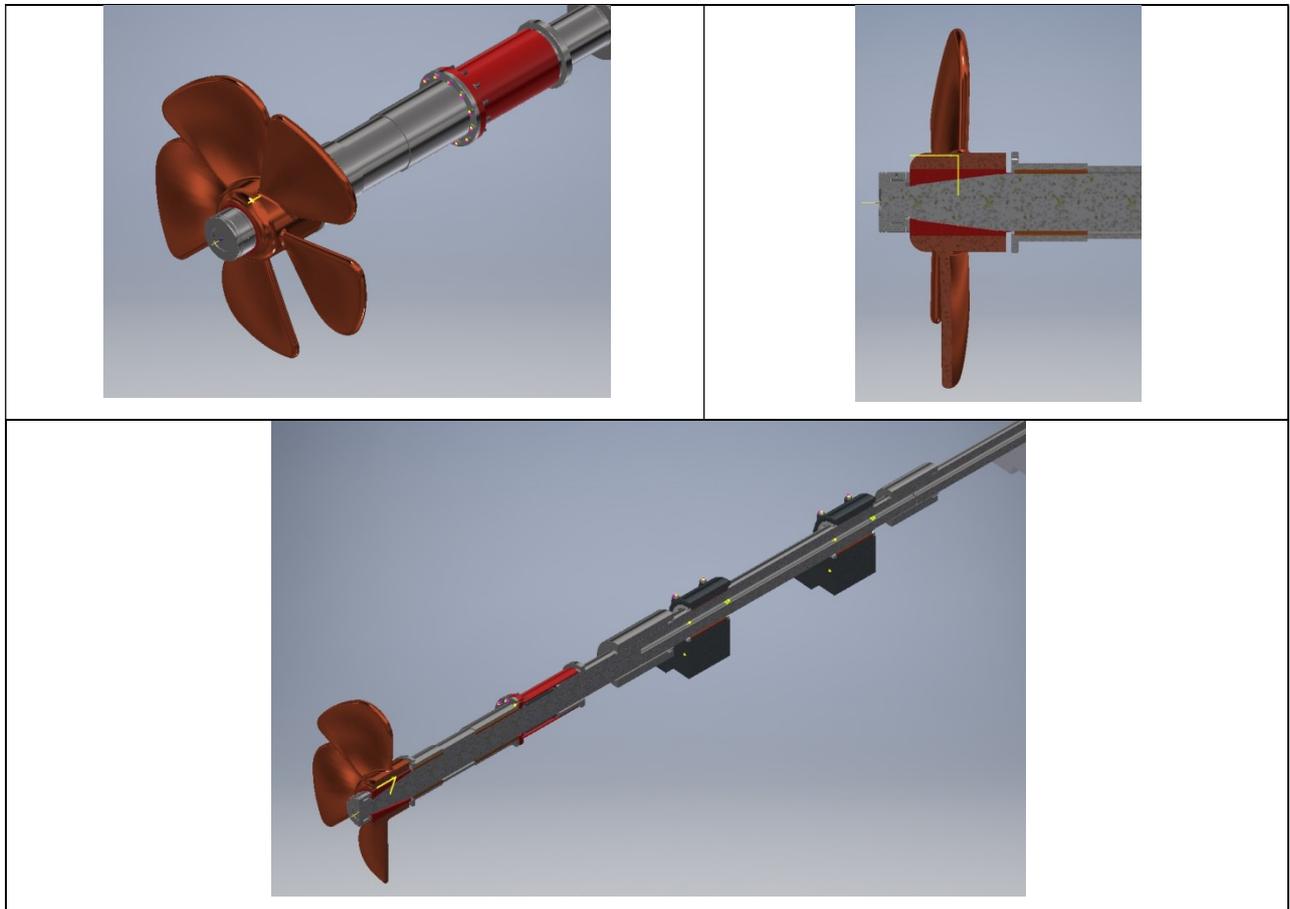


Ilustración 11 Representaciones de Hélice y su ensamblaje en la línea de ejes. Elaboración propia.

La unión entre hélice y manguito es mediante roscado métrico a izquierdas. Este manguito tiene un cilindrado cónico 1:15 coincidente con el del eje de cola y acorde a las especificaciones de Lloyd’s y documentación técnica consultada incorporada en la bibliografía.

<sup>7</sup> Modelo inspirado en la representación en corte 2D del libro *Tecnología de la construcción del buque* pág. 273 cuya fuente explícita es: “documentación de la ETSIN: Construcción naval III.”

El correcto ensamblaje y unión entre eje de cola y conjunto de la hélice se consigue mediante la tuerca Pilgrim<sup>8</sup>, que está compuesta por:

1. Tuerca Pilgrim M 260
2. Anillo móvil tuerca Pilgrim.
3. Junta estanca.
4. Cierre de canal hidráulico
5. Canal de inyección.

Se da cumplimiento a las indicaciones referidas al dimensionamiento de la tuerca Pilgrim respecto al diámetro mayor de la parte cónica del eje de cola, que es del 60% del mismo<sup>9</sup>. Añadir que la presión de trabajo es de 1375 bar en el circuito hidráulico.

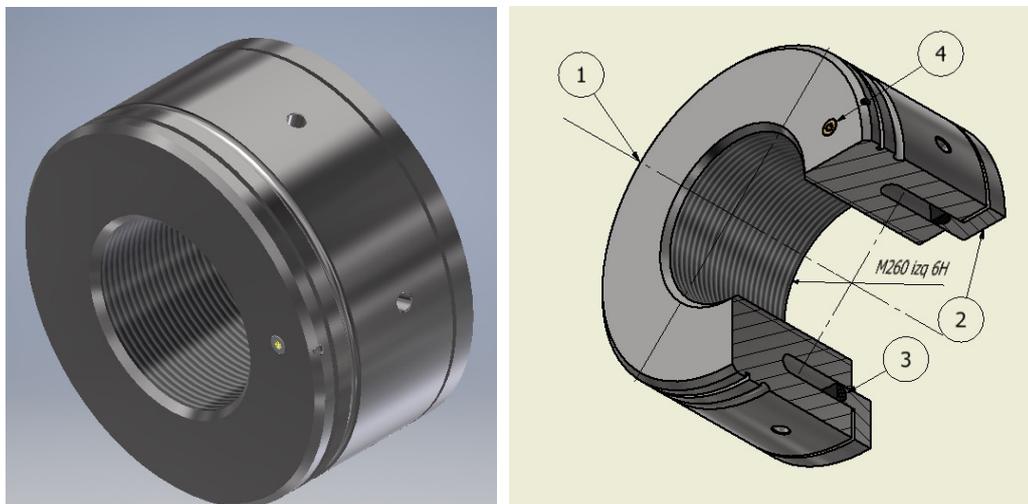


Ilustración 12 Tuerca Pilgrim M260. 1. Cuerpo principal, 2 Anillo, 3 Junta estanca, 4 Cierre canal hidráulico, 5 Canal de inyección hidráulica. Elaboración propia.

## 10.2. Requerimientos de alineación entre elementos de la línea de ejes.

La alineación entre los tramos de la línea de ejes y de ellos con respecto la teórica línea formada entre la bocina y el plato de salida de la reductora tiene una importancia vital en la consecución de los requerimientos de montaje de la línea de ejes.

Existen dos procedimientos para ello.

- Tradicional, mediante micrómetros o las denominadas cuerdas de piano.
- Telescopios ópticos mediante los que se pueden obtener precisiones de  $\pm 2\mu\text{m}$  por metro de longitud.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> FJ González de Lema. (2002) "Tecnología de la construcción del buque" Cap. V montaje del buque. "Hay hélices que no usan chavetero y el par creado en el giro ente la hélice y el eje se absorbe por un apriete perfectamente calculado y apoyado en su parte posterior en la tuerca, que se ha de apretar hidráulicamente (tuercas tipo Pilgrim)."

<sup>9</sup> Tecnología mecánica naval, tomo II, Sección IV: Líneas de ejes. Ap.6 Conos de ejes y roscas, pág. 75

Sabemos también que desviaciones de alineación de 0,5 mm tendrán resultados catastróficos en la línea de ejes.<sup>11</sup>

Partiendo de lo arriba expuesto tenemos datos para determinar la precisión máxima en requerimientos, pues mas allá no podría ser comprobada y también el límite de desalineación que produce resultados catastróficos.

El resto de los componentes que conforman la línea se ensamblarán teniendo como referencia la línea teórica en cuyos extremos están la bocina y el plato de salida de la reductora.

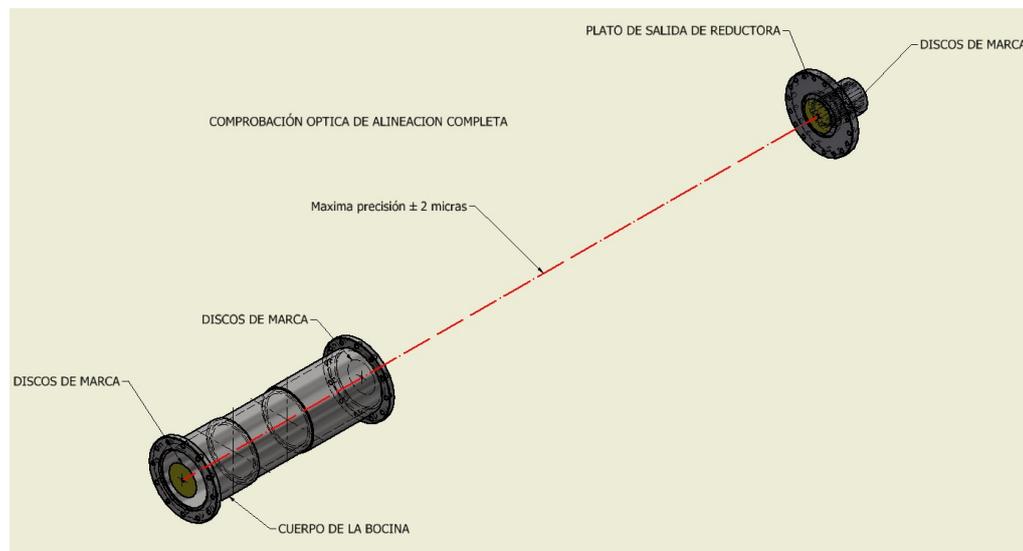


Ilustración 13 Comprobación óptica completa de la bocina en relación con el plato de salida de la reductora. Elaboración propia.

### 10.3. Requerimientos con origen en la Indicación de la Calidad superficial según ISO 1302:2002<sup>12</sup>

Con la entrada en vigor de la norma arriba referida se vino a modificar en buena medida la identificación de la calidad superficial de los elementos constructivos en la fabricación mecánica y por ende en la construcción naval. Se indica a continuación la tabla de requerimientos generales.

En la fase de diseño de un elemento mecánico, tal como los componentes de esta línea que ejes sometidos a requerimientos. Desde un punto de vista mecánico, poseen

<sup>10</sup> Paul E. Russell et alt. General Engineering Knowledge for Marine Engineers. Pg 213 " Older alignment methods used piano wires and micrometers, feelers between coupling faces, etc whereas modern methods utilize optical telescopes and targets giving accuracies of  $\pm 2\mu\text{m}$  per 1 m length"

<sup>11</sup> Carbajales Pereira R., (1995) Tecnología Mecánica Naval Comprobación óptica antes del montaje de la línea de ejes. Pg 129 "Un error de desalineación de 0.5 m/m de la línea de ejes en una longitud de 5 m puede producir una inmediata destrucción del material de antifricción de los apoyos durante las pruebas de rodaje o también durante las primeras pruebas de mar"

<sup>12</sup> La norma ISO 1302:2002, supuso una modificación importante en el modo de representación de los requerimientos de la calidad superficial en comparación con su previa versión ISO 1302: y la UNE 1037:1983. Añadir que esta norma ahora en vigor tiene previsto ser sustituida por PNE-prEN ISO 21920-1

requerimientos superficiales aquellas superficies dotadas de *cota funcional*<sup>13</sup> que interactúan con otras superficies. Estos requerimientos atienden a parámetros que expresan una propiedad micro-geométrica de una superficie.

Podremos clasificar las superficies de un componente atendiendo a la función que desempeña:

Tipo de superficie	Interacciones	Acabado.
Superficie funcional.	Contacto dinámico directo con otros componentes.	Acabado muy fino
Superficie de apoyo.	Contacto estático con otros componentes	Acabado fino
Superficie libre.	Sin contacto directos con otros compontes.	Acabado basto o menor con fines estéticos.

Tabla 7 Clasificación de superficies en función a su desempeño según ISO 1302

La rugosidad puede ser medida mediante el empleo de tres parámetros diferentes:

- Rt. Máxima profundidad de la rugosidad.
- Ra. Valor medio de la rugosidad.
- Rz. Profundidad media de la rugosidad

En este trabajo fin de grado será utilizado el parámetro Ra que se calcula mediante la integral definida que se adjunta:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (10.5)$$

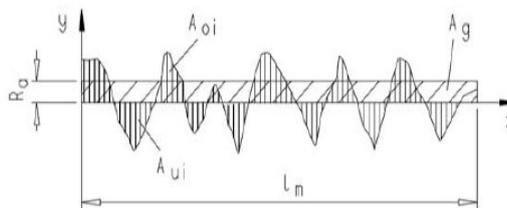


Ilustración 14 Grafica Rugosidad Ra. Norma UNE ISO 1302

Existen tabulaciones actualizadas que permiten obviar el cálculo individualizado de cada una de las ocasiones en las que sea necesario indicar Ra. Estas tablas atienden a dos premisas, función de la superficie por una parte y método mecánico de obtención

<sup>13</sup> Cota funcional: Cota necesaria para que un componente desempeñe, dentro de un margen estándar previamente establecido, su función de diseño



por otra. La primera nos indica el requerimiento mínimo a alcanzar y la segunda el método mecánico para su consecución efectiva.

Función	Ejemplo de aplicación	Ra ( $\mu\text{m}$ )
Fricción por deslizamiento	Árboles	0.8
Fricción por rotación	Rodamientos, cojinetes	0.4
Estanqueidad dinámica	Juntas teóricas	0.4
	Retenes	0.3
Estanqueidad estática	Sellado con junta	1.6
	Sellado sin junta	0.1
Montaje fijo con facilidad	Soportes y piezas desmontables	3.2
Montajes fijos	Soportes de cojinetes	1.6
	Soportes de rodamientos	0.8

Tabla 8 Documento de trabajo Calidad superficial. Función IG Sep.2013. Consellería de Educación. Xunta de Galicia

En función del método de trabajo utilizado para la obtención de los componentes y subcomponentes, se estima que serán realizados por mecanizado por arranque de viruta a excepción de:

- Camisas interiores de los acoplamientos hidráulicos que podrán ser obtenidas por extrusión.
- Las arandelas de los elementos de fijación que lo serán por estampación.

### 10.3.1 Representación gráfica de los requerimientos de acabado superficial de los componentes de la línea de ejes.

De acuerdo a las indicaciones de la norma ISO 1302:2002, y ciñéndose a los componentes de la línea de ejes, para indicar los parámetros de acabado superficial, se emplearán dos símbolos gráficos diferentes.

Componentes y subcomponentes de la línea de ejes atendiendo a su modo de fabricación	Símbolo básico
Mediante mecanizado con arranque de viruta	
Mediante mecanizado sin arranque de viruta	

Tabla 9 Símbolos de acabado



El símbolo gráfico básico utilizado es complementado hasta su conversión en *símbolo gráfico extendido*, el cual aporta información necesaria para la correcta fabricación de los componentes de la línea de ejes, en términos de calidad superficial.

Símbolo gráfico expandido	Observaciones.
	<p>a. Requisito 1º de calidad superficial indicado en Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>b. Requisito 2º de calidad superficial indicado en Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>c. Método de fabricación o bien recubrimiento según ISO 1456</p> <p>d. (=, C, P) símbolos gráfico de surcos superficiales y orientación.</p> <p>e. Eventual tolerancia de fabricación indicada. (mm)</p>

Tabla 10 Símbolo gráfico expandido

En su aplicación a la línea de ejes podremos establecer que:

Indicación gráfica	Aplicación a la línea de ejes.
Requisito 1º y 2º de calidad superficial indicado en Ra ( $\mu\text{m}$ )	Serán aplicados en aquellas superficies funcionales y de apoyo.
Método de fabricación o bien recubrimiento según ISO 1456:2009	El método de fabricación a indicar será: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Escariado.           Agujeros pasantes para unión mediante pernos.</li> <li>○ Estampación. Arandelas</li> <li>○ Extrusión.           Camisas interiores de acoplamientos hidráulicos.</li> <li>○ Torneado.       Resto de componentes</li> <li>○ Rectificado.   Frente de acoplamiento hidráulico con</li> </ul>



	brida tras taladrado y escariado de agujeros pasantes para unión a plato de salida de reductora.
Símbolos gráficos de surcos superficiales y orientación.	Los símbolos gráficos indicados son los asociados a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Torneado cilíndrico (=)</li> <li>• Refrentado (C)</li> <li>• Rectificado (P).</li> </ul>
Eventual tolerancia de fabricación indicada. (mm)	De aplicación a las facetas refrentada de acoplamiento OKF y plato de salida de reductora.

Tabla 11 Aplicación a línea de ejes de simbología gráfica expandida

Existe una relación entre la tolerancia y la calidad superficial, pues no es posible obtener índices de tolerancia bajos (mejores) con calidades o estados superficiales de alta rugosidad. Esta relación nos da pie para introducir el apartado 10 del presente TFG.

RELACION ENTRE TOLERANCIA Y CALIDAD SUPERFICIAL									
Tolerancia		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
Superficie	Grupos de diámetros (mm)	Rugosidad Ra ( $\mu\text{m}$ )							
Cilíndrica	Hasta 80	0.4	0.8	1.6	1.6	3.2	Fuera del alcance de este TFG		
	80-500	0.8	1.6	1.6	3.2	3.2			
	500-1250	1.6	1.6	3.2	3.2	6.4			
Plana									

Tabla 12 Relación entre Tolerancias y calidad superficial

Podemos inferir, de acuerdo a lo expuesto en los siguientes apartados, que los grados de tolerancias a utilizar en el presente trabajo requieren una calidad superficial IT6, IT7, IT8



## 10.4. Requerimientos de tratamientos térmicos o termoquímicos para alcanzar los requerimientos constructivos.

La aplicación de tratamientos superficiales tiene en este caso el objeto de minorar el desgaste entre el eje y cojinetes de apoyo en mayor medida. La línea de ejes está sometida a vibraciones y rozamiento superficial intenso en sus apoyos. Al objeto de poder alcanzar dar cumplimiento a los requerimientos de las condiciones de trabajo se requerirán tanto tenacidad como resiliencia al igual que una gran dureza superficial. Dado que la resiliencia y la dureza son propiedades contrapuestas no podrán ser obtenidas mediante un templado convencional.

Lo más indicado es la aplicación de un tratamiento de templado superficial por inducción por corrientes alternas de alta frecuencia. A título informativo se indica la fórmula de cálculo del espesor templado.

$$e = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\rho f}} \quad (10.6)$$

Donde:

$\mu$  es la permeabilidad del conductor

$\rho$  es la conductividad térmica

$f$  es la frecuencia de la corriente alterna

El templado superficial permite que una delgada capa alcance la temperatura de autenización tras el que se realiza un enfriado. Se conseguirá en este caso una capa constituida con alto contenido martensítico sin afectación del núcleo de los componentes de la línea de ejes.

La concreción de esta información en el terreno gráfico se concretizará de dos modos, mediante la indicación complementaria dentro de la simbología de acabado superficial, y la indicación del contorno a tratar en el plano. Adicionalmente se podrá indicar información complementaria en cuadros de texto.



## 11. Análisis de soluciones. Caso 1: Aplicación exclusiva de tolerancias dimensionales.

Tratamos a continuación la relación entre la dimensión nominal de un elemento geométrico y su dimensión real. Tradicionalmente las tolerancias dimensionales han sido, y en buena medida todavía son un punto de vista dominante en la redacción de información gráfica. Vamos a observar ahora el resultado en la aplicación práctica del objeto de alcance en este TFG.

Observaremos la notación correcta de tres parámetros:

- Tolerancias lineales sin indicación individual de tolerancia según ISO 2768:1989/ UNE EN 22768:1994
- Tolerancias angulares sin indicación individual de tolerancia según ISO 2768:1989/ UNE EN 22768:1994
- Tolerancias dimensionales (lineales y angulares) según ISO 286:2011

### 11.1. Tolerancia dimensional general según ISO 2768-1:1989/ UNE EN 22768:1994

Es esta una notación básica, o por defecto, está constituida por valores lineales o angulares predefinidos para grupos dimensionales. Su alcance son las dimensiones lineales y angulares, pero quedan fuera del alcance de esta norma:

- Las dimensiones lineales y angulares objeto de otras normas, tal y como puede ser la ISO 286:2011
- Las dimensiones indicadas entre paréntesis “(129)”.
- Las dimensiones teóricamente exactas “ 129 ”

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles sobre el valor nominal (mm)							
Designación	Descripción	0.5-3	3-6	6-30	30-120	120-400	400-1000	1000-2000	2000-4000
f	Fina	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	-
m	Media	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
c	Grosera	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
v	Muy grosera	-	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

Tabla 13 Tabla de la norma ISO 2768-1:1989



Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles sobre el valor nominal de aristas matadas (mm)		
Designación	Descripción	0.5-3	3-6	x>6
f	Fina	±0.2	±0.5	±1
m	Media			
c	Grosera	±0.4	±1	±2
v	Muy grosera			

Tabla 14 Tabla 2 de la norma ISO 2768-1:1989

Para aplicar esta norma ISO al objeto del presente TFG, y de acuerdo al campo de aplicación de la misma, lo será para:

- Dimensiones de los ejes carentes de otra indicación.
- Dimensiones exteriores de los apoyos de la línea de ejes.
- Dimensiones longitudinales de la bocina y su sello.
- Dimensiones longitudinales de los acoplamientos, incluido el grosor del plato brida del acopamiento OKF350.
- Ángulo interior del manguito de la hélice y para la reducción cónica de eje de cola, en este caso  $\pm 0.5^\circ$
- Dimensiones lineales y angulares de los chaflanes. La desviación angular admitida en los chaflanes para *ISO 2768-1:1989-f* es de:  $\pm 1^\circ$

Se ha de escoger un tipo de designación que en el caso que nos ocupa será la “fina” o “f”. De este modo en el cajetín de los planos o sus inmediaciones y de acuerdo al apartado 5 de la norma EN 22768-1:1993 debe figurar la indicación:

- “*ISO 2768-1:1989-f*”

## 11.2 Tolerancia dimensional específica según ISO 286-1:2011 e ISO 14405-1: 2016 dimensiones lineales. Cálculo de la unidad de tolerancia e IT.

