



UNIVERSIDAD DE JAÉN  
*Escuela Politécnica Superior de Jaén*

Trabajo Fin de Grado

**INGENIERÍA GRÁFICA E  
INGENIERÍA ASISTIDA POR  
ORDENADOR DE  
INVENCIONES HISTÓRICAS  
DEL TRATADO DE ARTILLERÍA  
DE TOMÁS DE MORLA  
RELATIVAS A LA FUNDICIÓN  
DE ARTILLERÍA**

**Alumno: Juan Alfonso de la Chica Moral**

Tutor: Prof. Dr. D. José Ignacio Rojas Sola  
Dpto.: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

**Mayo, 2020**



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Don JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA, tutor del Trabajo Fin de Grado titulado: INGENIERÍA GRÁFICA E INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR DE INVENCIONES HISTÓRICAS DEL TRATADO DE ARTILLERÍA DE TOMÁS DE MORLA RELATIVAS A LA FUNDICIÓN DE ARTILLERÍA, que presenta JUAN ALFONSO DE LA CHICA MORAL, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, MAYO de 2020

El alumno:

El tutor:

JUAN ALFONSO DE LA CHICA MORAL

JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. BREVE RESEÑA PERSONAL.....	3
1.2. ENTORNO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS .....	3
2. MATERIAL Y MÉTODOS .....	5
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
3.1. INGENIERÍA GRÁFICA: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA .....	30
3.2. INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR: ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS .....	90
3.3. RECREACIÓN VIRTUAL.....	101
4. CONCLUSIONES.....	111
5. BIBLIOGRAFÍA .....	113
6. ANEXO: PLANOS .....	114

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. BREVE RESEÑA PERSONAL**

Tomás de Morla y Pacheco, nació en Jerez de la Frontera en 1747 y murió en Madrid en 1820 [1]. Fue un prestigioso militar, alcanzando el rango de General. Ingresó en la Academia de Artillería de Segovia, donde formó parte de la primera promoción. Al finalizar sus estudios permaneció allí como profesor de la asignatura de Táctica. Escribió el Tratado de Artillería para el uso de Caballeros Cadetes del Real Cuerpo de Artillería, una extensa obra donde se recogen los conocimientos que se tenían en su tiempo sobre metales, aleaciones, hornos de fundición y fabricación de cañones. Morla fue un prolífico autor que escribió sobre temas tan diversos como estrategias militares, fabricación de pólvora o formas de acabar con epidemias.

### **1.2. ENTORNO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente TFG se desarrolla dentro de la línea de investigación titulada “Ingeniería Gráfica aplicada al Patrimonio Histórico” que dirige el Catedrático Prof. Dr. D. José Ignacio Rojas Sola, en el seno de su Grupo de Investigación “Ingeniería Gráfica y Arqueología Industrial” desde 1996, perteneciente al II Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Junta de Andalucía.

### **1.3. OBJETIVOS**

Los objetivos concretos perseguidos por el presente TFG son:

1. Manejo de bibliografía relacionada, concretamente el Tratado de Artillería de Tomás de Morla [2].
2. Modelización 3D de invenciones históricas de dicho tratado relativas a la fundición de artillería, a partir de la información recopilada en dicho tratado, con software de diseño asistido por ordenador, así como la obtención de su documentación geométrica.

3. Realización de análisis estático mediante elementos finitos de dichas invenciones históricas.
4. Realización de una recreación virtual del funcionamiento de dichas invenciones históricas.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

En este epígrafe se describe la metodología y herramientas utilizadas para la realización del TFG, desde la obtención de las medidas de las invenciones históricas estudiadas hasta la ejecución de una recreación virtual de su funcionamiento.

En primer lugar, se ha utilizado un método directo con técnicas empíricas de medición sobre la planimetría dibujada a escala (Ilustraciones 1 a 3) que se encuentran en el documento de Láminas del Tratado de Artillería de Tomás de Morla [3]. Mediante las herramientas euclidianas (compás, escuadra y cartabón) se han extraído las medidas correspondientes para aplicarles posteriormente la escala correspondiente. Los planos de las ilustraciones están definidos por la magnitud “Pies de París”, y para transformar las medidas a magnitudes del sistema Internacional se ha realizado un cálculo de transformación de escala. Esta escala ha sido calculada considerando la magnitud “Pies de París” equivalente a 0,325 m, por lo que el resultado del cálculo final de escala expresa que 1 m en el plano equivale a 270,7 m en la realidad. El proceso para el cálculo final de escala comienza trasladando mediante regla o compás la medida al plano a la escala equivalente en Pies de París, situada en el margen inferior derecho de la Ilustración. Posteriormente, se aplica la conversión antes mencionada para transformar la medida en Pies de París a metros.

En segundo lugar, se ha utilizado el programa de modelado CAD “Autodesk Inventor Professional 2019” junto a varios complementos de Autodesk asociados a ampliar algunas funciones del programa. A continuación, se va a detallar el funcionamiento y los principales comandos.

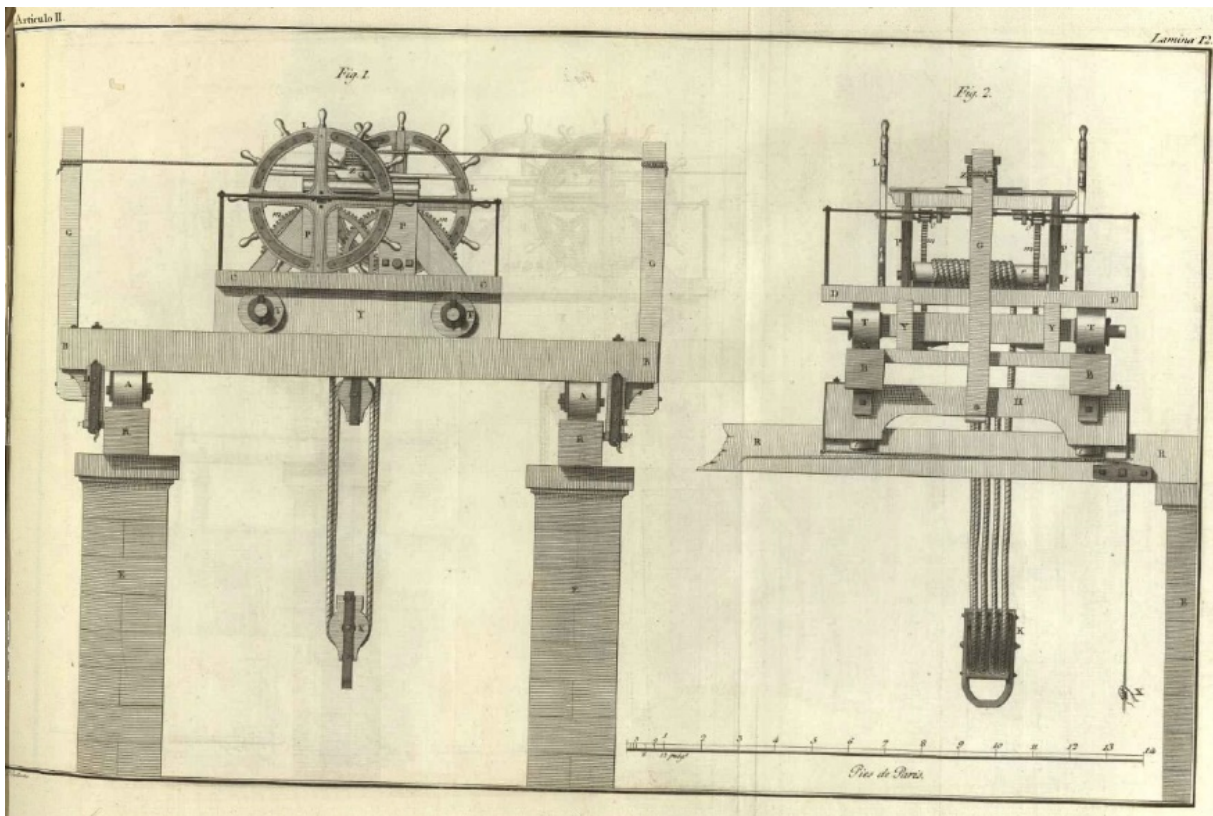


Ilustración 1. Plano con vistas de alzado y perfil del cabriolé doble [3].