La norma ISO 286 establece el *sistema ISO* para las entidades dimensionales<sup>14</sup> cuya morfología responda a:

- Cilindros.
- Dos superficies opuestas paralelas.

Con respecto a la codificación ISO de una tolerancia tenemos dos posibilidades:

- Codificar respecto a ISO 286-1:2010: (Dimensión nominal)+ (clase de tolerancia)
  - Ejemplo: 129h7
- Codificar respecto a ISO 14405-1:2016: (Dimensión nominal)+ ( $\pm$  desviaciones límite)
  - Ejemplo: 129 $^{+25}_{-0}$

Adicionalmente define terminología relacionada y proporciona una selección normalizada de las clases de tolerancia. De acuerdo con el apartado 5.3.3 de la norma ISO 286, la primera decisión a tomar en el arreglo dimensional de la línea de ejes es determinar qué sistema se adopta:

- Agujero base. “Agujero H”.
- Eje Base. “Eje h”.

Podremos codificar una misma tolerancia de cualquiera de las dos maneras, si bien la codificación ISO 286 es idónea para parámetros dimensionales que sean susceptibles de ser ensamblados y la ISO 14405-1:2016 para las demás dimensiones.

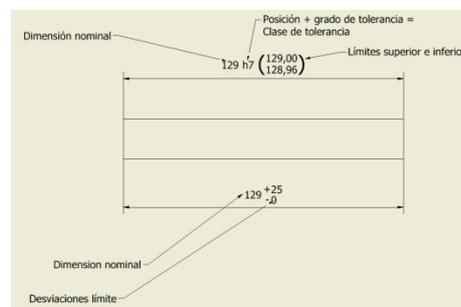


Ilustración 15 Posibilidades de codificación ISO

<sup>14</sup> En anteriores versiones de la ISO 286 la denominación *entidad dimensional* se correspondía con las denominaciones *pieza lisa* y *elementos simples*

### 11.2.1. Contextualización para la línea de ejes.

A la hora de contextualizar la línea de ejes necesitamos determinar el grado de tolerancia, y su desviación fundamental, tendremos en cuenta que estamos ante un sistema de agujero base. Por ello se seguirá la siguiente ruta:

1. Determinación del sistema agujero base o eje base.
2. Determinación por cálculo o bien por instrucciones del suministradores la clase de tolerancia de los ejes.
3. Una vez determinada la clase de tolerancia del eje, se procede al cálculo de las clases de tolerancia de los diferentes componentes que acompañan a los tramos de la línea así como de los pertinentes ajustes. Para ello se debe recurrir a:
  - a. Indicaciones del norma ISO 286-1:2010 para los ajustes con componentes en sentido diametral y la ISO 14405-1:2016 para las tolerancias longitudinales.
  - b. Recomendaciones de suministradores.
  - c. Conocimiento de las funciones del componente y su contraste con indicaciones de bibliografía.
  - d. Lectura de las tablas y figuras indicativas de la norma ISO 286-1:2010 para la obtención empírica de las desviaciones fundamentales.

### 11.2.2. Determinación del sistema agujero base o eje base.

Aunque no existen diferencias técnicas entre la elección de un sistema o de otro, el sistema de eje base es el más idóneo dada la morfología de la línea de ejes que muestra una similitud clara con el gráfico de ejemplo de la norma ISO 286-1:2010 referida a eje base para relación eje componentes y agujero base para relación interna entre subcomponentes de resto de componentes.

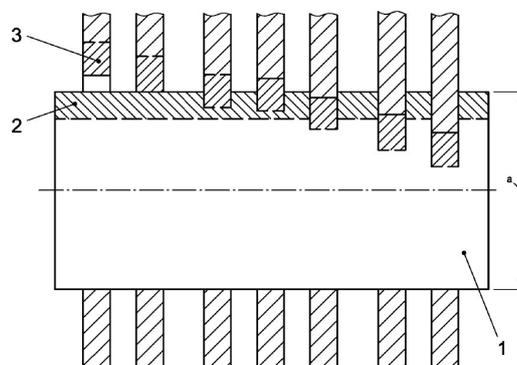
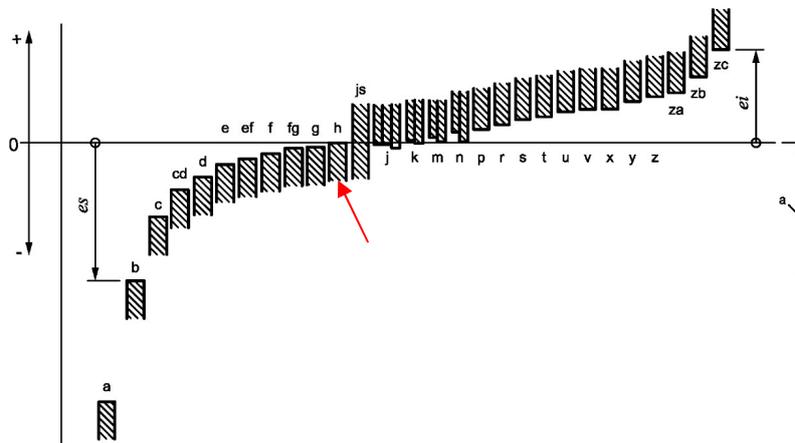


Ilustración 16 Detalle de sistema de eje base extraído de la ISO 286-1:2010, pg17: 1. Eje base h, 2. Intervalo de tolerancia del eje base, 3 intervalos de tolerancia de los diferentes agujeros, a. Dimensión nominal.

### 11.2.3. Determinación por cálculo o bien por instrucciones de suministradores de la clase de tolerancia de los ejes.

En un principio, y sin tener en cuenta todavía otros condicionantes que serán expuestos posteriormente, para el conjunto “eje intermedio+ eje reducido de cola+ eje de cola” una vez consultado el catálogo de SKF referido a los acoplamientos se indica que el eje se debe fabricar codificado con:

- Desviación fundamental para el eje: h
- N° de Grado de tolerancia para el eje: 7



b) Ejes (entidad dimensional externa)

Ilustración 17 Indicación gráfica de la ISO 286-1:2010 que nos indica la posición “h” para los tramos de la línea de ejes.

El fabricante SKF recomienda el sistema de agujero base h7, es decir en calidad IT7, utilizar dicho sistema conlleva para el resto de componentes; Sello, bocina, apoyos con cojinetes, y manguito de hélice problemas de índole económica pues los ajustes de eje base h7 son muy limitados de entre los recomendados, no habiendo ninguno de ellos entre los denominados de interferencia ni en los indeterminados. Por todo ello se eleva el grado de calidad a IT6, y por tanto se escoge agujero base con código ISO h6 para el eje sin que comporte elevación de costes de fabricación para el resto de componentes. La tecnología de fabricación actual con centros de mecanizado y tornos con capacidad para producir elementos mecánicos con un grado de apreciación de 0,02 mm, implica que aumentar el grado de calidad de IT7 a IT6 no comporta coste económico significativo.

Veamos ahora que implica determinar el número de grado de tolerancia “6” respecto a los diámetros.



Dimensión nominal mm	Grados de tolerancia normalizados																				
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
Desde	Hasta e incluido	Valores de tolerancia normalizados																			
		µm										mm									
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Tabla 15 Grados de tolerancia normalizados

La búsqueda de la codificación correcta para los tres tramos de eje que conforman la línea es relativamente sencilla, pues poseemos información del fabricante de los acoplamientos que nos indica. Lo arriba indicado implica que los diámetros exteriores de las tres porciones de la línea de ejes se indican como sigue:

Componente	ISO 286-1:2010	ISO 14405-1:2016
Eje intermedio	350h6	350 <sup>+0,000</sup> <sub>-0,036</sub>
Eje reducido de cola	350h6	350 <sup>+0,000</sup> <sub>-0,036</sub>
Eje de cola	430h6	430 <sup>+0,000</sup> <sub>-0,040</sub>

Tabla 16 Posibilidad de indicación de tolerancias dimensional según norma aplicada



Existe un modo más laborioso de llegar al mismo resultado, se basa en el cálculo de la unidad de tolerancia “i”

$$i = (0.45 \times \sqrt[3]{\phi}) + (0.001x\phi) \quad (11.1)$$

Una vez se obtiene “i” se multiplica por un factor indicado en tablas.

	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10
FACTOR	7i	10i	16i	25i	40i	64i

Para el caso del eje intermedio de  $\phi = 350$ , obtendríamos:

Donde  $D = \sqrt[2]{315x400}$  siendo 315 y 400 los extremos del intervalo de la tabla para para el diámetro 350.

$D=354.96$  mm,

Ahora sustituimos la media geométrica D en la siguiente fórmula.

$$i = (0.45 \times \sqrt[3]{D}) + (0.001xD) \quad ( )$$

$$i = (0.45 \times \sqrt[3]{354}) + (0.001x354) = 3.54116$$

$$IT6= 3.54116 \times 10$$

$$IT6=35.4116 \mu\text{m}$$

El error con respecto a las tablas es de:

$$\xi = 36 - 35.4116 = 0.58 \mu\text{m} \text{ o } 5.8 \times 10^{-4} \text{mm.}$$

Podemos concluir que dicho error es despreciable y por tanto utilizaremos las tablas indicadas en la norma ISO 286-1:2010 y subsidiariamente otras aportadas por fabricantes y/o bibliografía.

#### 11.2.4. Determinación de los ajustes entre componentes.

Una vez confirmada la tolerancia de los tramos de eje vamos a determinar las de los componentes que se ajustan con aquel y por tanto su tipo de ajuste, para ello se utilizará la codificación de la ISO 286-1:2010.



En condiciones normales, y según nos indica su epígrafe 5.3.4, existe un pequeño número de ajustes que cubren las necesidades medias de la organización en ingeniería y de entre ellas las que se indican en negrita, se denominan *sistemas básicos de ejes* y se indica aquí un resumen:

Tablas de ajustes recomendados ISO 286-1:2010 agujero base.																		
Agujero base	Clases de tolerancias para agujeros																	
	Ajustes con holgura					Ajustes indeterminados						Ajustes con interferencia						
h5						G6	H6	JS6	K6	M6		N6	P6					
<b>h6</b>					<b>F7</b>	<b>G7</b>	<b>H7</b>	<b>JS7</b>	<b>K7</b>	<b>M7</b>	<b>N7</b>		<b>P7</b>	<b>R7</b>	<b>S7</b>	<b>T7</b>	<b>V7</b>	<b>X7</b>
<b>h7</b>				E8	<b>F8</b>		<b>H8</b>											
h8			D9	E9	F9		H9											

Tabla 17 Ajustes recomendados. Sistema Agujero base

Estos ajustes se usarán de modo preferente, si bien no es obligatorio su uso exclusivo de los mismos, pudiendo acudir a otros sugeridos por bibliografía o fabricantes. De entre estos cabe destacar la indicada por N. Larburu en su libro “prontuario de máquinas”.

Para la fabricación y ajuste de los tres tramos de eje y su ajuste con los componentes seguiremos el principio indicado en la norma ISO 286-1:2010, que se aplica del siguiente modo.

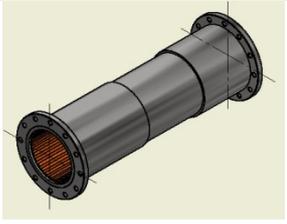
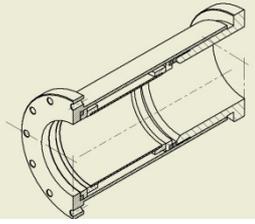
- Eje base: relación del eje con los componentes.
- Agujero base: relación entre subcomponentes de Acoplamiento, Bocina, Sello, Manguito de la hélice, Tuerca Pilgrim M260.

Basándonos en todo lo anterior, podemos ahora proceder a redactar una relación pormenorizada de ajustes de componentes con respecto al eje. Adicionalmente existirán los ajustes entre los diversos subcomponentes de cada componente que serán expuestos en los planos correspondientes.

Relaciones agujero base.							
Componente 1	Clas e tol.	Componente 2	Clas e Tol.	Tipo de ajuste	Observaciones : fuentes		
Eje intermedio	h6 <sup>15</sup>	Acoplamiento hidráulico SKF OKF 350.	F7*	Holgura transformado en interferencia	Fuente catálogos SKF, diferente a los recomendados en ISO 286-1		
		*Este ajuste se convierte por presión hidráulica en <u>h6/S7</u> "Forzado muy duro"					
	h6	Apoyo cojinete Ø350	G7	Holgura, giratorio.	El ajuste del cojinete en su carcasa es H7/k6 Montaje adecuado para casquillos de bronce <sup>16</sup> . Eventualmente también se podrá usar un ajuste H7/js6 asegurado contra el giro		
Eje reducido de cola	h6	Acoplamiento SKF OKC350	E7*	Holgura transformado en interferencia	Fuente catálogos SKF		
		Acoplamiento SKF OKC430.	E7*	Holgura transformado en interferencia	Fuente catálogos SKF		
		*Este ajuste se convierte por presión hidráulica en <u>h6/S7</u> , "Forzado muy duro"					
		Apoyo cojinete Ø430	G7	Holgura, giratorio.	El ajuste del cojinete en su carcasa es H7/k6 Montaje adecuado para	(Ya mostrado arriba)	

<sup>15</sup> Si bien el fabricante SKF recomienda el sistema de agujero base h7, es decir en calidad IT7, utilizar dicho sistema conlleva para el resto de componentes; Sello, bocina, apoyos con cojinetes, y manguito de hélice problemas eventuales de índole económica pues los ajustes de agujero base h7 son muy limitados de entre los recomendados, no habiendo ninguno de ellos entre los denominados de interferencia ni en los indeterminados. Por todo ello se eleva el grado de calidad a IT6, y por tanto se escoge agujero base con código ISO h6 para el eje sin que comporte elevación de costes de fabricación para el resto de componentes. La tecnología de fabricación actual con centros de mecanizado y tornos con capacidad para producir elementos mecánicos con un grado de apreciación de 0,02 mm, el aumentar el grado de calidad de IT7 a IT6 no comporta coste económico significativo.

<sup>16</sup> C. Solar. Tecnología de máquinas herramientas 1º FpII. Tema 17 bis pg 135. Epígrafe 3.9 "Alguna de sus aplicaciones son casquillos de bronce, cubos de inducido de ejes de electromotores, cubos de ruedas, etc"

					casquillos de bronce <sup>17</sup> . Eventualmente también se podrá usar un ajuste H7/js6 asegurado contra el giro		
Eje de cola	h6	Acoplamiento o OKC430.	E7*	Holgura transformado en interferencia	Fuente catálogos SKF	(Ya mostrado arriba)	
		*Este ajuste se convierte por presión hidráulica en h6/S7, "Forzado muy duro"					
		Bocina.		Ver planos para ajustes de subcomponentes	El ajuste lo realiza material elastómero.		
		Sello.		Ver planos para ajustes de subcomponentes	El ajuste lo realiza material elastómero.		
		Cojinetes de bronce	R7	Interferencia fuerte. Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción, no necesita seguro contra el giro.		
		Hélice (Manguito interior)	H7	Deslizante.	Este ajuste permite un montaje relativamente sencillo pero que evita el desplazamiento radial.		

<sup>17</sup> C. Solar. Tecnología de máquinas herramientas 1º FpII. Tema 17 bis pg 135. Epígrafe 3.9 "Alguna de sus aplicaciones son casquillos de bronce, cubos de inducido de ejes de electromotores, cubos de ruedas, etc"

Eje de cola porción roscada	6g	Tuerca Pilgrim M260	6H	Holgura, giratorio	El ajuste en este caso es 6H/6g <sup>18</sup> .	
-----------------------------	----	---------------------	----	--------------------	---	--

Tabla 18 Relaciones agujero base componentes con eje.

Con la intención de abundar sobre lo arriba expuesto se expone a continuación algún ejemplo de entre los realizados en los planos de este TFG.

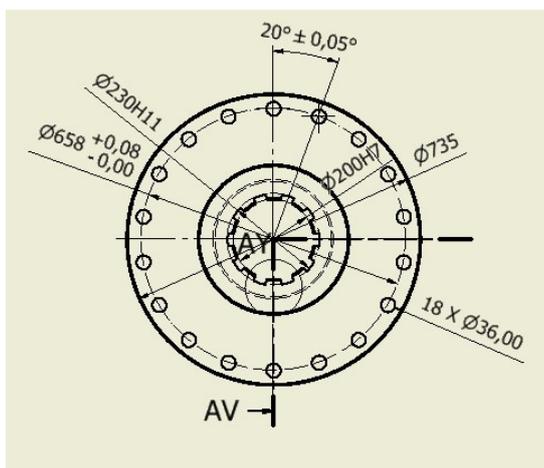


Ilustración 18. Plato de salida reductora Reintjes. Utilización conjunta de código ISO 286 y tolerancias según ISO 14405. Elaboración propia.

<sup>18</sup> El código de grado de tolerancia invierte el orden de letra y número para las roscas.  
 ETS de Náutica y Máquinas – Universidade da Coruña - Plaza de la Marina Mercante – 15011 – Campus de Riazor - A Coruña  
 Teléfono: +34-981167000 – Fax +34-981167101 - <https://nauticaemaquinas.udc.es/>

Con respecto a los subcomponentes, se exponen a modo aclaratorio los denominados “ajustes recomendados” con especificación de los asientos tanto para el sistema de agujero base utilizado ente ejes y componentes, como de agujero base utilizado entre subcomponentes<sup>19</sup>.

Tabla de ajustes recomendados ISO para grados de ajuste Fino, medio y basto. (Se omite el grado superior de alta precisión utilizado para instrumentos de medición y calibración en su mayoría)							
Tipo	Calidad sup. Ra(μm)	Sistema				Clase	Características.
		Ag. base		Eje base			
		Ag.	Eje	Ag.	Eje		
Fino	0.8-3.2	H7	s6/r6	h6	S7/R7	Prensado, zunchado, forzado muy duro.	Montaje a presión. Sin seguro de giro. Montaje por dilatación/ contracción.
			n6		N7	Forzado duro	Montaje difícil. Seguro de giro. Montaje por dilatación/ contracción.
			k6		K7	Forzado medio	Montaje a martillo. Requiere gran esfuerzo. Seguro de giro y deslizamiento.
			js6 <sup>20</sup>		JS7	Forzado ligero	Montaje a mano. Ambos seguros
			h6		H7	Deslizante	Juego pequeño, deslizamiento a mano.
			g6		G7	Giratorio	Juego mediano, apreciable.
			f7		F7	Holgado	Juego más que apreciable.
		Medio	6.4	H8	h9	h9	H11
	e8				E9	Giratorio	Juego amplio, piezas que deben desplazarse durante su funcionamiento.
	d9				D10	Holgado	
Basto	12.8≥Ra	H11	h11	h11	H11	Deslizante	
			e9		D10	Giratorio	Juego mediano
			e11		E11	Holgado	Juego amplio
			a11		A11	Muy holgado	

Tabla 19 Tabla de ajustes recomendados ISO

<sup>19</sup> La tabla aquí adjunta es un extracto de la información que aportan: Ramos Barbero et al (2006) Dibujo técnico. AENOR ediciones. Madrid Cap. 10.8 Tolerancias de medida, Tabla 10.4, N. Larburu (1990) Prontuario de máquinas. Tabla 9.8.

<sup>20</sup> Las desviaciones js y JS podrán sustituirse por j y J para aplicaciones específicas.

Con respecto a las dimensiones en sentido longitudinal, y que por su importancia no puedan quedar a disposición únicamente de la ISO 2768, sino que deben estar sujetas a lo indicado en la ISO 14405-1:2016 son:

- Longitud de los tramos de ejes.
- Longitud de los cojinetes para ser insertados en los apoyos.
- Longitud de los cojinetes insertados en el eje de cola.
- Longitud del manguito interior de la hélice de paso variable.
- Longitud de los elementos interiores del sello de la bocina (o bien a la ISO 286-1:2010)

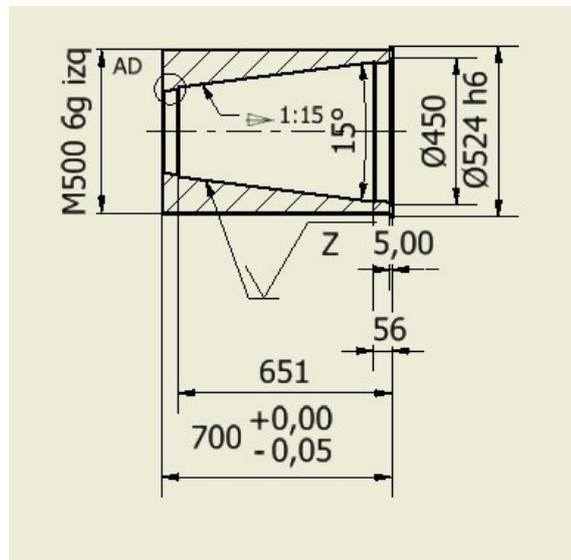


Ilustración 19. Sección de manguito de Hélice. Ejemplo de tratamiento de corte con uso de tolerancias ISO 286-1:2010 e ISO 14405-1:2016. Elaboración propia.