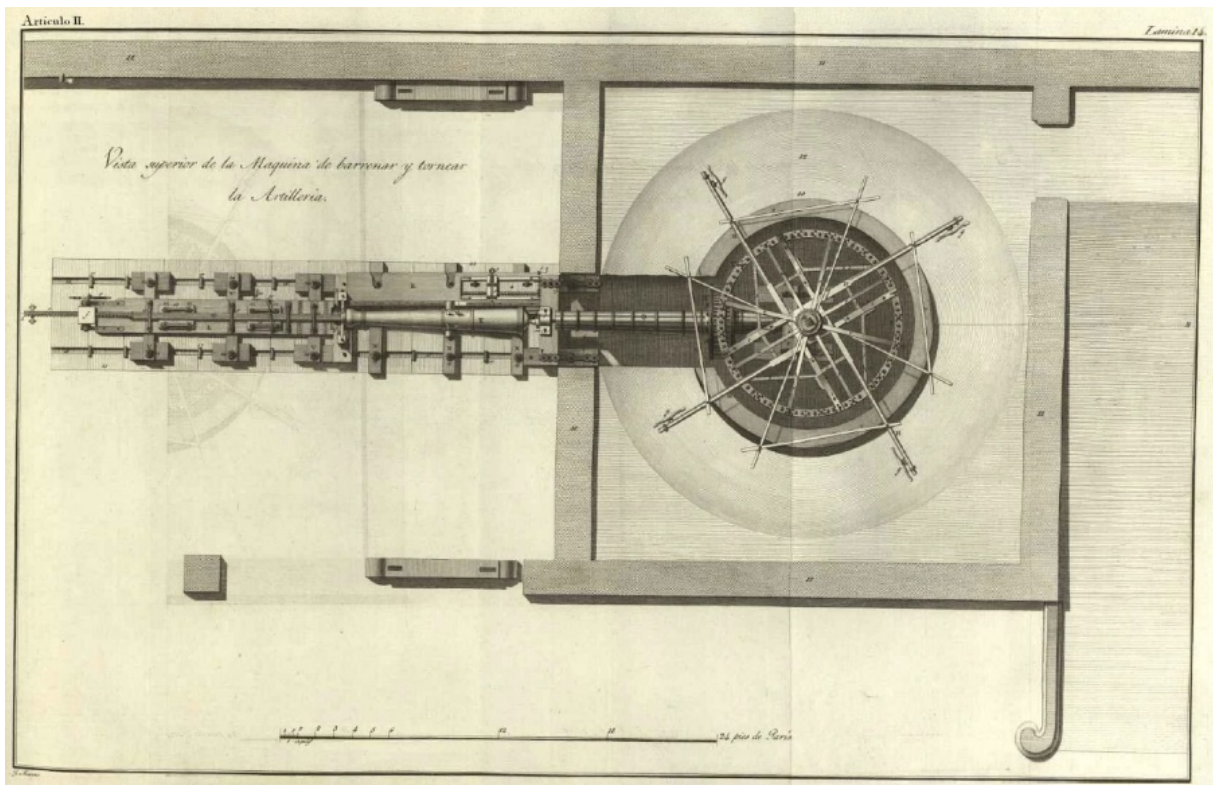


Ilustración 2. Plano de planta de la máquina para barrenar y torner las piezas de artillería [3].

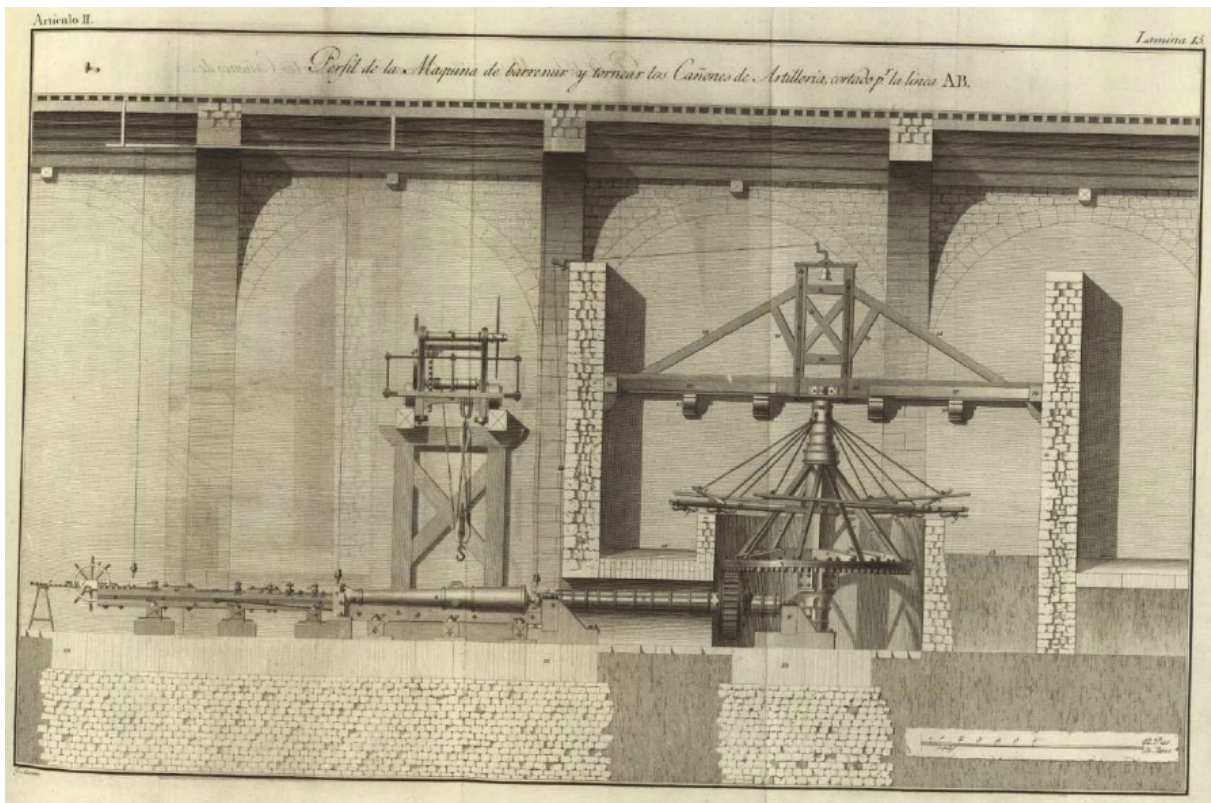


Ilustración 3. Plano de perfil de la máquina para barrenar y torner las piezas de artillería con su cabriolé correspondiente [3].

Para empezar el modelado se deben crear en primer lugar las piezas y posteriormente proceder a su ensamblado. En el menú principal de la Ilustración 4 se pueden ver las opciones para crear nuevas piezas (Part), ensamblajes (Assembly), Planos de piezas o ensamblajes (Drawing), o vista explosionada (Presentation).