Se remite aquí a los planos anexos del presente TFG como lugar idóneo para la indicación pormenorizada de dichas tolerancias.

### 11.2.5. Sistema de Tolerancias para la rosca métricas ISO.

Las tolerancias de roscas se rigen por una norma específica, la UNE 17707:1978 que coincide con el sistema establecido por ISO/TC1-347 y comprende:

- Calidades de tolerancia. Establecidas para los diámetros exteriores y los diámetros medios de tornillos y tuercas. Para la clase normal y la longitud normal de acoplamiento debe utilizarse la clase “6”.
- Posiciones de tolerancia. Se utilizan las posiciones “e”, “g”, y “h” para tornillos y “G” y “H” para las tuercas.

- Combinaciones de posiciones y calidades de tolerancias. Para el caso e nos ocupa se ha escogido en función de las indicaciones de la norma arriba indicada 6H para las tuercas, y 6g para los tornillos, que nominalmente será aplicado a:
  - Componentes: Manguito interior de la hélice, Tuerca Pilgrim M260, y tramo roscado M260 del eje de cola.
  - Subcomponentes: Tornillo ISO M36 y tuercas ISO M36 del acoplamiento entre eje intermedio y plato de salida de la reductora.

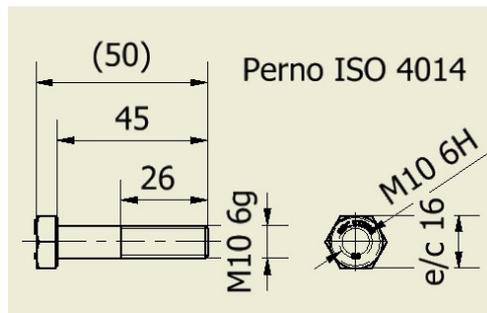


Ilustración 20 Modo de representación de sistema de tolerancias rosca métrica ISO. Elaboración propia.

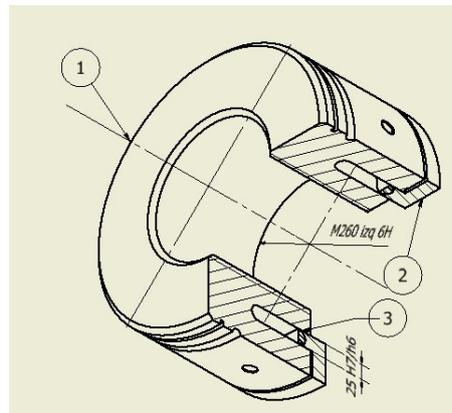


Ilustración 21 Modo de representación 3D de sistema de tolerancias rosca métrica ISO Tuerca Pilgrim<sup>21</sup>. Elaboración propia

Durante la exposición del apartado 12 se comentará la aplicación de la ISO 4759-1 referida a elementos de fijación, en lo referido a tolerancias geométricas, aunque también es aplicable a tolerancias dimensionales. En este TFG se han adoptado medidas convergentes con lo indicado en ambas normas en vigor.

<sup>21</sup> C. Solar.( 1998)Tecnología de máquinas herramientas 1FP2 Tema 17, epígrafe 3.14. El ajuste H7/h6 es un ajuste deslizante únicamente en sentido radial. En caso de estar las piezas lubricadas se pueden montar a mano.



## 12. Análisis de soluciones. Caso 2: Aplicación de Tolerancias Geométricas.

Tal y como indica la introducción de la norma 286-1:2010, *“las tolerancias de diámetro según esta parte de la norma ISO 286 no son suficientes para un control eficaz de la función intencionada del ajuste. Se requerirá del criterio adicional de envolvente según la norma ISO 14405-1. Adicionalmente se puede mejorar el control mediante la utilización de las tolerancias geométricas.”* De ello trata la norma ISO 1101:2012. *Acotado geométrico, tolerancias de forma, posición y alabeo* y también la norma UNE-CR-ISO-14638:2005<sup>22</sup>.

A continuación se va a proceder a:

- Mostrar las tipologías normalizadas de tolerancias geométricas según ISO 1101:2012.
- Dar a conocer la aplicación de las tolerancias geométricas no indicadas en plano según ISO 2768
- Aplicar lo arriba indicado a la línea de ejes.
- 

### 12.1 Tipología de tolerancias geométricas según norma ISO 1101:2012

Pasamos a determinar los tipos de tolerancias geométricas definidos en normativa, las características adicionales para después contextualizar aquellos que son de aplicación a los componentes y subcomponentes de la línea de ejes.

Tipo de tolerancia	Características	Símbolo	Referencia Necesaria
Forma	Rectitud	—	No
	Planitud	▭	No

<sup>22</sup> La norma determina durante su exposición que “las especificaciones geométricas se ocupan de definir la forma, dimensiones y características superficiales de una pieza al objeto de garantizar un funcionamiento óptimo de ésta, junto con la variación permitida en torno a la definición óptima, de forma que siga garantizando el cumplimiento de la funcionalidad requerida”



	Redondez		No
	Cilindricidad		No
	Perfil línea		No
	Perfil superficie		No
Orientación	Paralelismo		Si
	Perpendicularidad		Si
	Angularidad		Si
	Perfil línea		Si
	Perfil superficie		Si
Localización	Posición		Si/no
	Concentricidad s/ dos centros		Si
	Coaxialidad s/dos ejes.		Si
	Simetría		Si
	Perfil de una línea		Si
	Perfil de una superficie		Si
Alabeo	Alabeo radial		Si
	Alabeo axial.		Si

Tabla 20 Tipos de tolerancias geométricas

Tras definir las características geométricas generales de la norma, definimos las características especiales según ISO 1101:2012 que aportarán información complementaria.

Descripción	Símbolo
Indicación de elemento de tolerancia	
Indicación de elemento de referencia	



Indicación de referencia parcial	
Dimensión teóricamente exacta	
Zona de tolerancia proyectada	
Requisito de máximo material	
Entre	
De - hasta	
Requisito de mínimo material	
Condición de estado libre	
Aplicación a todo el perfil	
Condición de envolvente	
Zona común	C Z
No convexo	NC
Cualquier sección transversal	AC S

Tabla 21 Símbolos complementarios de Tolerancias geométricas

### 12.1.1 aplicación de tolerancias geométricas sin indicación individual de tolerancias.<sup>23</sup>

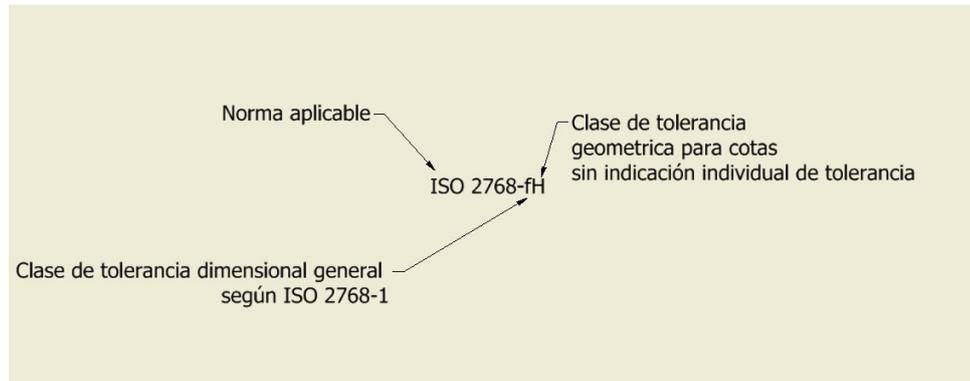
Para el caso de componentes y subcomponentes que carezcan de indicación individual la norma ISO 2768 las agrupa en tres niveles de exigencia, o clases de tolerancia:

- H o alta
- K o media
- L o baja

<sup>23</sup> Se aplican a todas las tolerancias generales excepto a : cilindridad, forma, inclinación, coaxialidad, posición, y oscilación total.



Para el caso de la redondez deben ser igual a la tolerancia dimensional de diámetro.  
Para indicar en el plano se indicará sobre el cajetín o bien dentro del mismo mediante el texto.



## 12.2 Aplicación a la línea de ejes.

La función a desempeñar por componentes y subcomponentes de la línea de ejes determina cuales de las características expuestas son parámetros a controlar. Se ha de señalar que los subcomponentes pertenecientes a acoplamientos, apoyos, bocina y sello requieren de un mayor número de parámetros a controlar que los que se han tener en cuenta para componentes eje intermedio, reducido y de cola<sup>24</sup>.

Para determinar ahora los límites aceptables de cada uno de los parámetros indicados tenemos primero que poner en conocimiento el denominado como “Principio de independencia” de acuerdo con la norma ISO 1149:1990 según la que “las cotas dimensionales y geométricas utilizadas en la representación gráfica, atañen únicamente a lo que estas indican, al margen de las demás y en consecuencia no ha de ser consideradas como relacionadas con otras.

Sin óbice lo de indicado, la tolerancia dimensional “per se” es la fuente indicada a la que recurrir, allí donde la hubiese, para cuantificar el valor de las tolerancias geométricas de:

- Forma.
- Redondez
- Orientación.

<sup>24</sup> Ali Akbar Ansarifard<sup>1</sup>, Abdolrahman Jaamialahmadi (2014), An Investigation the Effects of Geometric Tolerances on the Natural Frequencies of Rotating Shafts. Journal of Applied and Computational Mechanics, Vol. 1, No. 2, (2014), 103-111. “Deviated points are controlled by different geometric tolerances, including cylindricity, total run-out and coaxiality tolerances”



- Posición.
- Alabeo

De acuerdo con la información relevante que se ha encontrado en artículos de investigación y bibliografía previamente indicada relacionada con precisión en el mecanizado, los parámetros a controlar, su aplicación así como los valores de tolerancias asociados<sup>25</sup> se proponen en la siguiente tabla.

Característica	Aplicación	Valor de la tolerancia "t" aplicado (mm)
Rectitud/ <i>Straightness</i>	Referido al eje de giro	0.04
Planitud/ <i>Flatness</i>	Aplicado a superficies planas de subcomponentes de los apoyos par a los cojinetes	0.04
Paralismo/ <i>Parallelism</i>	Aplicable a la relación entre dos o mas ejes	0.05
Perpendicularidad/ <i>Perpendicularity</i>	Relación entre dos superficies, o bien entre una superficie y un eje.	0.05
Circularidad/ <i>Circularity</i>	Esta incluida en la cilindridad y NO será indicada. A excepción de formas cónicas	0.03/0.04
Cilindridad/ <i>Cylindricity</i>	Superficie de los tres tramos de eje	0.04/ 0.06 Menor si existe una tolerancia

<sup>25</sup> Los valores indicados responden a correspondencia con otros indicados e tolerancias dimensionales allí donde no se puede aplicar el principio de independencia, o bien a valores que el estado del arte reinante en la fabricación mecánica indica como adecuado atendiendo a criterios tanto de precisión, apreciación, y calidad de las maquinas herramientas por las que son obtenidos como de calidad superficial requerida en función de la norma ISO 1302:2002



		dimensional limitante.
Posición	Aplicable a centros geométricos reales en relación al centro geométrico teórico	En función de la dimensión y a partir de 0.05.
Forma de superficie	Aplicable a roscas, conos y chaveteros de la línea de ejes	0.04 0.02 para chaveteros
Concentricidad/ <i>concentricity</i>	Tratamiento conjunto de ambas, se indica la coaxialidad aplicada entre los extremos de un mismo eje y la concentricidad entre diámetros interior y el exterior <sup>26</sup>	0.04/0.06
Coaxialidad/ <i>coaxiality</i>		
Alabeo radial/ circular run-out (radial)	Controla las variaciones de diámetro que se tratar habitualmente con las tolerancias dimensionales referido a un círculo. No será tratado por estar incluidas en el tratamiento de alabeo radial total	En función y relacionada con la tolerancia dimensional
Alabeo radial total/ total radial run-out	Controla las variaciones de diámetro que se tratar habitualmente con las tolerancias	En función y relacionada con la

<sup>26</sup> La falta de concentricidad ente el diámetro interior, espacio hueco, y el diámetro exterior generaría distorsiones durante el giro de los tramos de la línea de ejes.

	dimensionales referido a un cilindro.	tolerancia dimensional
Alabeo total axial /total axial run-out		En función y relacionada con la tolerancia dimensional

Tabla 22 Determinación cuantitativa de parámetros aplicables a las tolerancias geométricas

Dado que la interpretación de la aplicación de las tolerancias geométricas nunca será completa si no va acompañada de anexo gráfico, se procede a continuación a implementar con apoyo gráfico lo indicado anteriormente. Se procede por tanto a explicar de manera precisa sobre un número suficiente de elementos constructivos de entre los que componen la colección gráfica anexa.

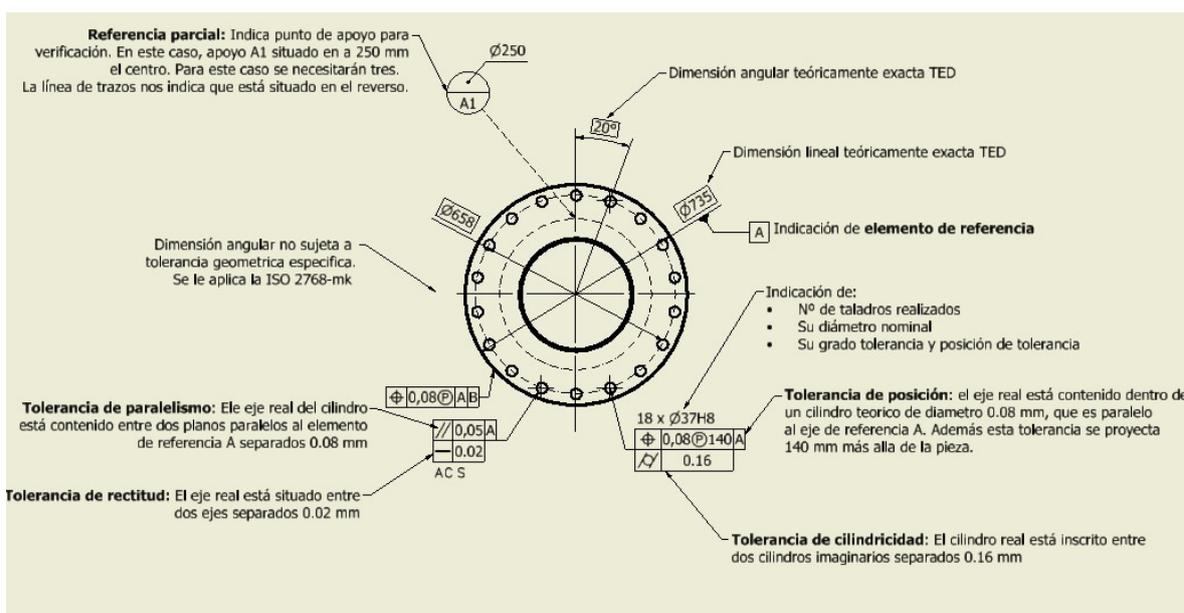


Ilustración 22. Acoplamiento OKF350. Representación de simbología básica y adicional ISO 1101:2012

Podemos ver en la ilustración 22 relativa al acoplamiento OKF 350 cómo la implementación de tolerancias geométricas mejora y complementa la interpretación adecuada de los requerimientos. La tolerancia proyectada  $\oplus 140$  incluida en la tolerancia de posición implica el control de este parámetro más allá de los límites dimensionales de la pieza pues ha de alojar un perno M36 y se considera que una

longitud externa de 140 es suficiente para garantizar la posición correcta del dicho perno.

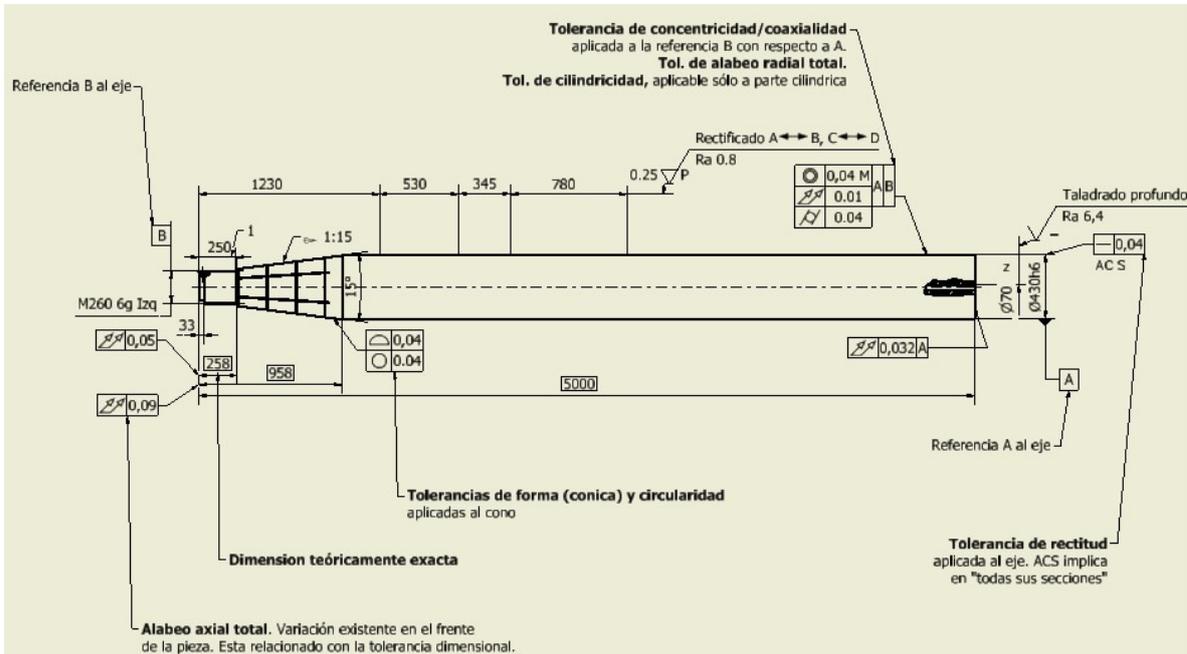


Ilustración 23. Eje de cola Interpretación de las Representación de simbología básica y adicional ISO 1101:2012. Elaboración propia.

Para el caso del eje de cola de la ilustración 23, la implementación de la simbología ISO 1101.2012 mejora considerablemente la interpretación correcta de los parámetros dimensionales y morfológicos.

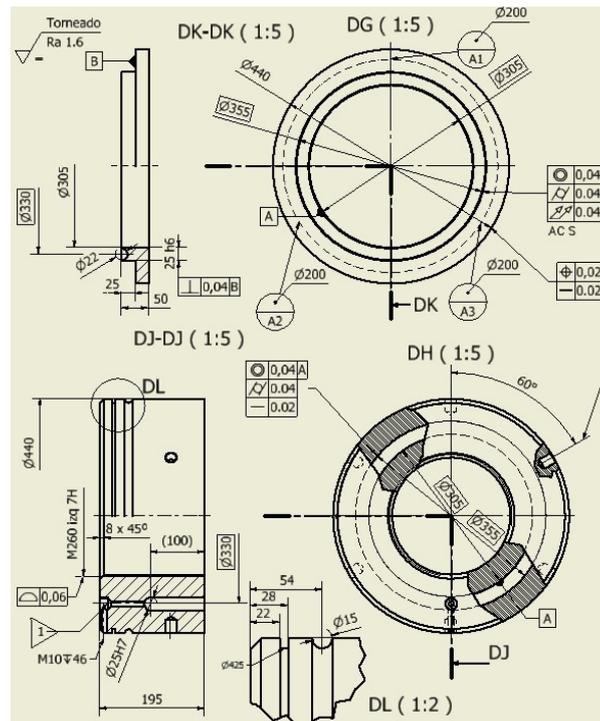


Ilustración 24 Representación de lo anteriormente indicado en las ilustraciones 22 y 23 al anillo de cierre de la tuerca Pilgrim M260.



Con respecto a la ilustración 24, referida al subcomponente “anillo de cierre” de la tuerca Pilgrim podemos destacar:

- Le son aplicables las tolerancias geométricas de:
  - Rectitud y posición a los ejes.
  - Concentricidad a las diferentes formas cilíndricas ambos subcomponentes así como su cilindridad.
- Los puntos de referencia parciales A1, A2, A3 indican los puntos de apoyo y son imprescindibles para que una serie de mediciones de un mismo parámetro puedan ser comparables. En este caso son tres puntos equidistantes a 120° contenido en una circunferencia de diámetro 200 mm.
- Los diámetros 305, 330, y 355 mm son dimensiones teóricamente exactas y por tanto se traslada su tolerancia los cuadros de tolerancia geométrica.
- La rosca interior M260 está sujeta a una tolerancia de forma referida al perfil de rosca normalizado.

### **12.2.1 Aplicación particular a componentes y subcomponentes roscados de la línea de ejes.**

Veamos a continuación que parámetros se controlan en los elementos roscados. En esta línea de ejes tendremos:

- Elementos de unión desmontable:
  - Pernos M36, tuercas y arandelas.
  - Perno M10 de seguro contra giro en eje de cola.
  - Perno M10 de seguro contra giro de sello de bocina.