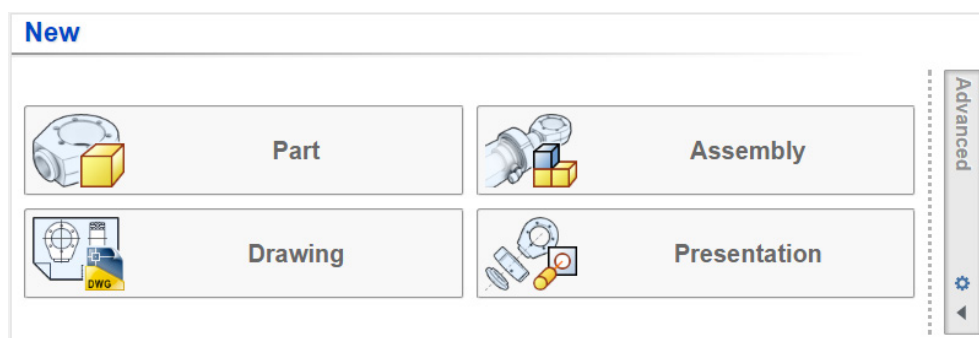


Ilustración 4. Menú principal.

Seguidamente, se procede a explicar los principales comandos para la creación de piezas, algunos de los mismos se encuentran en la creación de ensamblajes.

El comando de la Ilustración 5 es necesario para empezar a crear una pieza, ya que consiste en elegir un plano del espacio donde dibujar un croquis 2D al que posteriormente se le realizarán operaciones para crear un sólido.

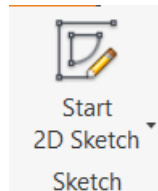


Ilustración 5. Comando croquis 2D.

La creación de sólidos a partir de un croquis 2D previamente definido puede realizarse con los comandos de la Ilustración 6. El comando más utilizado es el de extrusión y revolución, ya que mediante estos dos se pueden crear la mayoría de las piezas. Como añadido existe el comando “Sweep”, que crea un sólido a partir de una sección en croquis 2D y una línea de trazado. Otros comandos necesarios son “Loft” y “Coil”, el primero suaviza la transición entre dos secciones de diferente tamaño y el segundo es utilizado para crear sólidos en formas de espiral o muelle.

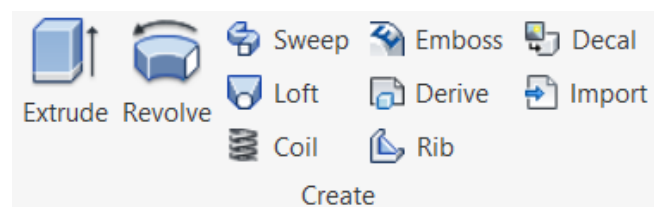


Ilustración 6. Comandos de creación de piezas.

Una vez creado el sólido se le pueden realizar varias operaciones para modificar su forma, y para ello se utilizan los comandos de la Ilustración 7. El comando “Hole” es utilizado para realizar taladrados a la pieza, “Fillet” para redondear aristas o esquinas del sólido, “Chamfer” para crear chaflanes en aristas o esquinas, y “Thread” es utilizado para realizar roscas externas o internas en la pieza.

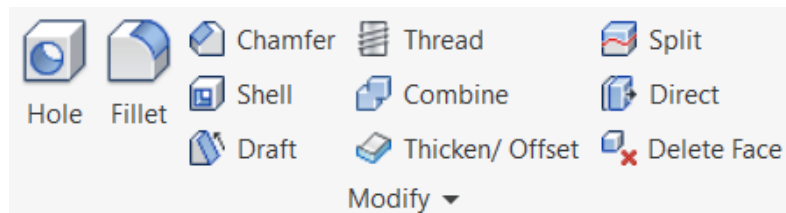


Ilustración 7. Comandos de modificación de piezas.

Asimismo, existen comandos adicionales que ayudan a la modificación de una pieza como los mostrados en la Ilustración 8. La función del comando “Shape Generator” es optimizar la forma de la pieza una vez aplicadas las cargas a soportar y las fijaciones, aunque en el modelado de estas invenciones no será necesario este comando. El comando “Plane” es comúnmente usado por la facilidad que proporciona crear un plano auxiliar para crear un croquis 2D, este comando puede crear planos intermedios, planos paralelos a otro con una distancia de separación o que pasan por un punto determinado. Un comando adicional de importancia es la simetría mediante patrón circular, de malla rectangular o mediante un plano.

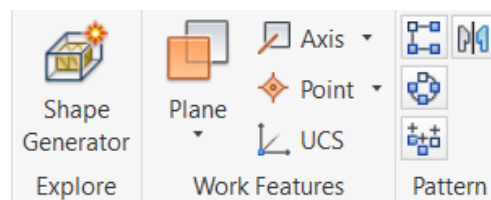


Ilustración 8. Comandos adicionales para piezas.

Un elemento fundamental para la creación de piezas es el croquis 2D, y para la creación de estos croquis se utilizan los comandos de la Ilustración 9. El comando “Line” se utiliza para crear líneas rectas, “Circle” para crear círculos, “Arc” arcos de diferentes puntos y “Rectangle” para crear rectángulos. Otro importante comando para la construcción de un croquis 2D es “Project Geometry” que sirve para proyectar la geometría de un sólido en el plano en el que se está realizando el croquis 2D.

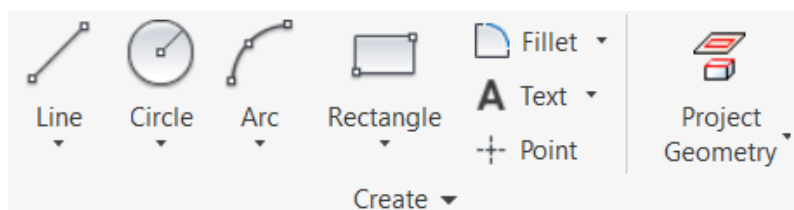


Ilustración 9. Comandos en la creación de croquis 2D.

Dentro de la creación del croquis 2D, un comando fundamental es “Dimension”, el cual establece el valor de acotación de cada elemento del croquis para poder definirlo correctamente. Otras restricciones aplicables al boceto son relaciones de coincidencia en un punto, de colinealidad, de tangencia, simetría o perpendicularidad, entre otras. Todas estas restricciones se muestran en la Ilustración 10.

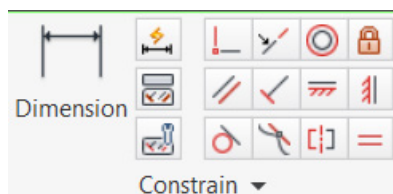


Ilustración 10. Comandos de acotación y de restricciones.

En la Ilustración 11, se pueden observar los comandos de “Measure”, utilizado para obtener mediciones de las geometrías de las piezas. “Material” y “Appearance” asignan un tipo de material con sus correspondientes características y una apariencia, respectivamente.

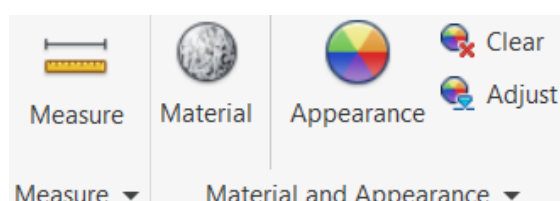


Ilustración 11. Comandos para la aplicación de características.

En relación con la creación de ensamblajes, el comando de la Ilustración 12 es utilizado para importar piezas al ensamblaje o crear piezas en el mismo momento.

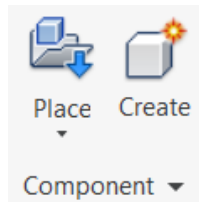


Ilustración 12. Comandos para la Importación de piezas.

Una vez se han importado las piezas al ensamblaje, se utilizan comandos para establecer uniones y restricciones entre piezas (Ilustración 13), siendo estas restricciones de varios tipos (Ilustración 14).

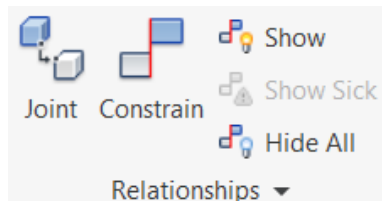


Ilustración 13. Comandos de uniones y restricciones del ensamblaje.