Para los elementos de unión, se sigue las recomendaciones de las norma ISO 4749-1 con carácter general, tanto dimensionales como geométricas.

- Subcomponentes roscados de: Hélice, Sello de bocina.

Para los subcomponentes roscados, se ha de aplicar las tolerancias de forma al perfil de la rosca según parámetros indicados anteriormente en tabla 22.

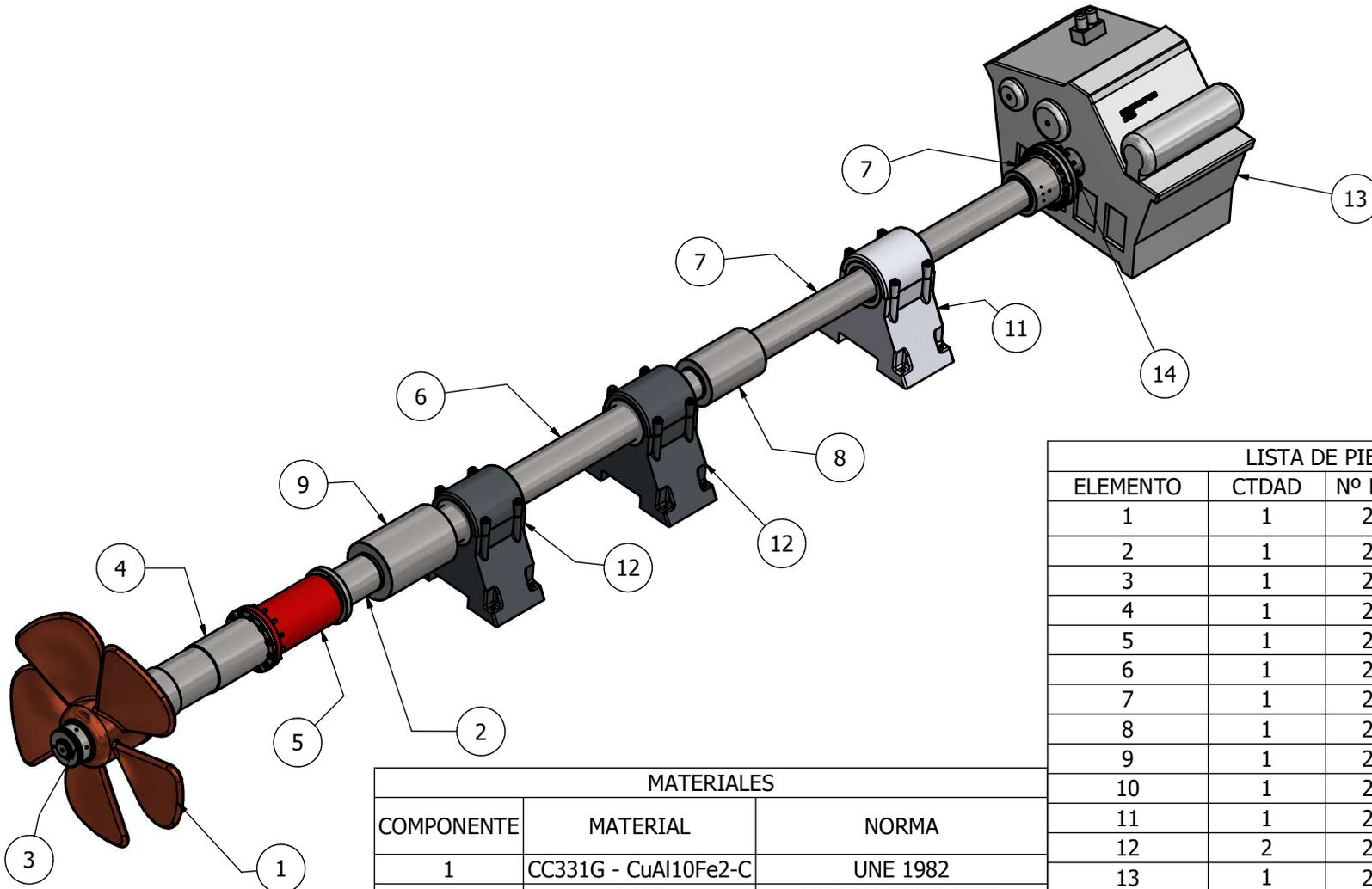


### 13. Planos.

Se detallan a continuación la relación de planos de incluidos.

Nº	Nombre componente en plano y caso al que pertenece			
1.	Plano de conjunto. Lista de materiales.			
2.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Helice/ Propeller
3.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Eje de cola/ Tail Shaft
4.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Acoplamiento hidráulico OKF 350/ OKF 350 Coupling
5.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Acoplamiento hidráulico OKC OKC Coupling. Plano colectivo/ Collective parts drawing
6.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Ejes de cola y reducido de cola/ Tail Shaft
7.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Bocina/ Stern tube
8.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Sello de la bocina tipo Cederval/ Cederval Stern tube sealing. Plano de conjunto/ Parts drawing
9.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Sello de la bocina tipo Cederval/ Cederval Stern tube sealing. Planos de detalle y explosionado
10.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Tuerca Pilgrim M260/ M260 Pilgrim Nut
11.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Apoyos c/ cojinete/ Support w/ bearing
12.	Caso 1. dimensionales	Aplicación	de tolerancias	Plato de salida de Reductora/ Gear box flange coupling
13.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Helice/ Propeller
14.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Eje de cola/ Tail Shaft
15.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Acoplamiento hidráulico OKF 350/ OKF 350 Coupling
16.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Acoplamiento hidráulico OKC OKC Coupling. Plano colectivo/ Collective parts drawing
17.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Ejes de cola y reducido de cola/ Tail Shaft
18.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Bocina/ Stern tube
19.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Sello de la bocina tipo Cederval/ Cederval Stern tube sealing. Planos de detalle y explosionado
20.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Tuerca Pilgrim M260/ M260 Pilgrim Nut
21.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Apoyos c/ cojinete/ Support w/ bearing
22.	Caso 2. geométricas.	Aplicación	de tolerancias	Plato de salida de Reductora/ Gear box flange coupling

Tabla 23 Relación de planos



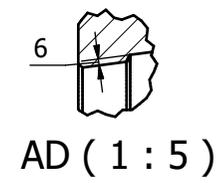
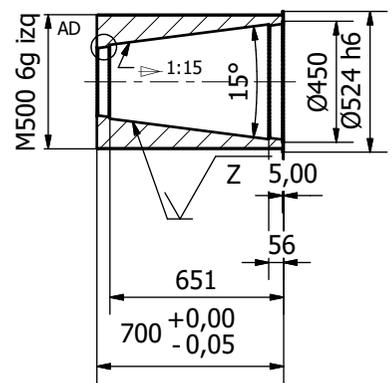
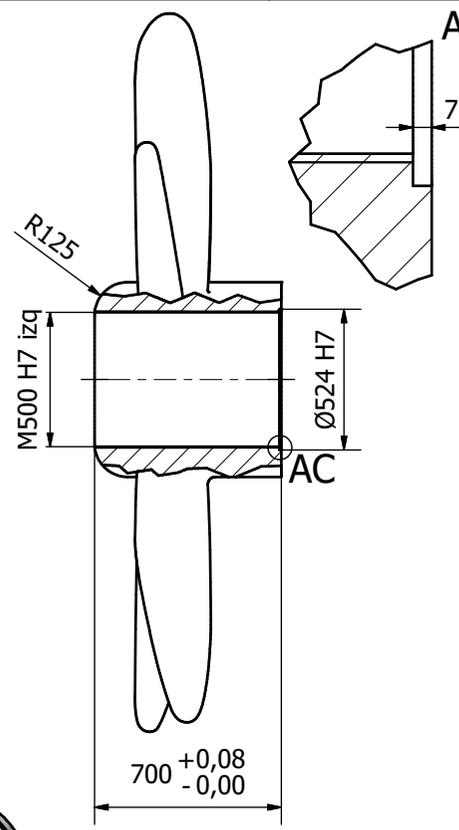
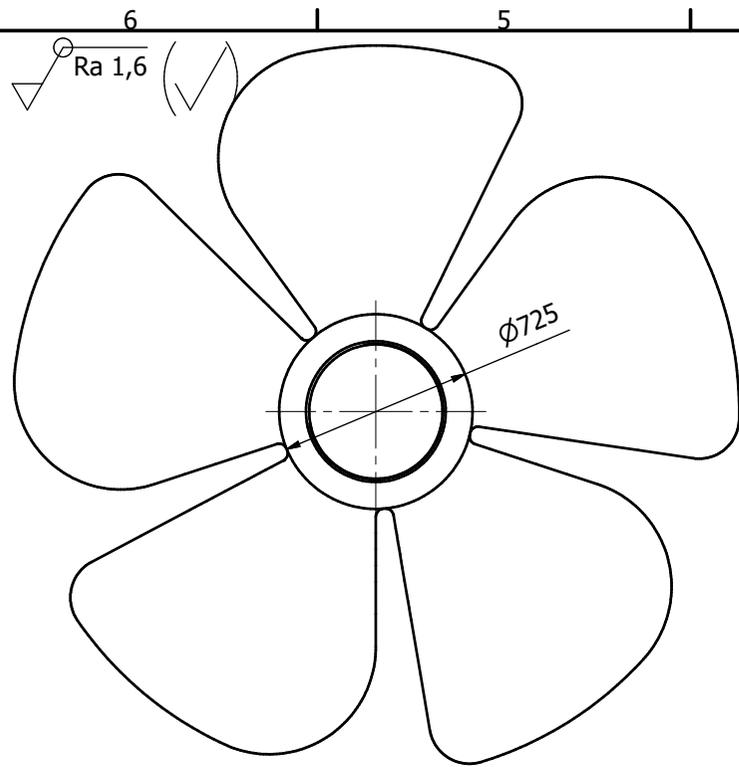
MATERIALES		
COMPONENTE	MATERIAL	NORMA
1	CC331G - CuAl10Fe2-C	UNE 1982
2	C45E	UNE EN 10083:2008
3	C45E	UNE EN 10083:2008
4	VER HOJA 7	-
5	VER HOJA 9	-
6	C45E	UNE EN 10083:2008
7	C45E	UNE EN 10083:2008
8	C45E	UNE EN 10083:2008
9	C45E	UNE EN 10083:2008
10	C45E	UNE EN 10083:2008
11	WHITE METAL Nº 7	ASTM- UNS—L53585
12	WHITE METAL Nº 7	ASTM. UNS—L53585
13	-	-
14	C45E	UNE EN 10083:2008

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº REF./ REF. NUMBER	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.001.000	Helice
2	1	2021.001.002.000	Eje de cola
3	1	2021.001.003.000	Tuerca Pilgrim M260
4	1	2021.001.004.000	Bocina
5	1	2021.001.005.000	Sello bocina
6	1	2021.001.006.000	Eje reducido de cola
7	1	2021.001.007.000	Eje intermedio
8	1	2021.001.008.000	Acoplamiento OKC 350
9	1	2021.001.009.000	Acoplamiento OKC 430
10	1	2021.001.010.000	Acoplamiento OKF 350
11	1	2021.001.011.000	Apoyo Cojinete 350
12	2	2021.001.012.000	apoyo Cojinete 430
13	1	2021.001.013.000	Reductora
14	1	2021.001.014.000	Plato salida reductora


**UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS**


TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

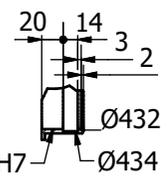
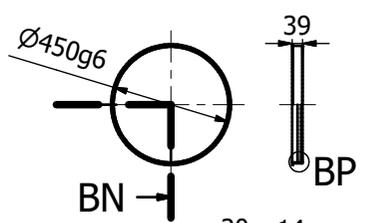
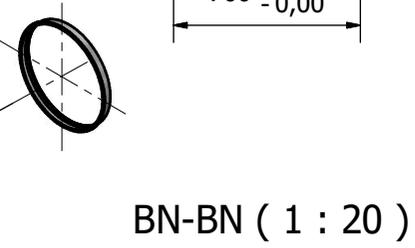
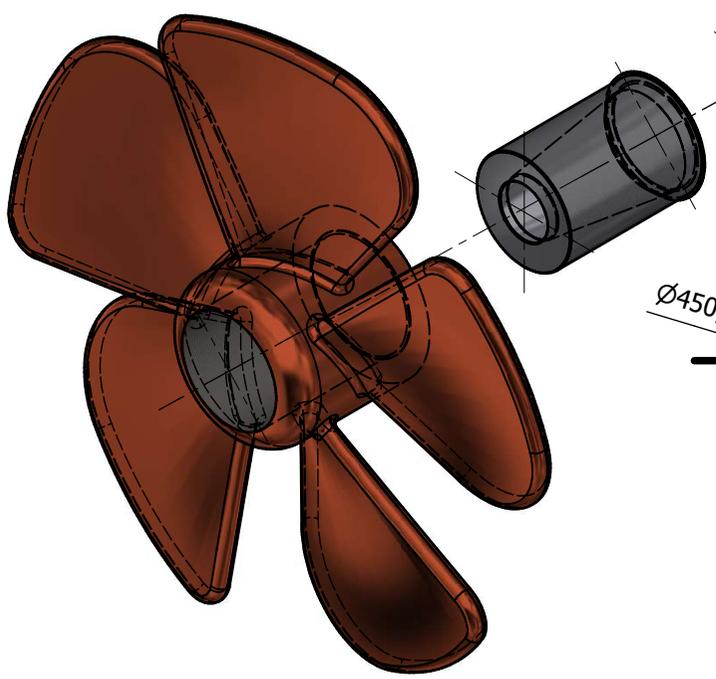
TÍTULO DE PLANO <b>ARREGLO LINEA DE EJES</b>		DATA 07/03/2021
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO		ESCALA: 1:50
SINATURA	Edición FOLLA 1 / 22	



B-B ( 1 : 20 )

$$\sqrt{Z} = \sqrt{\frac{\text{Torneado}}{Ra 0.8}}$$

ISO 2768-f



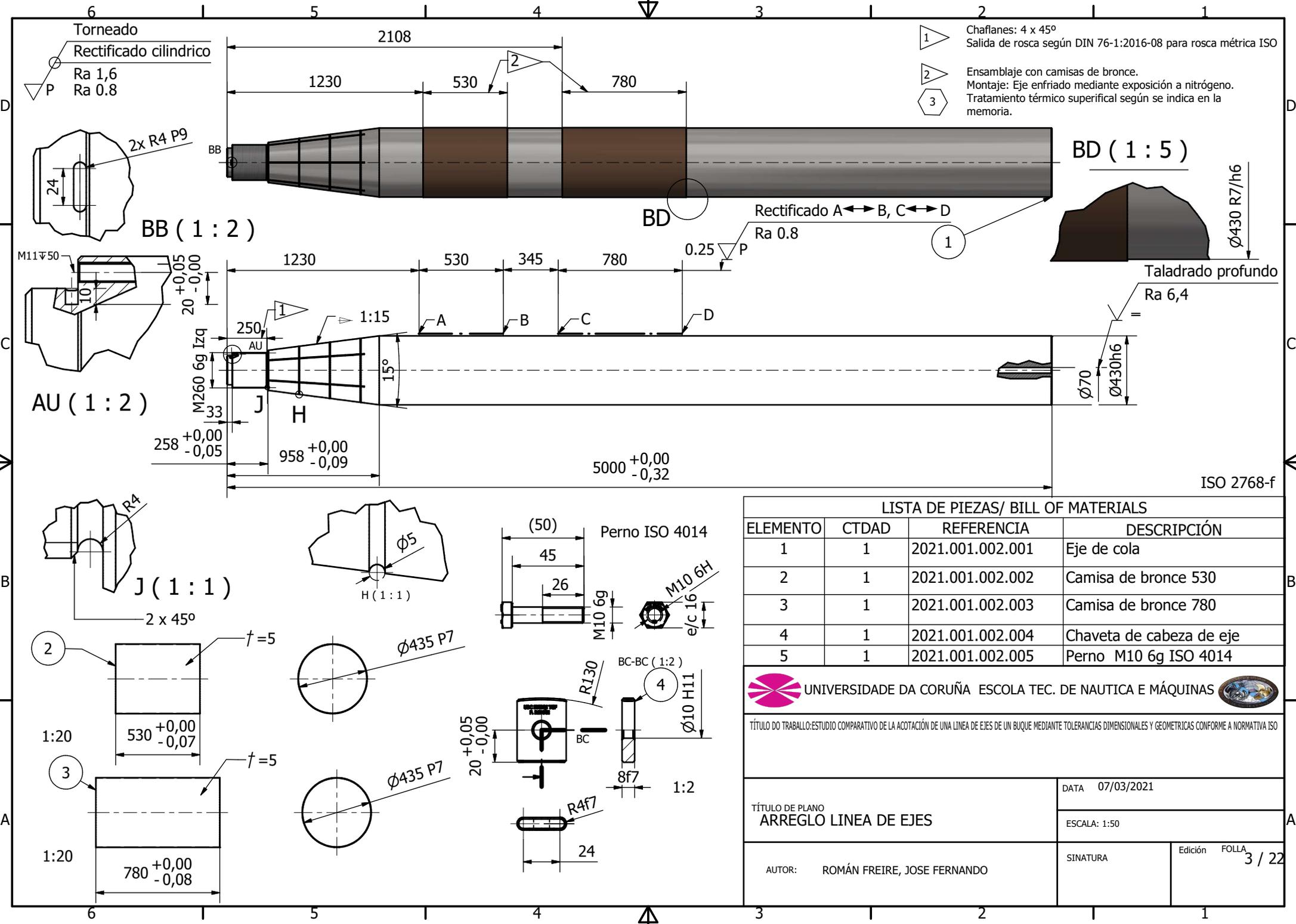
BP ( 1 : 5 )

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.001.001	Helice_propeller
2	1	2021.001.001.002	Manguito de hélice
3	1	2021.001.001.003	Anillo de cierre proa

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABAJO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA
	Edición FOLLA 2 / 22



- 1 Chafilanes: 4 x 45°  
Salida de rosca según DIN 76-1:2016-08 para rosca métrica ISO
- 2 Ensamblaje con camisas de bronce.  
Montaje: Eje enfriado mediante exposición a nitrógeno.  
Tratamiento térmico superficial según se indica en la memoria.
- 3

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.002.001	Eje de cola
2	1	2021.001.002.002	Camisa de bronce 530
3	1	2021.001.002.003	Camisa de bronce 780
4	1	2021.001.002.004	Chaveta de cabeza de eje
5	1	2021.001.002.005	Perno M10 6g ISO 4014

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS**

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

---

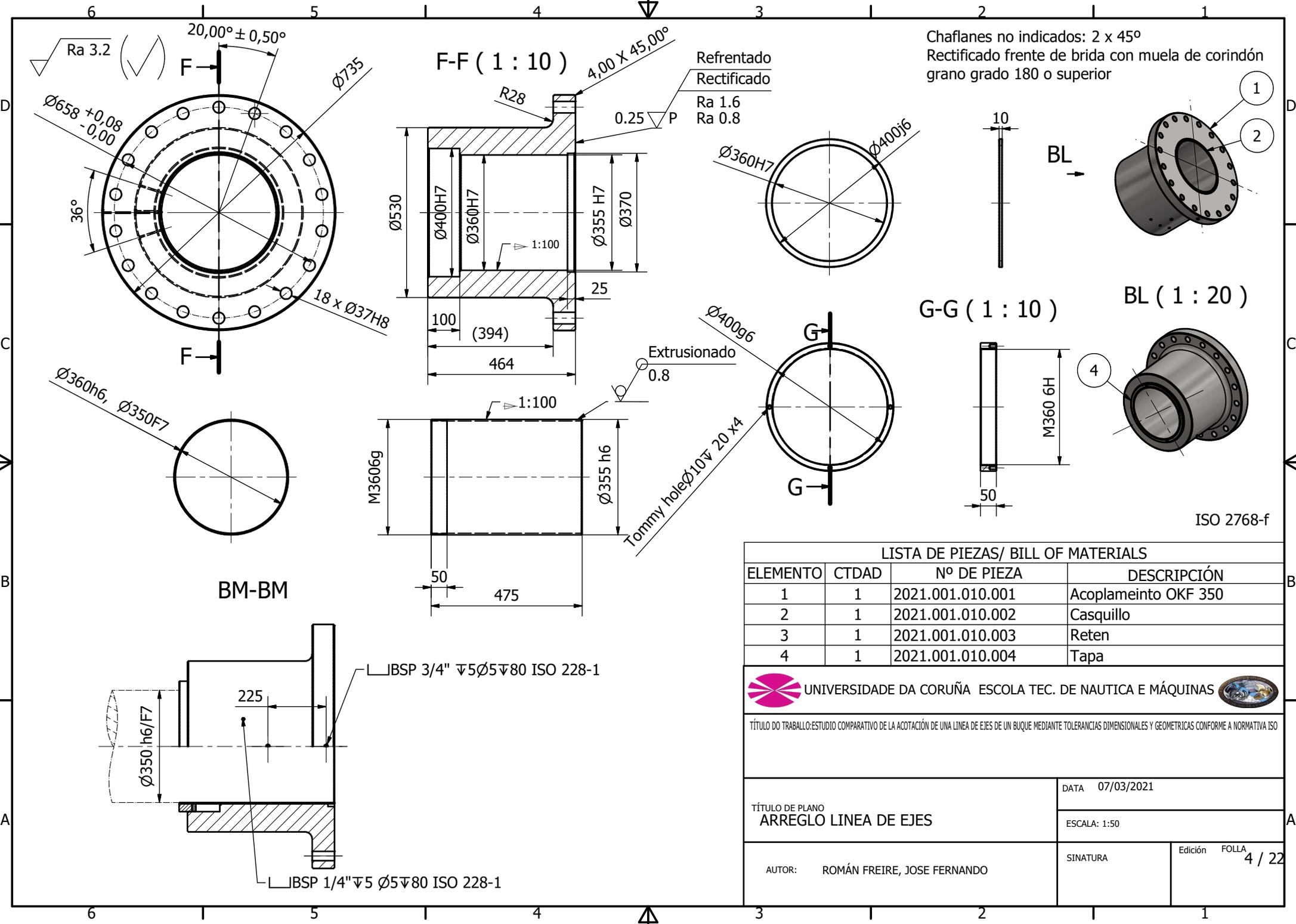
TÍTULO DE PLANO  
**ARREGLO LINEA DE EJES**

AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

DATA: 07/03/2021

ESCALA: 1:50

SINATURA: \_\_\_\_\_ Edición FOLLA 3 / 22



Chaflanes no indicados: 2 x 45°  
 Rectificado frente de brida con muela de corindón grano grado 180 o superior

Refrentado  
 Rectificado  
 Ra 1.6  
 Ra 0.8

G-G (1:10)

BL (1:20)

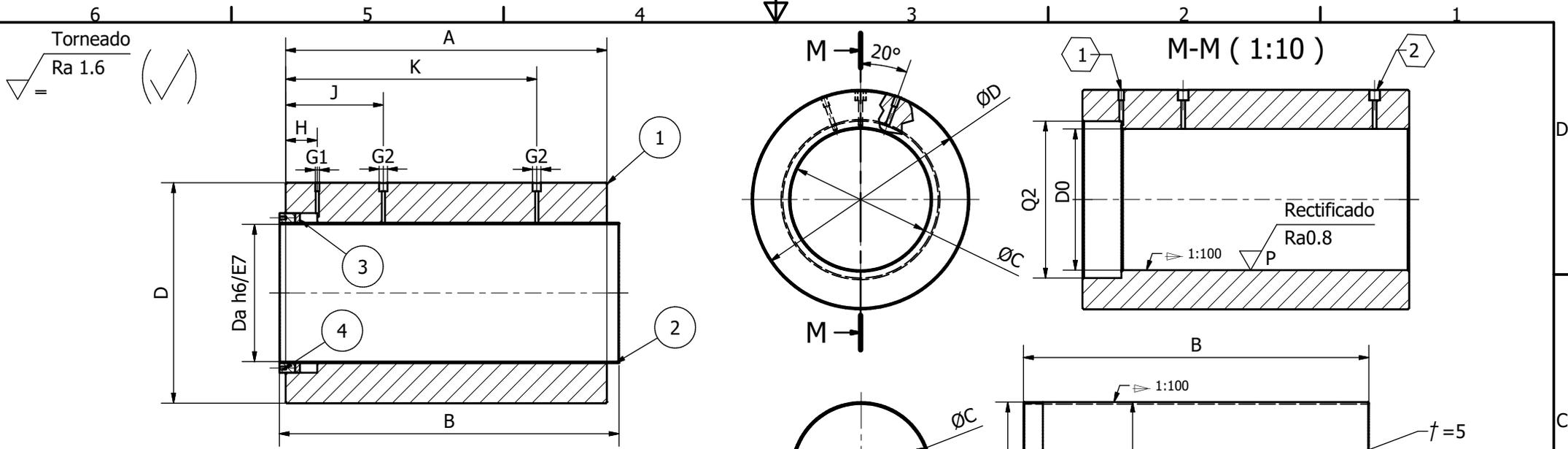
ISO 2768-f

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.010.001	Acoplamiento OKF 350
2	1	2021.001.010.002	Casquillo
3	1	2021.001.010.003	Reten
4	1	2021.001.010.004	Tapa

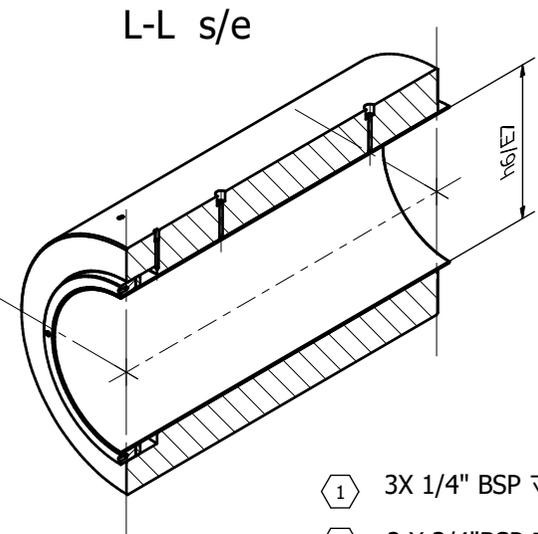
UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 4 / 22



DIMENSIONES		
REF.	OKC 430	OKC 350
A	1015	840
B	1073	888
C	440	360
D	690	560
D0	440H7	360H7
Da	430	350
F1	M450 6g	M360 6g
F2	450 h6	360 h6
G1	1/4" BSP	1/4" BSP
G2	3/4" BSP	3/4" BSP
H	100	100
J	309	250
K	793	750
P	440 H7	360 H7
Q	500j6	400j6
Q2	500 H7	400 H7
R	M440 6H	M360 6H
S	500 g6	400 g6



- ① 3X 1/4" BSP  $\nabla 27$  ISO 228-1
- ② 2 X 3/4" BSP  $\nabla 27$  ISO 228-1

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALHO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

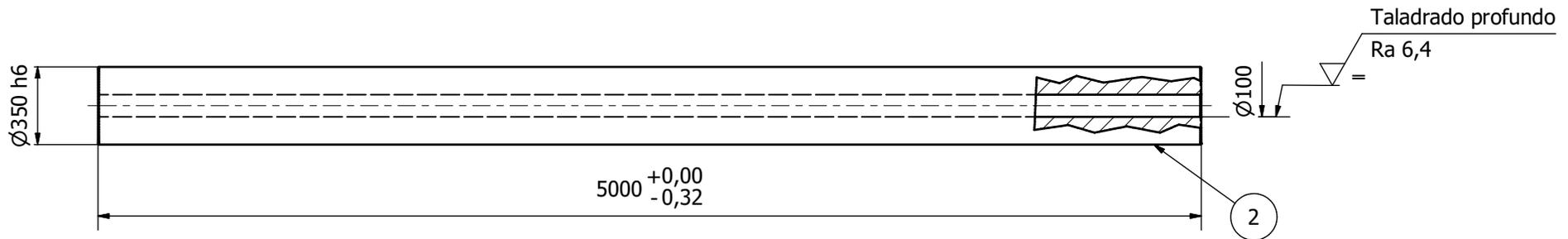
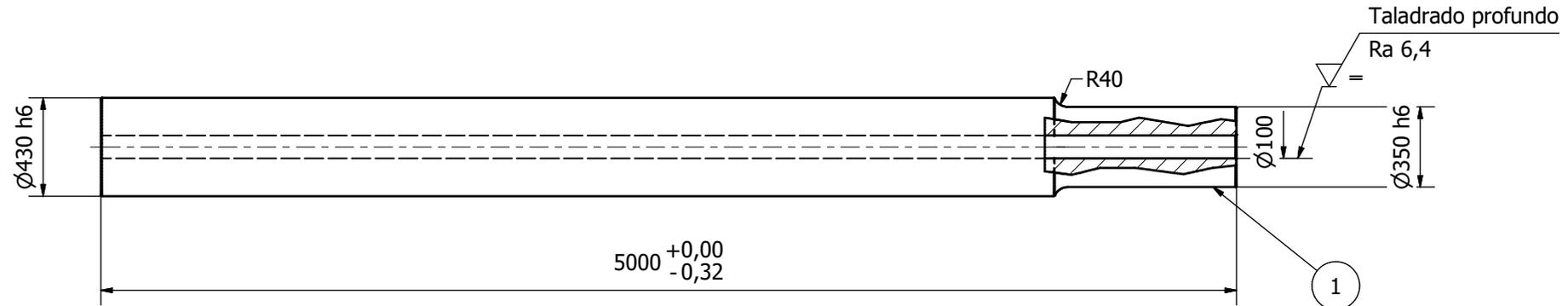
TÍTULO DE PLANO <b>ARREGLO LINEA DE EJES</b>	DATA 07/03/2021 ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 5 / 22

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.008.(009).001	CUERPO
2	1	2021.001.008.(009).002	CASQUILLO
3	1	2021.001.008.(009).003	RETÉN
4	1	2021.001.008.(009).004	TAPA DE CIERRE

Torneado  
Rectificado  
Ra 1.6  
Ra 0.8

1 Todos los chaflanes son de 4 x 45°

2 Tratamiento térmico superficial según se indica en la memoria.



ISO 2768-f

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.006.000	Eje reducido de cola
2	1	2021.001.007.000	Eje intermedio



TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO  
ARREGLO LINEA DE EJES

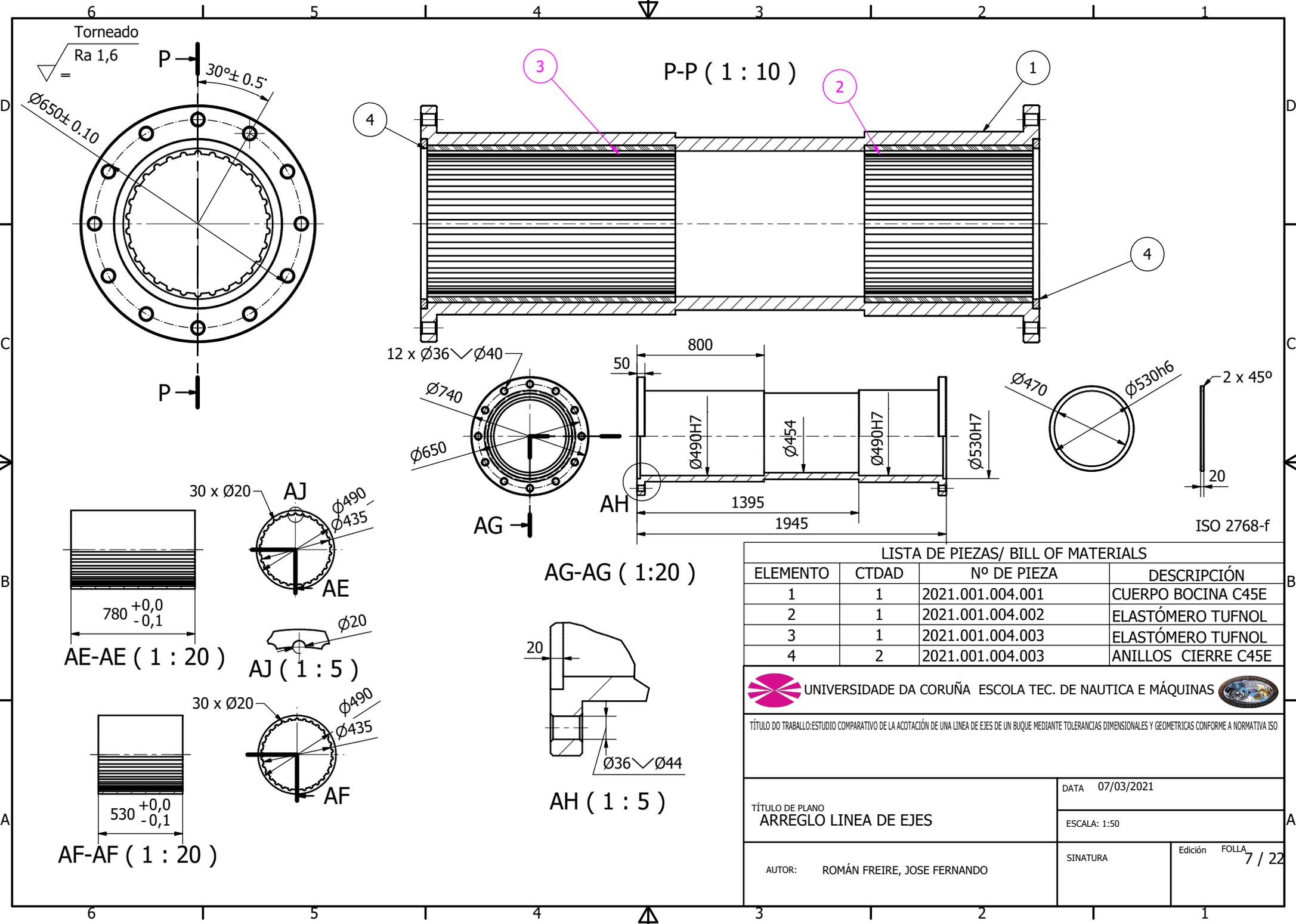
DATA 07/03/2021

ESCALA: 1:50

AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

SINATURA

Edición FOLLA 6 / 22



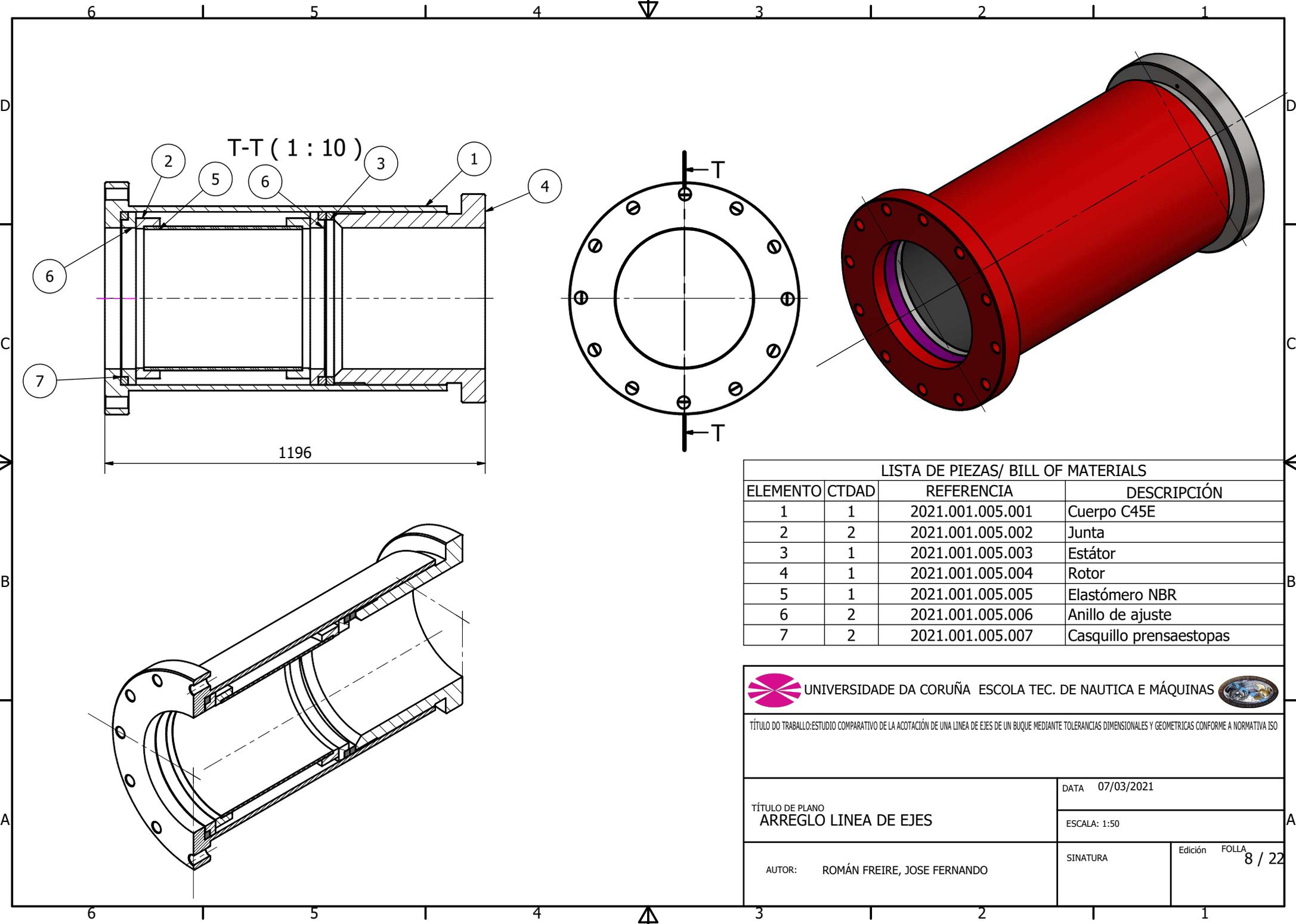
**LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS**

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.004.001	CUERPO BOCINA C45E
2	1	2021.001.004.002	ELASTÓMERO TUFNOL
3	1	2021.001.004.003	ELASTÓMERO TUFNOL
4	2	2021.001.004.003	ANILLOS CIERRE C45E

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO <b>ARREGLO LINEA DE EJES</b>	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA
	Edición FOLLA 7 / 22



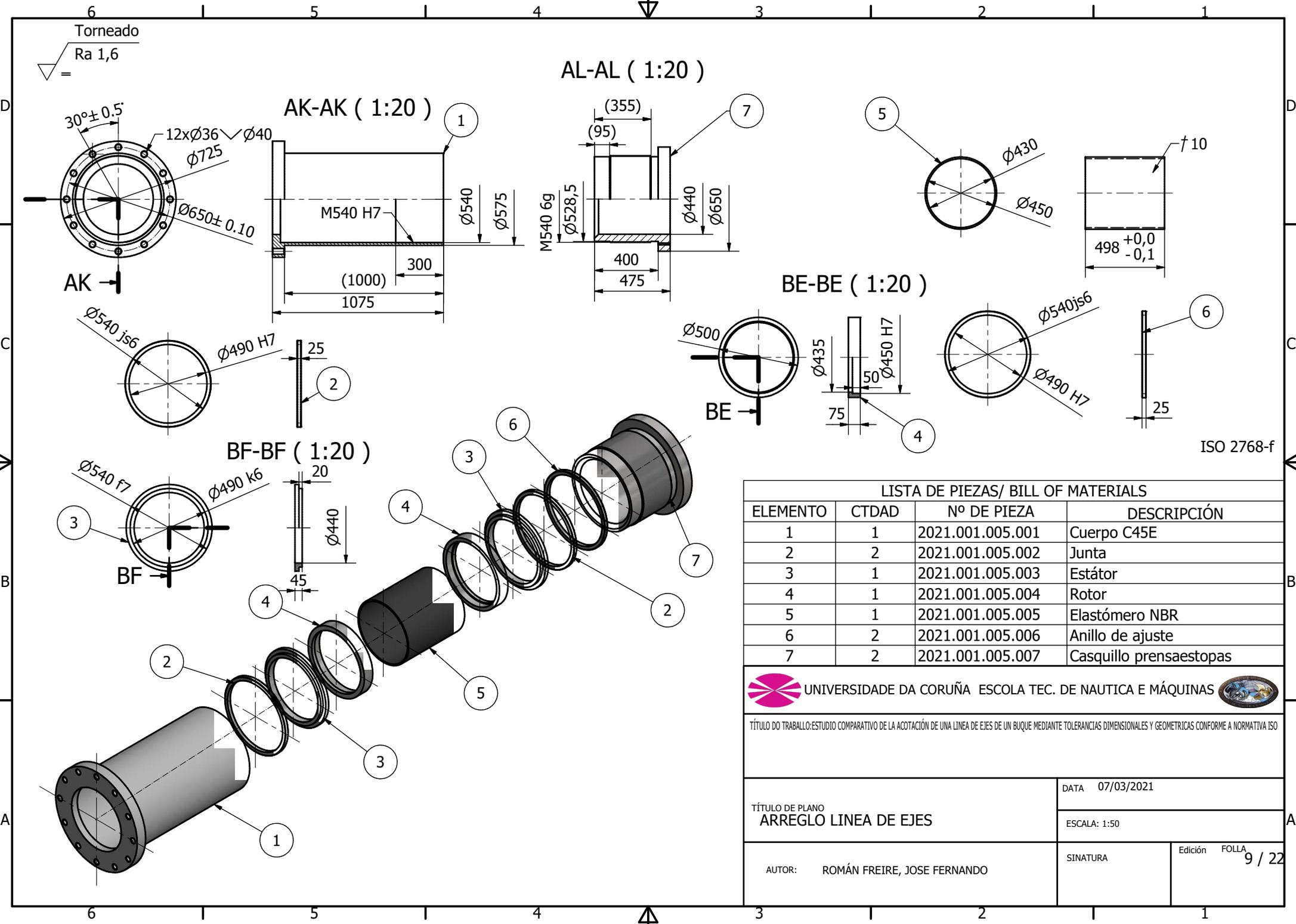
LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.005.001	Cuerpo C45E
2	2	2021.001.005.002	Junta
3	1	2021.001.005.003	Estátor
4	1	2021.001.005.004	Rotor
5	1	2021.001.005.005	Elastómero NBR
6	2	2021.001.005.006	Anillo de ajuste
7	2	2021.001.005.007	Casquillo prensaestopas



TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 8 / 22



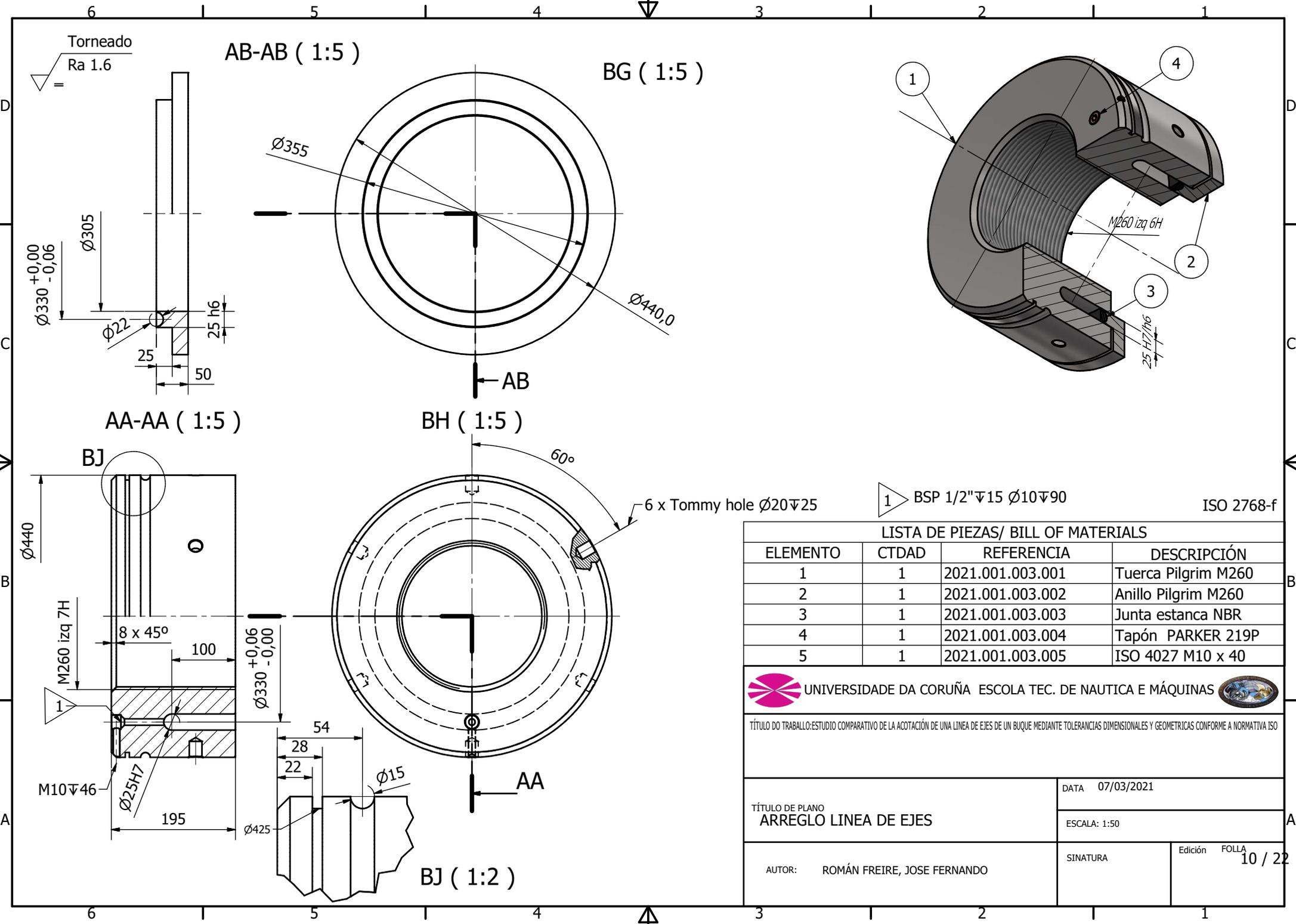
**LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS**

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.005.001	Cuerpo C45E
2	2	2021.001.005.002	Junta
3	1	2021.001.005.003	Estátor
4	1	2021.001.005.004	Rotor
5	1	2021.001.005.005	Elastómero NBR
6	2	2021.001.005.006	Anillo de ajuste
7	2	2021.001.005.007	Casquillo prensaestopas

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS**

TÍTULO DO TRABALO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

<b>TÍTULO DE PLANO</b> <b>ARREGLO LINEA DE EJES</b>	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA <span style="float: right;">Edición FOLLA 9 / 22</span>



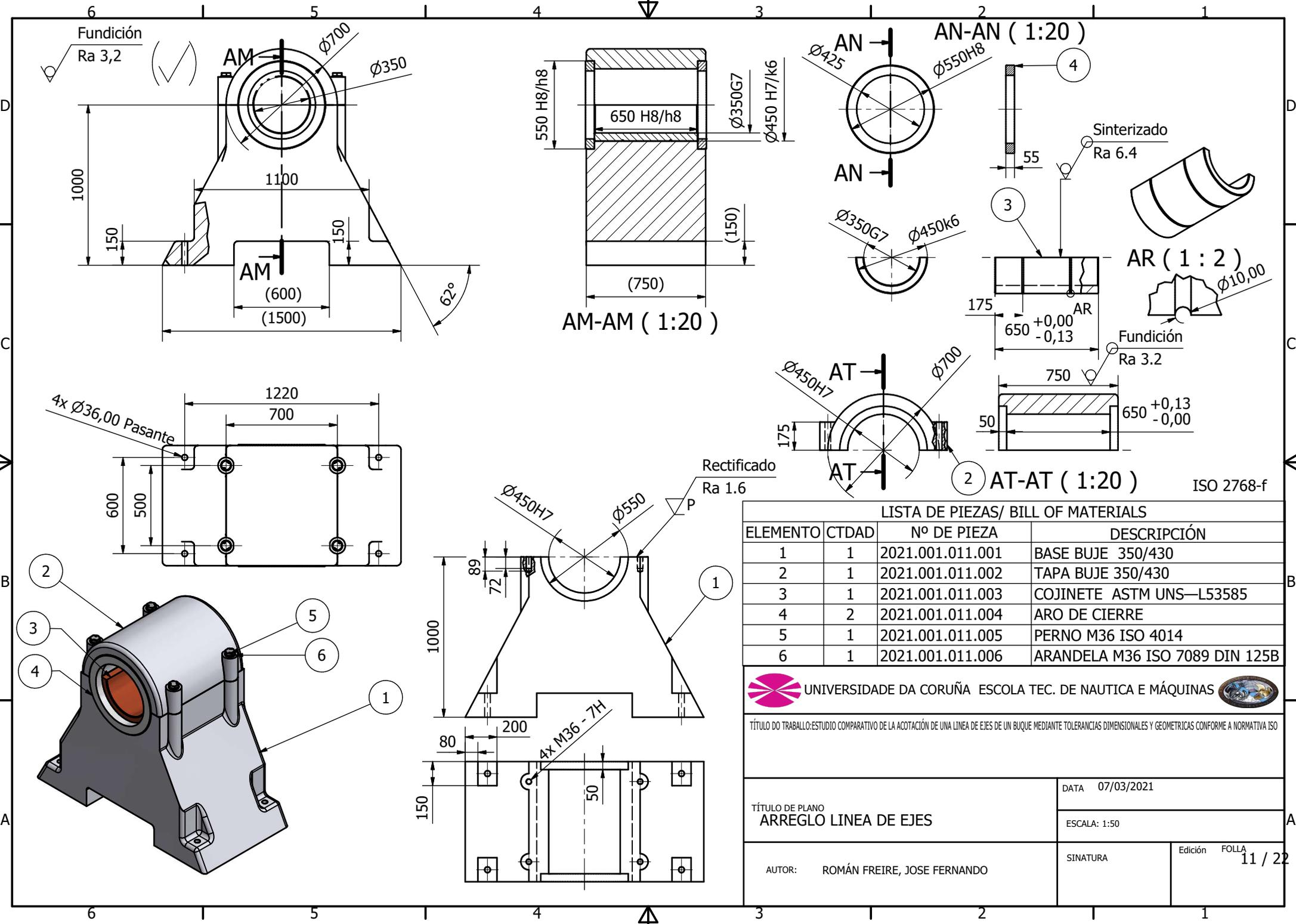
1 BSP 1/2" ∇15 Ø10 ∇90 ISO 2768-f

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.003.001	Tuerca Pilgrim M260
2	1	2021.001.003.002	Anillo Pilgrim M260
3	1	2021.001.003.003	Junta estanca NBR
4	1	2021.001.003.004	Tapón PARKER 219P
5	1	2021.001.003.005	ISO 4027 M10 x 40

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 10 / 22



LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.011.001	BASE BUJE 350/430
2	1	2021.001.011.002	TAPA BUJE 350/430
3	1	2021.001.011.003	COJINETE ASTM UNS-L53585
4	2	2021.001.011.004	ARO DE CIERRE
5	1	2021.001.011.005	PERNO M36 ISO 4014
6	1	2021.001.011.006	ARANDELA M36 ISO 7089 DIN 125B

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO: ARREGLO LINEA DE EJES

DATA: 07/03/2021

ESCALA: 1:50

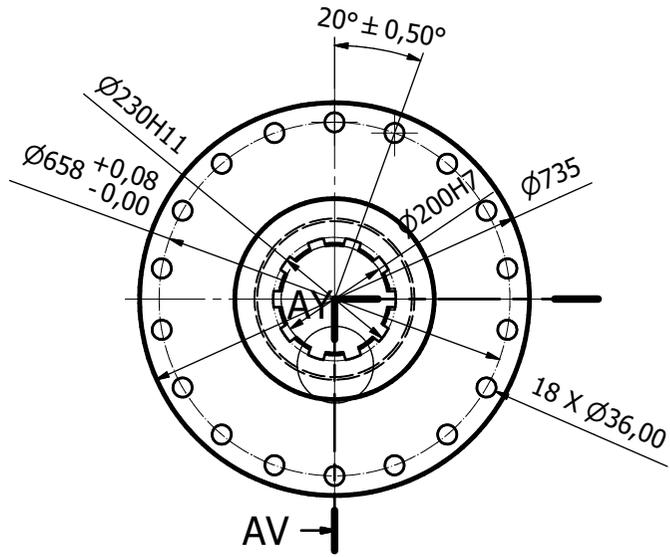
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

SINATURA

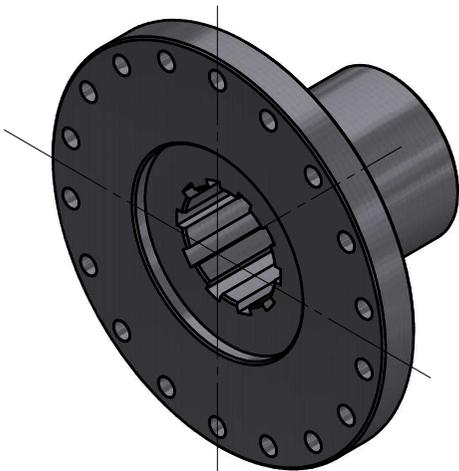
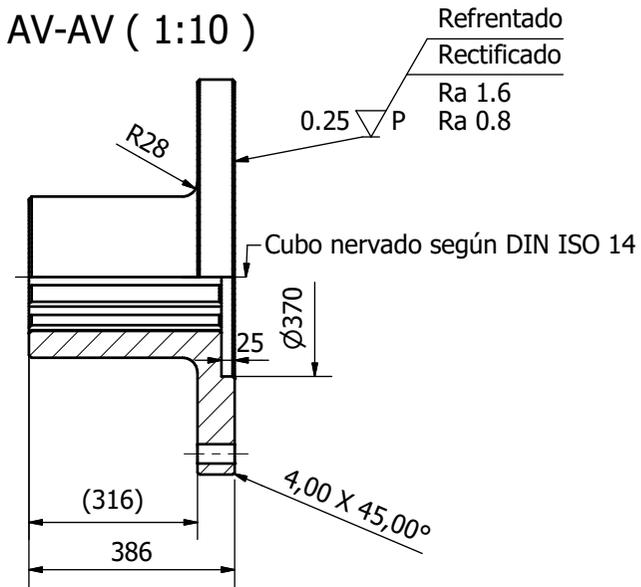
Edición FOLLA 11 / 22

Ra 3.2 (✓)

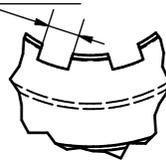
Chaflanes no indicados: 2 x 45°  
 Rectificado frente de brida con muela de corindón  
 grano grado 180 o superior



AV-AV ( 1:10 )



10 X30D9



AY ( 1:5 )

ISO 2768-f

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

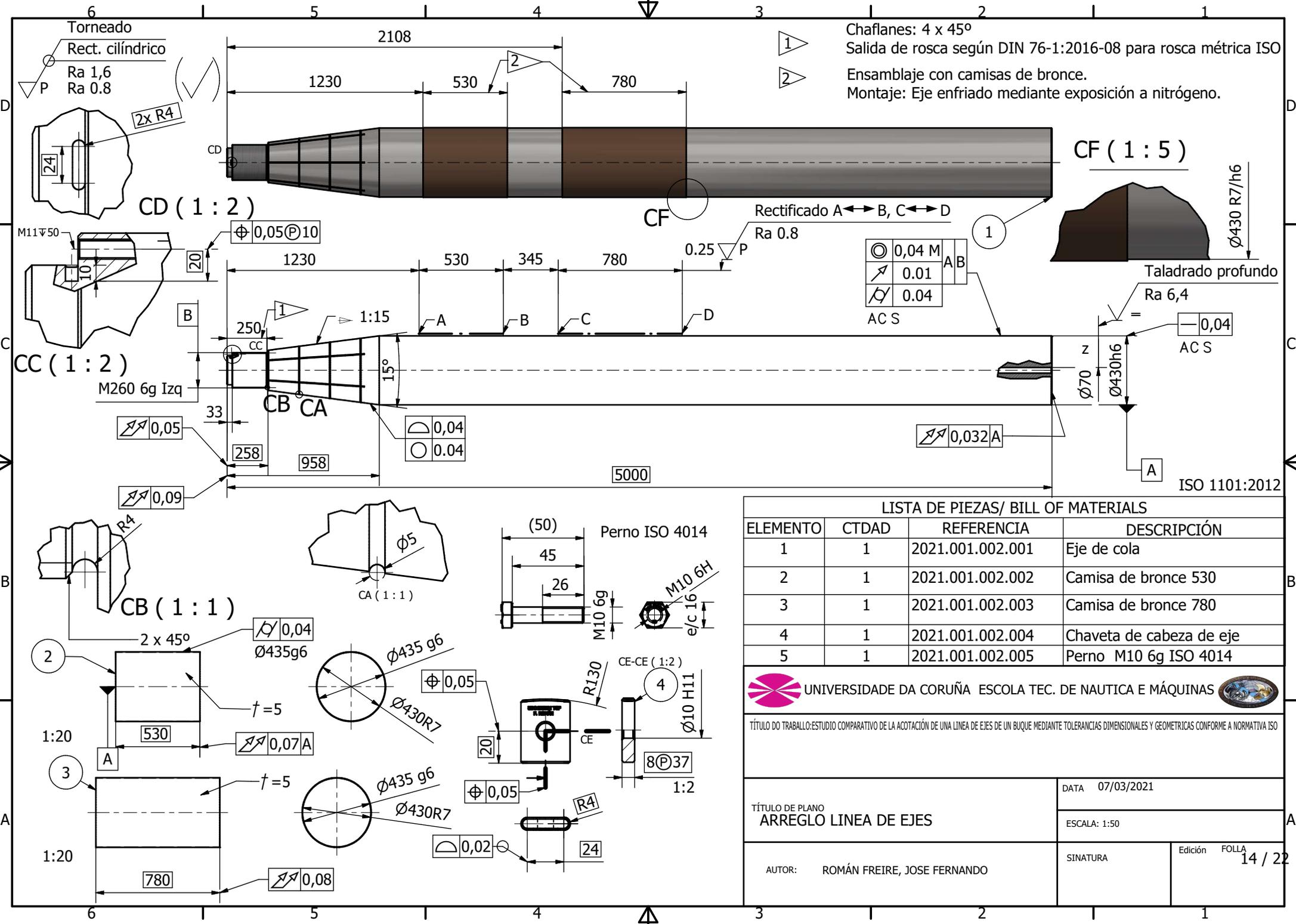
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.014.000	Plato salida Reductora



TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 12 / 22





**LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS**

ELEMENTO	CTDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.002.001	Eje de cola
2	1	2021.001.002.002	Camisa de bronce 530
3	1	2021.001.002.003	Camisa de bronce 780
4	1	2021.001.002.004	Chaveta de cabeza de eje
5	1	2021.001.002.005	Perno M10 6g ISO 4014

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS**

TÍTULO DO TRABALO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO  
**ARREGLO LINEA DE EJES**

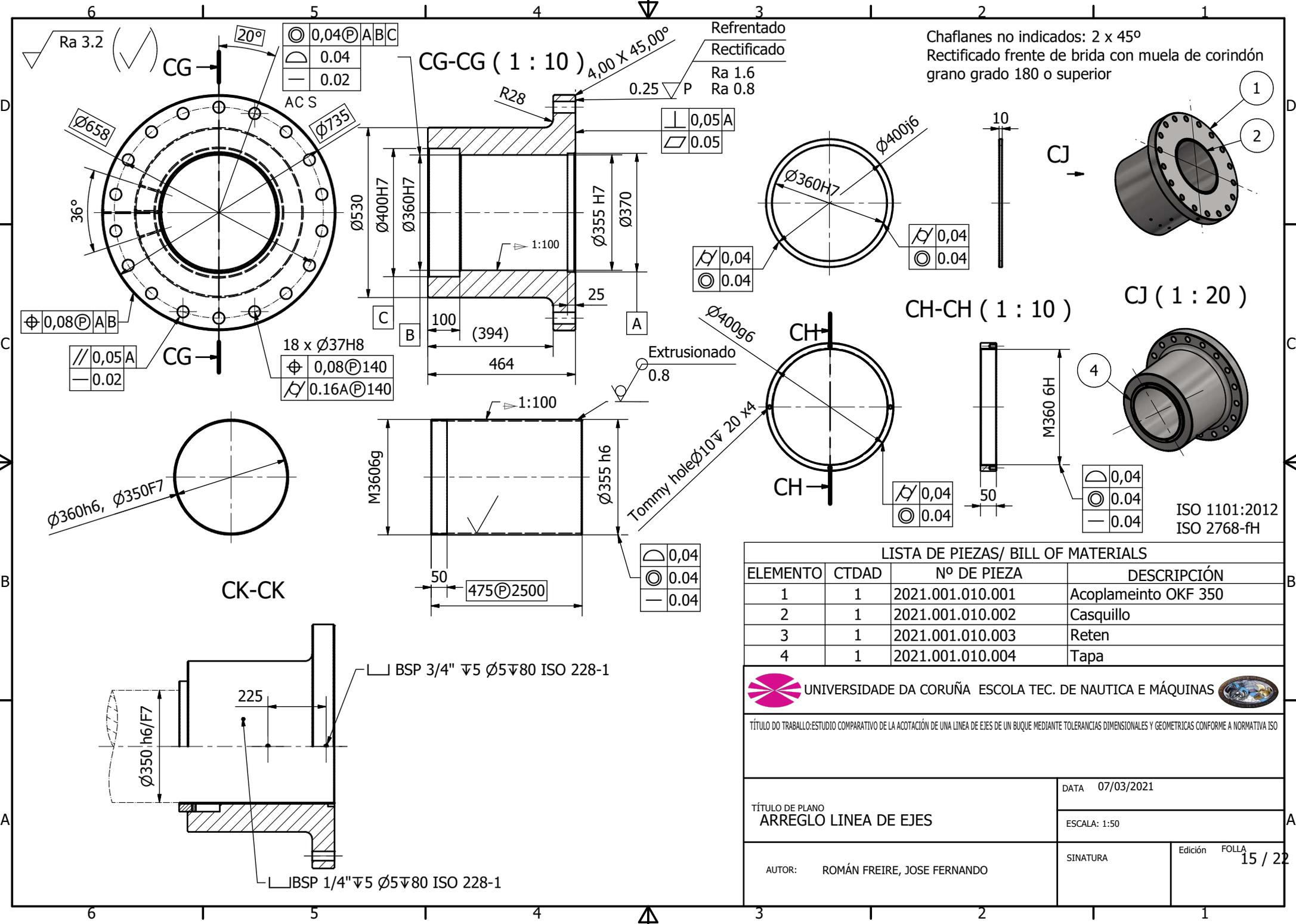
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

DATA: 07/03/2021

ESCALA: 1:50

SINATURA

Edición FOLLA 14 / 22

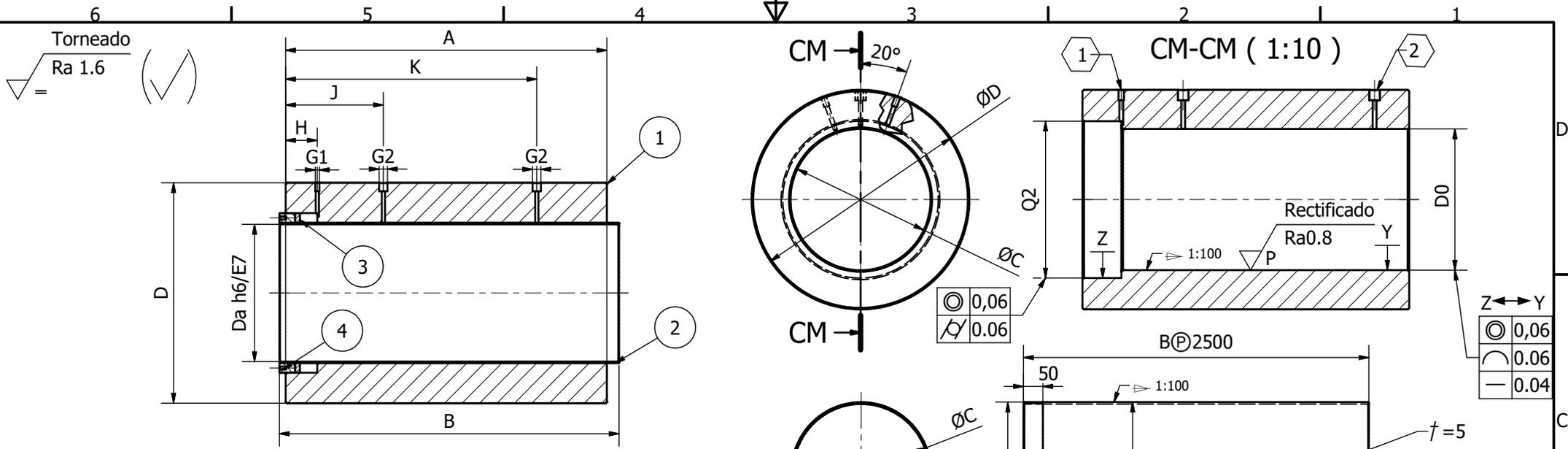


LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.010.001	Acoplamiento OKF 350
2	1	2021.001.010.002	Casquillo
3	1	2021.001.010.003	Reten
4	1	2021.001.010.004	Tapa