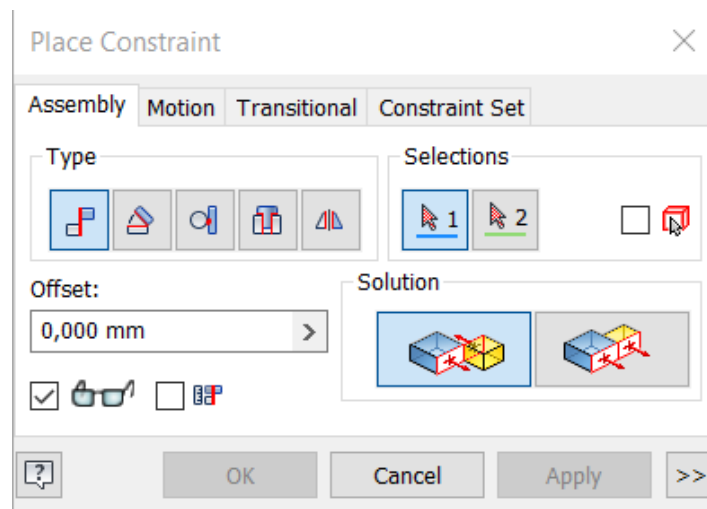


Ilustración 14. Opciones del comando 'Place Constraint'.

Dentro del ensamblaje se pueden crear componentes de conexión rápida ya predefinida donde sólo hay que proporcionar los parámetros como conexiones con pernos mediante el comando "Bolted connection", utilizando un croquis 3D se pueden transformar las líneas en vigas de diferentes secciones con el comando "Insert Frame", "Bearing" para crear rodamientos, "V-Belt" para crear sistemas de poleas

(Ilustración 15), o el comando “Spur Gear” para crear sistemas de engranajes (Ilustración 16).

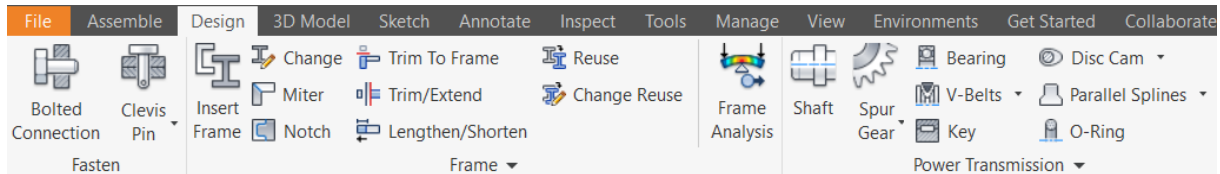


Ilustración 15. Comandos de conexión rápida.

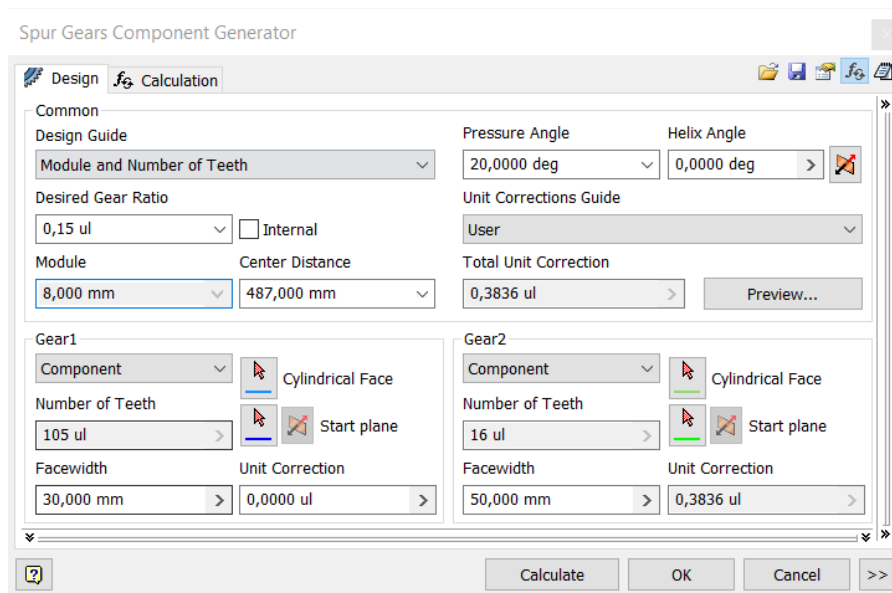


Ilustración 16. Opciones del comando ‘Spur Gears Component Generator’.