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

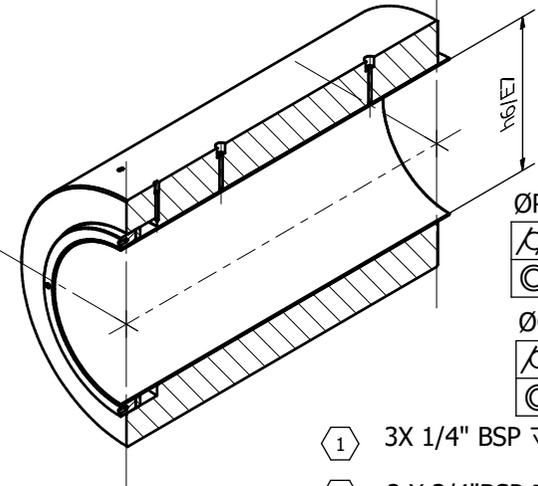
TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 15 / 22



DIMENSIONES		
REF.	OKC 430	OKC 350
A	1015	840
B	1073	888
C	440	360
D	690	560
D0	440H7	360H7
Da	430	350
F1	M450 6g	M360 6g
F2	450 h6	360 h6
G1	1/4" BSP	1/4" BSP
G2	3/4" BSP	3/4" BSP
H	100	100
J	309	250
K	793	750
P	440 H7	360 H7
Q	500j6	400j6
Q2	500 H7	400 H7
R	M440 6H	M360 6H
S	500 g6	400 g6

CL-CL s/e



- 1 3X 1/4" BSP  $\nabla$ 27 ISO 228-1
- 2 2 X 3/4" BSP  $\nabla$ 27 ISO 228-1

$\varnothing P$ H7	$\nabla$ 0,06
$\varnothing Q$ j6	$\odot$ 0,06
$\varnothing R$ j6	$\nabla$ 0,04
$\varnothing S$ j6	$\odot$ 0,04

$\odot$ 0,04	A B
$\nabla$ 0,04	
- 0,04	

$\nabla$ 0,04	
$\odot$ 0,04	

$\odot$ 0,04	
$\nabla$ 0,04	

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.008.(009).001	CUERPO
2	1	2021.001.008.(009).002	CASQUILLO
3	1	2021.001.008.(009).003	RETÉN
4	1	2021.001.008.(009).004	TAPA DE CIERRE

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABAJO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO: ARREGLO LINEA DE EJES

DATA: 07/03/2021

ESCALA: 1:50

AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

SINATURA

Edición FOLLA 16 / 22

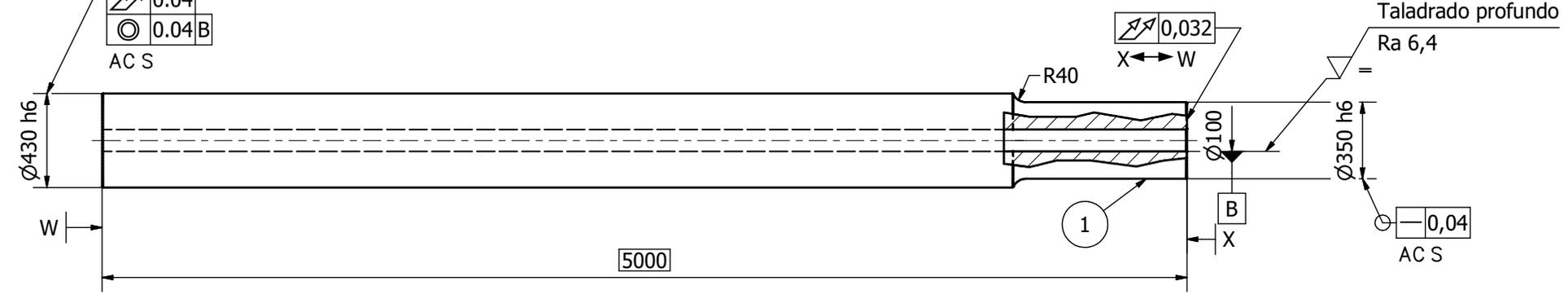
ISO 1101:2012

1 Todos los chaflanes son de 4 x 45°

Torneado  
Rectificado  
Ra 1.6

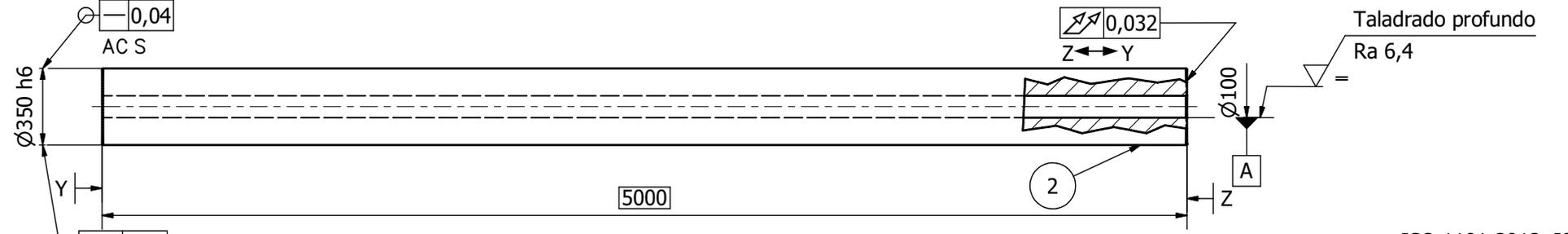
	0,04
	0,04
	0,04 B

AC S



	0,04
--	------

AC S



	0,04
	0,04
	0,04 A

AC S

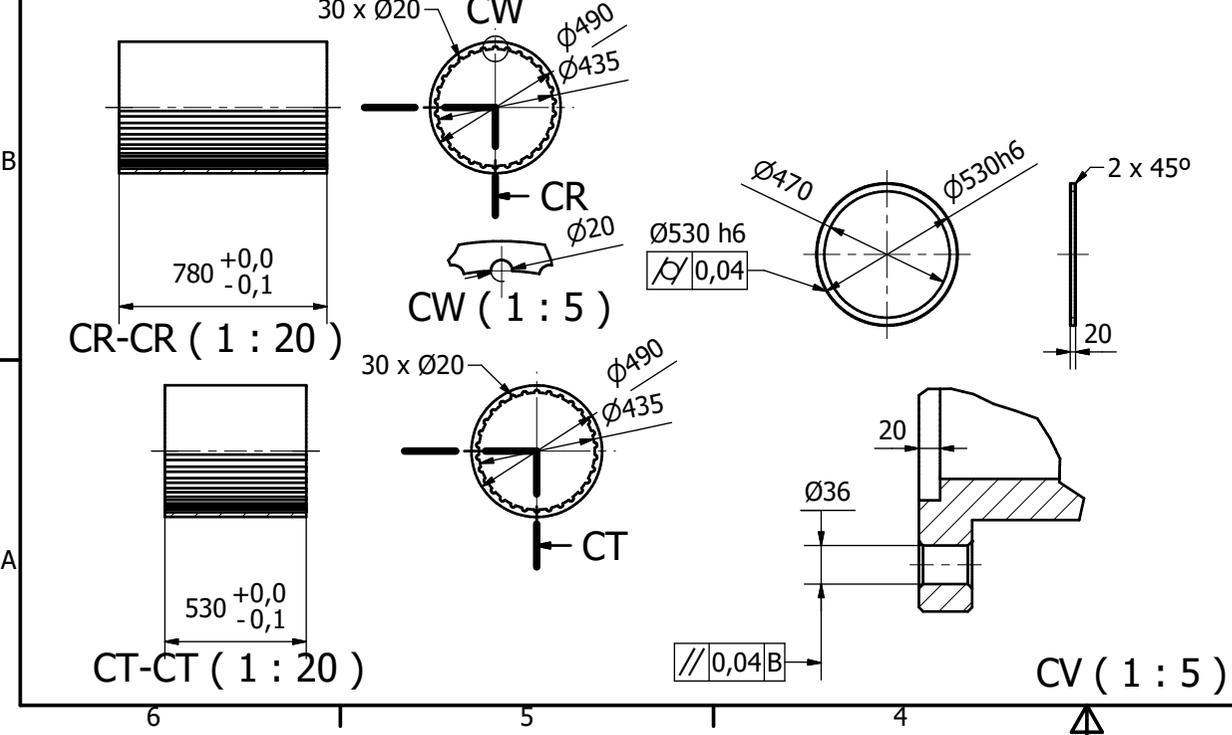
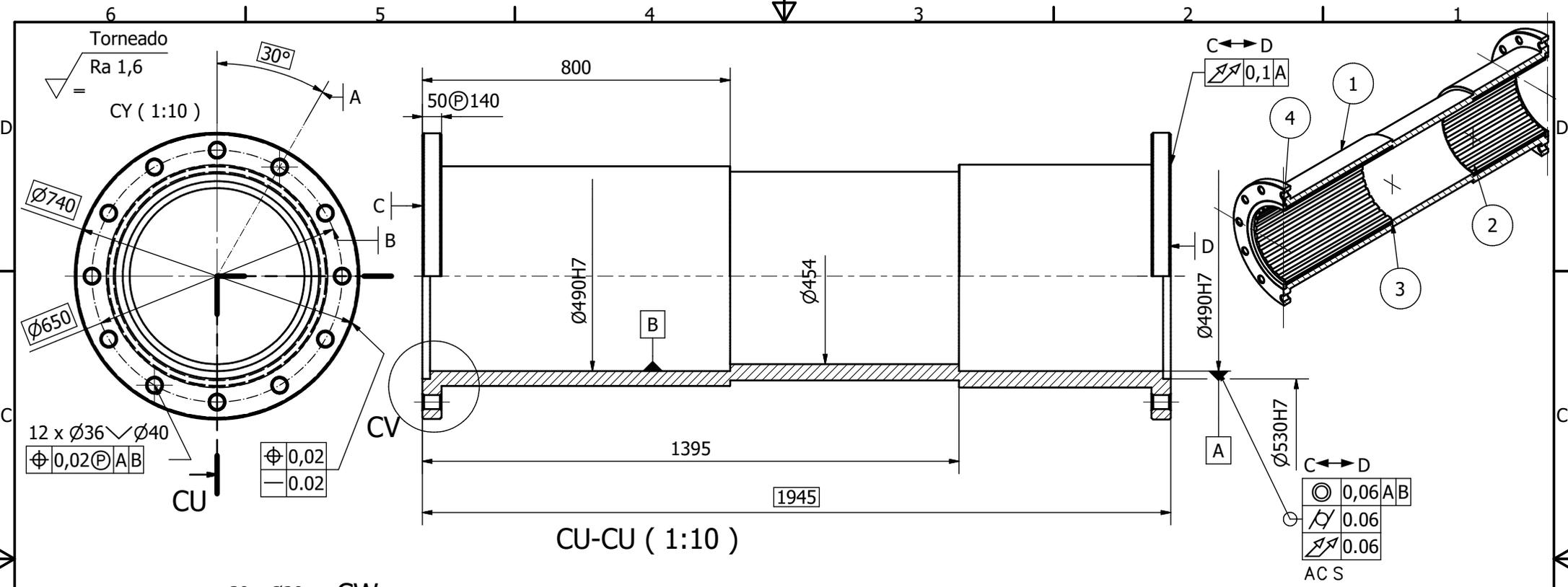
ISO 1101:2012, ISO 2768-fH

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.006.000	Eje reducido de cola
2	1	2021.001.007.000	Eje intermedio



TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 17 / 22



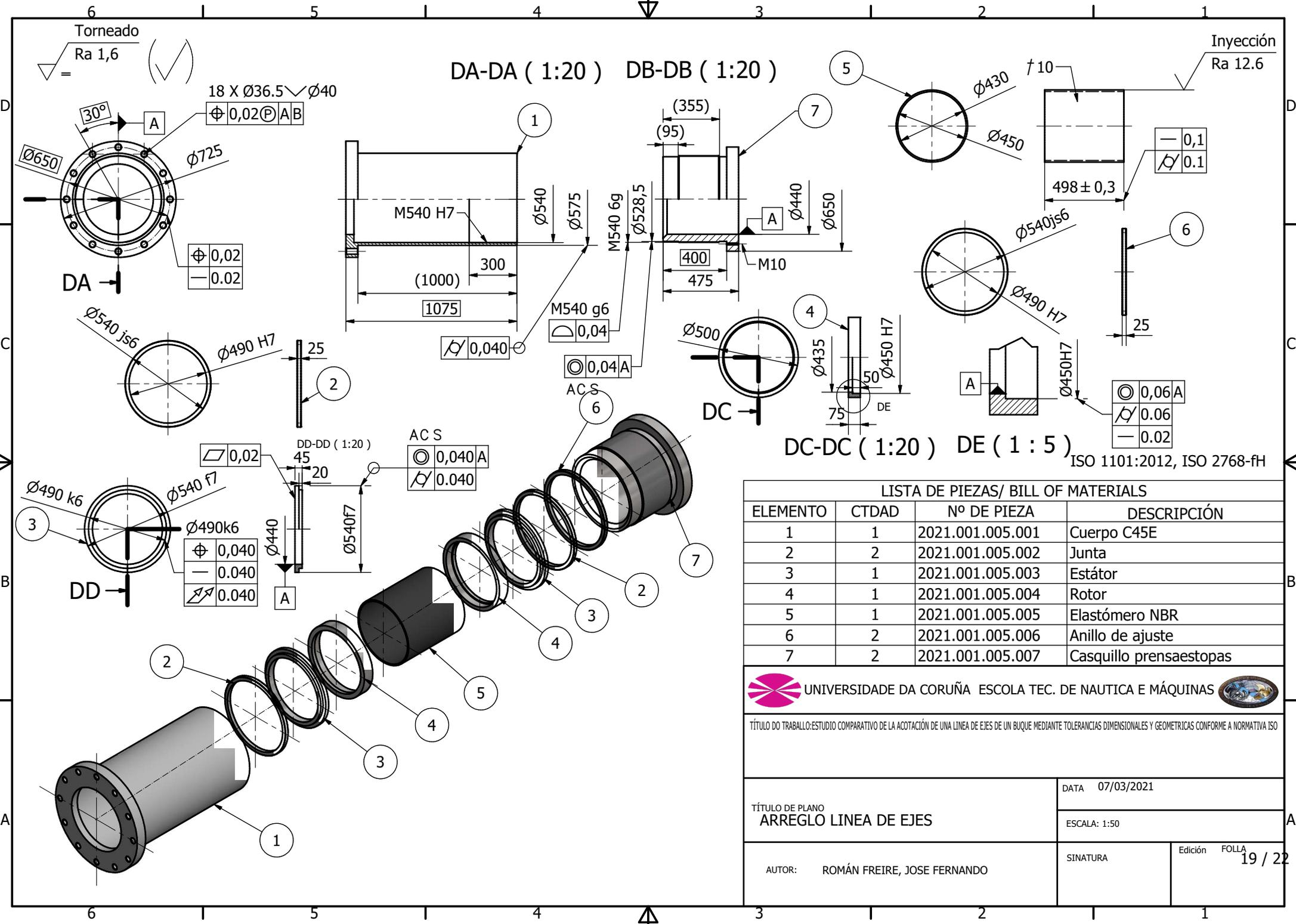
ISO 1101:2012, ISO 2768-FH

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.004.001	CUERPO BOCINA C45E
2	1	2021.001.004.002	ELASTÓMERO TUFNOL
3	1	2021.001.004.003	ELASTÓMERO TUFNOL
4	2	2021.001.004.003	ANILLOS CIERRE C45E

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 18 / 22



LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.005.001	Cuerpo C45E
2	2	2021.001.005.002	Junta
3	1	2021.001.005.003	Estátor
4	1	2021.001.005.004	Rotor
5	1	2021.001.005.005	Elastómero NBR
6	2	2021.001.005.006	Anillo de ajuste
7	2	2021.001.005.007	Casquillo prensaestopas

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABAJO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO  
ARREGLO LINEA DE EJES

AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

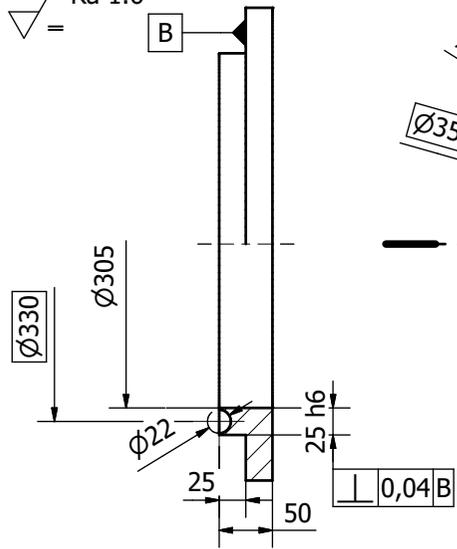
DATA 07/03/2021

ESCALA: 1:50

SINATURA

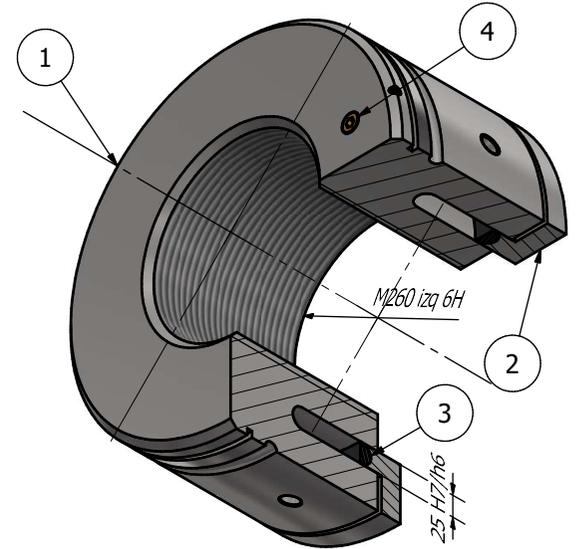
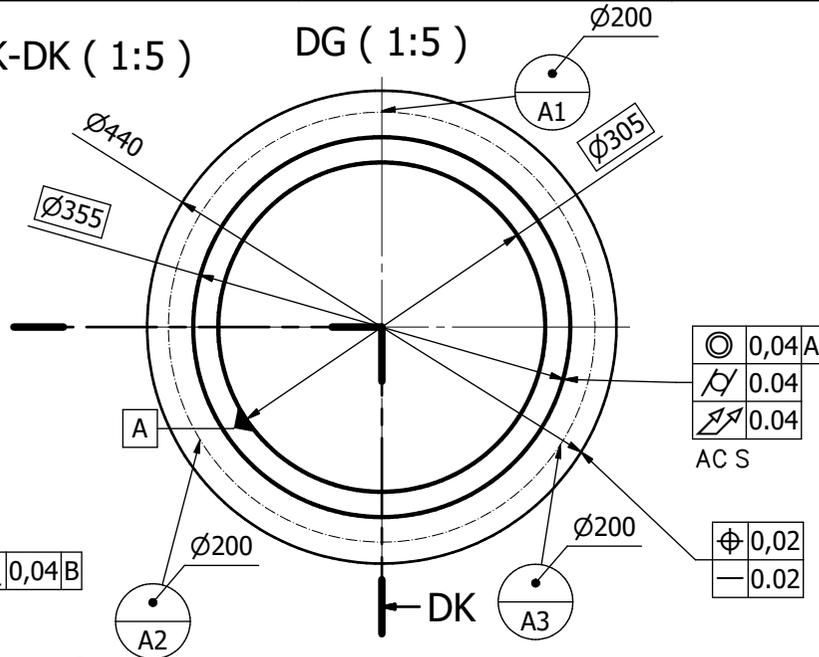
Edición FOLLA 19 / 22

Torneado  
Ra 1.6



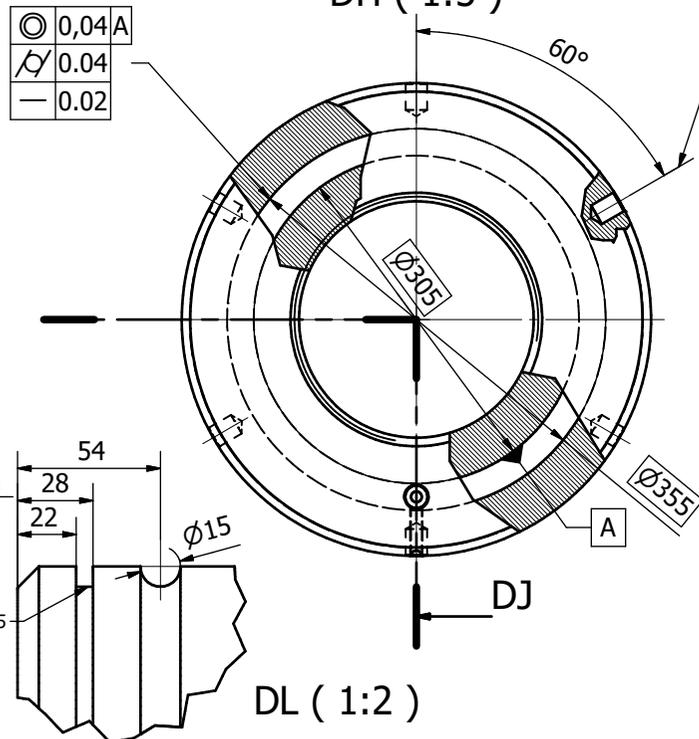
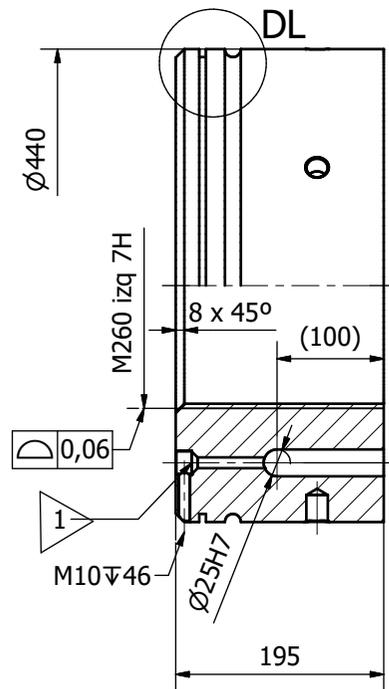
DK-DK ( 1:5 )

DG ( 1:5 )



DJ-DJ ( 1:5 )

DH ( 1:5 )



6 x Tommy hole Ø20∇25

1 > BSP 1/2"∇15 Ø10∇90 ISO 1101:2012, ISO 2768-fH

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.003.001	Tuerca Pilgrim M260
2	1	2021.001.003.002	Anillo Pilgrim M260
3	1	2021.001.003.003	Junta estanca NBR
4	1	2021.001.003.004	Tapón PARKER 219P
5	1	2021.001.003.005	ISO 4027 M10 x 40

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA TEC. DE NAUTICA E MÁQUINAS

TÍTULO DO TRABALLO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO  
ARREGLO LINEA DE EJES

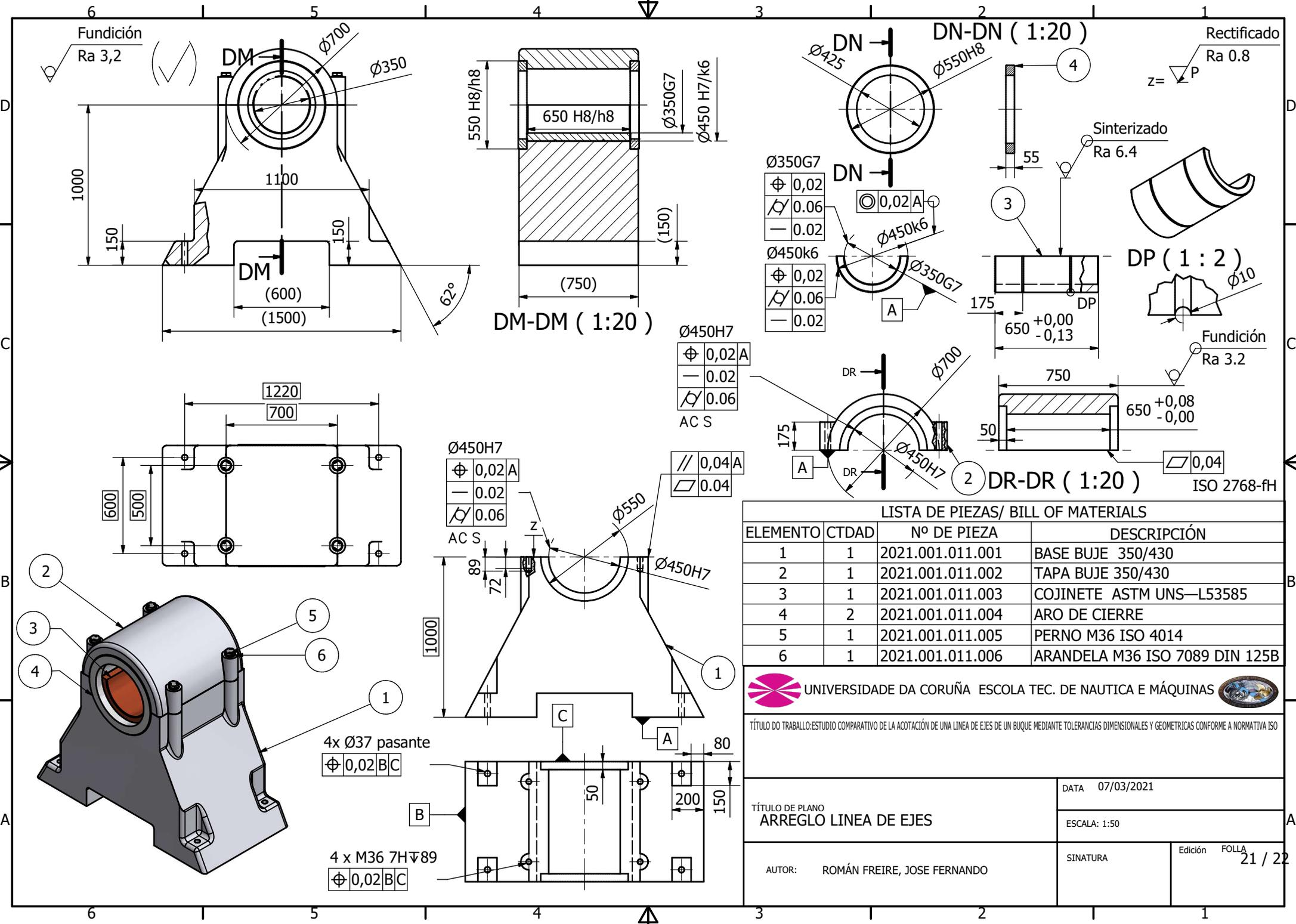
DATA 07/03/2021

ESCALA: 1:50

AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO

SINATURA

Edición FOLLA 20 / 22



DM-DM ( 1:20 )

DN-DN ( 1:20 )

DP ( 1:2 )

DR-DR ( 1:20 )

LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.011.001	BASE BUJE 350/430
2	1	2021.001.011.002	TAPA BUJE 350/430
3	1	2021.001.011.003	COJINETE ASTM UNS—L53585
4	2	2021.001.011.004	ARO DE CIERRE
5	1	2021.001.011.005	PERNO M36 ISO 4014
6	1	2021.001.011.006	ARANDELA M36 ISO 7089 DIN 125B

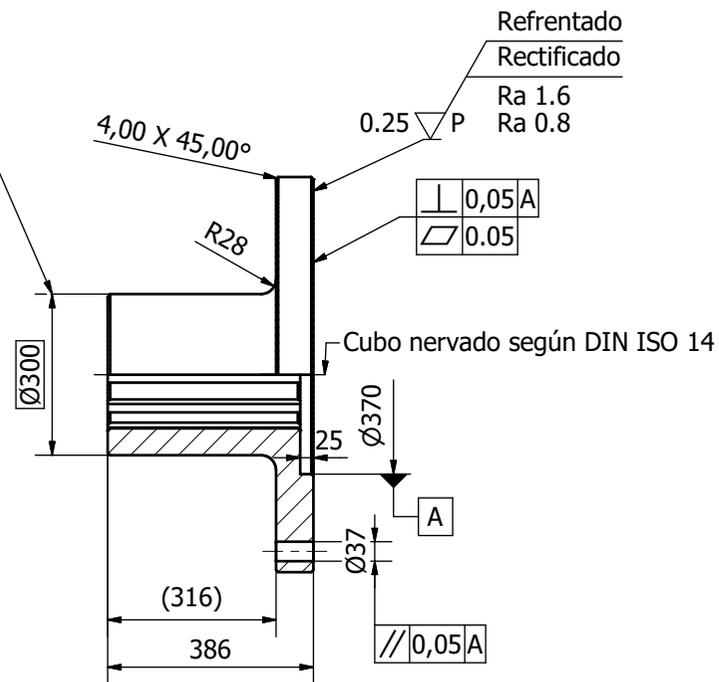
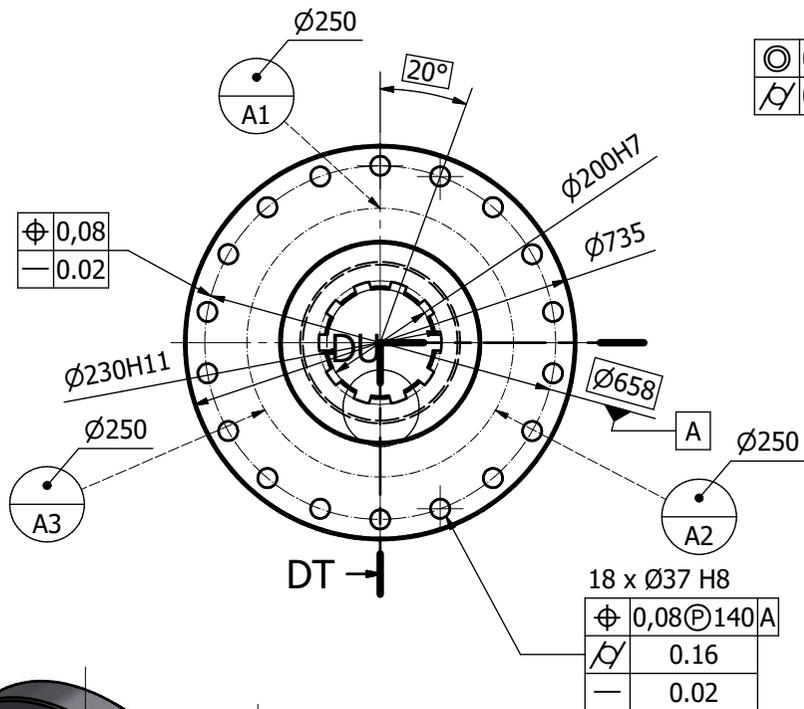


TÍTULO DO TRABALO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 21 / 22

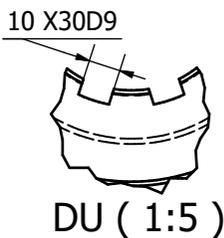
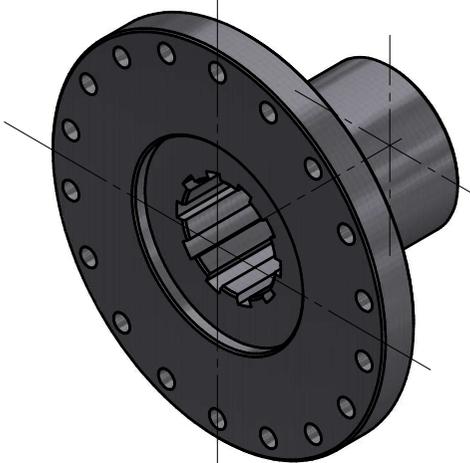
Ra 3.2

Chaflanes no indicados: 2 x 45°  
Rectificado frente de brida con muela de corindón grano grado 180 o superior



DT-DT ( 1:10 )

ISO 1101:2012, ISO 2768-fH



LISTA DE PIEZAS/ BILL OF MATERIALS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	2021.001.014.000	Plato salida Reductora



TÍTULO DO TRABALO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACOTACIÓN DE UNA LINEA DE EJES DE UN BUQUE MEDIANTE TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS CONFORME A NORMATIVA ISO

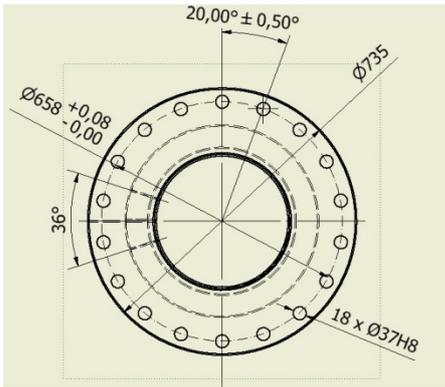
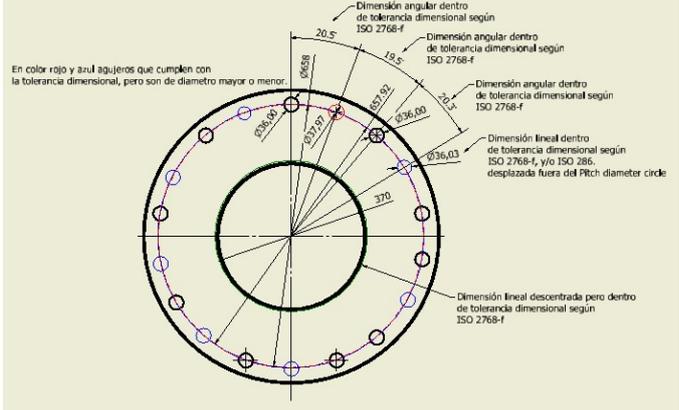
TÍTULO DE PLANO ARREGLO LINEA DE EJES	DATA 07/03/2021
	ESCALA: 1:50
AUTOR: ROMÁN FREIRE, JOSE FERNANDO	SINATURA Edición FOLLA 22 / 22

## 14. Conclusiones

Se procede a enumerar por un lado las conclusiones técnicas referidas por tanto a aquello que se ha intentado demostrar como base teórica del presente TFG, y por otro lado las conclusiones pedagógicas en las que el alumno expone, aquello que ha aprendido o mejorado con la realización del TFG.

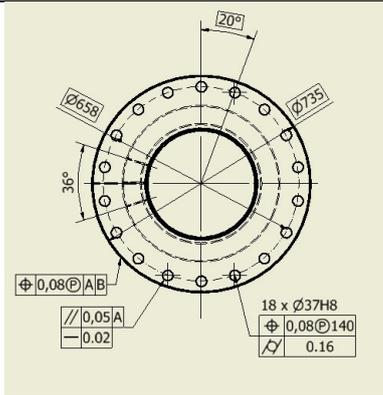
### 14.1 Conclusiones técnicas

A continuación se procede a exponer el grado de variabilidad que se infiere en función de acometer sólo acotación ISO 286, o combinarla con acotación ISO 1101:2012. Para ello se va a seguir una estructura Representación-interpretación<sup>27</sup>

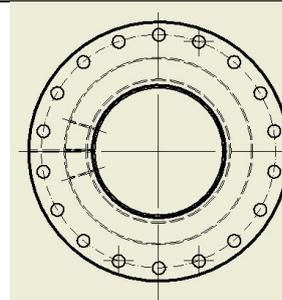
Representación	Interpretación
 <p data-bbox="242 1435 683 1469">Representación ISO 286:2012</p>	 <p data-bbox="762 1424 1449 1899">El componente es susceptible de pasar controles individuales, pero no de conjunto. Tampoco permite su ensamblaje. Según se indica presenta desviaciones de alineación en los agujeros de los pernos y de concentricidad en los cilindrados anteriores. Es de señalar que, sin embargo sus desviaciones dimensionales están dentro de las permitidas en acotación.</p>

<sup>27</sup> **Representación:** Por tal se entiende como se muestra un componente desde la óptica de aquel que lo proyecta.

**Interpretación:** Por tal se entenderá como se ejecuta un componente desde la óptica de aquel que obtiene información del plano del citado componente y lo entiende como ejecutado conforme a los márgenes indicados



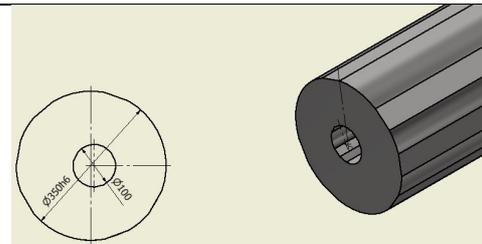
Representación ISO 1101:2004



La figura se ejecuta de forma fiel a la idea inicial no habiendo desalineaciones de forma ni posición. El componente es adecuado según los parametros de diseño e intercambiable en supuestos de reparación.



Representación ISO 286:2012

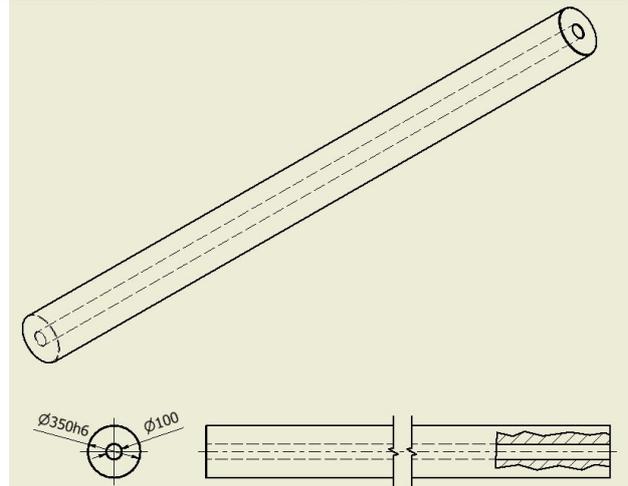


Eventual interpretación ( se han aumentado la distorsión a fin de que pudiese ser apreciada a simple vista) en lo referido a:

- Concentricidad entre cilindrado interior y exterior.
- Cilindricidad.



Representación ISO 1101:2004



Interpretación adecuada cumpliendo las condiciones de posición, cilindridad y concentricidad.

Se puede concluir que la utilización de la tolerancias geométricas en los planos de fabricación de los componentes de una línea de ejes.

- Elimina el riesgo de rechazo de componentes en la eventual de verificación del producto.
- Aumenta el grado de fiabilidad de los componentes construidos, pues existe una relación directa entre las distorsiones paramétricas y la aparición de vibraciones.
- Facilita el montaje y aumenta el grado de mantenibilidad, entendiendo por este último el tiempo empleado en devolver la condición operativa a un equipo o instalación tras una avería o parada.



## 14.2 Conclusiones académicas.

La realización de este trabajo ha sido un acicate para fortalecer mis conocimientos en la utilización de programas de diseño 3D. Sin éstos, es decir, limitándose a la representación directa en programas 2D es muy probable que no se pudiese plasmar fehacientemente la base teórica del TFG.

He podido así mismo profundizar en el uso de fuentes de información comerciales ya relacionarlas con reglamentación y normativa. Trabajar con una fecha de entrega determinada ha sido también importante al objeto de programar las tareas a realizar y llevar el TFG a buen término.

Decir finalmente que se han dedicado:

- 80 horas a la edición 3D de componentes y subcomponentes
- 77 horas a la edición de los planos.
- 60 horas aproximadamente a la edición del texto.
- 5 horas al desarrollo de la hoja de cálculo.
- 40 horas aproximadamente a la consulta de información.

## 15. Anexos

### 15.1 Hoja de cálculo Excel para contextualización dimensional de la línea de ejes de acuerdo a prescripciones de Lloyd's Register y/o bibliografía.



DATOS DE PARTIDA		Entrada reductora	Salida reductora		
		1	2	3	4
VELOCIDAD	RPM	750	127,9		
POTENCIA	KW	7200			
FACTOR K	K	1	1,1	1,15	1,22
Tensión de rotura a tracción	$\sigma$ N/MM <sup>2</sup>	600			
Modulo de Young	21414	21414			
Densidad acero C45k kg/m <sup>3</sup>	7850				

Tabla 24 Datos de partida Ficha técnica



PARÁMETROS DE LOS EJES	CALCULOS EJE MOTOR REDUCTORA	CALCULOS REDONDEADOS	CALCULOS EJE INTERMEDIO	CALCULOS REDONDEADOS	CORRECCIONES L	CALCULOS EJE DE COLA REDUCIDO	CALCULOS REDONDEADOS	CORRECCIONES L	calculos eje de cola/HELICE	CALCULOS REDONDEADOS	CORRECCIONES L
VELOCIDAD CRÍTICA	975		166,27			166,27			166,27		
LONGITUD (mm)	2710,952046	<b>2720</b>	8626,080688	<b>8630</b>	<b>5000</b>	9271,145344	<b>9280</b>	<b>5400</b>	9593,434595	<b>9600</b>	<b>5400</b>
Flecha max (mm) > 1 mm	0,096523669		3,319061181		0,374663349	3,319061181		0,381994174	3,319061181		0,333191429
D min EJE M-R (mm)	191,9619808	<b>200</b>	346,1615251	<b>350</b>		398,0857538	<b>400</b>		422,3170606	<b>430</b>	
Di máx. 40% (mm)	80	<b>100</b>	140	<b>70</b>		160	<b>100</b>		172	<b>100</b>	
Esfuerzo cortante máximo N/mm <sup>2</sup>			16,65671827			11,18453561			8,994249953		
Carga de rotura			346,4101615								
Sección transversal mm <sup>2</sup>	27605,50539		92490,24028			117972,2453			137555,638		
Momento de inercia axial	73732653,28		736453538,2			1253455106			1675599615		
Peso/mm eje G (kg/mm) lineal	0,216703217		0,726048386			0,926082125			1,079811758		

Tabla 25 Tabla de cálculo



CORRECCION DE L	L´	FLECHA CORREGIDA
INTERMEDIO	5000	<b>0,374663349</b>
COLA REDUCIDO	5400	<b>0,381994174</b>
COLA	5400	<b>0,333191429</b>

Tabla 26 Tabla de corrección de longitudes

Referencia brida	OKF 350
Numero de pernos	<b>18</b>
Diámetro exterior brida	<b>735</b>
Tensión de rotura pernos	<b>830</b>

Brida	Diámetro perno	DIA corregido	E
OKC 350	<b>35,07661117</b>	<b>36</b>	877,4

Tabla 27 Datos pernos acople brida