El comando “Parameters” (Ilustración 17) se utiliza para tener una visión general de los parámetros que contiene el ensamblaje, cuáles se pueden variar y cuáles son dependientes (Ilustración 18).

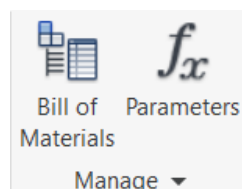


Ilustración 17. Comandos de parámetros.

Parameters ×

Parameter Name	Consumec	Unit/Ty	Equation	Nominal V	Driving Rule	Tol.	Model Valu	Key		Comment
d523	Flush:77	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d524	Flush:78	mm	2046 mm	2046,00...			2046,00...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d525	Flush:79	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d526	Flush:80	mm	16,5 mm	16,5000...			16,5000...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d527	Flush:81	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d528	Flush:82	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d529	Flush:83	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d530	Mate:224	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d531	Flush:84	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d533	Flush:85	mm	90 mm	90,0000...			90,0000...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d538	Flush:86	mm	0,000 mm	0,000000			0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
User Paramet...										
Distancia		mm	2000 mm	2000,00...			2000,00...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Link  Immediate Update

Ilustración 18. Parámetros del ensamblaje.

La ventana lateral mostrada en la Ilustración 19 contiene todas las piezas del ensamblaje, con sus correspondientes restricciones y parámetros. Cada componente es desplegable, mostrando sus subcomponentes en caso de ser un ensamblaje o las restricciones en caso de ser una pieza.

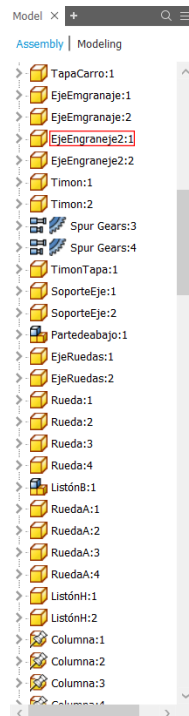


Ilustración 19. Árbol de componentes.

La pestaña “Environments” (Ilustración 20) contiene los comandos de los módulos adicionales como “Stress Analysis” utilizado para realizar un análisis estático de una pieza o ensamblaje, “Inventor Studio” para realizar animaciones o “Autodesk Nastran In-CAD” utilizado para análisis de simulación por elementos finitos avanzados tanto estáticos como de estabilidad o termales.

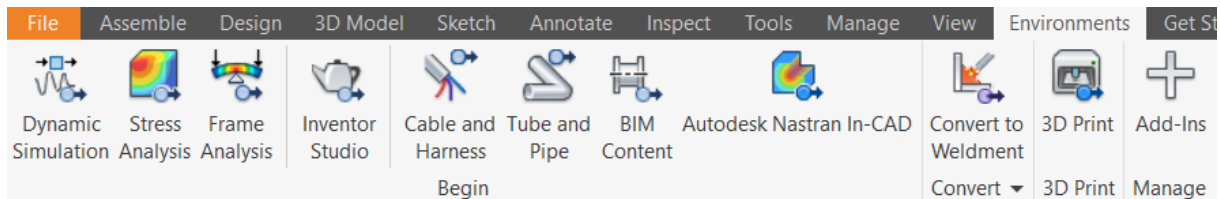


Ilustración 20. Comandos de la pestaña ‘Environments’.

En relación con la creación de planos, los comandos más importantes son los representados en la Ilustración 21.

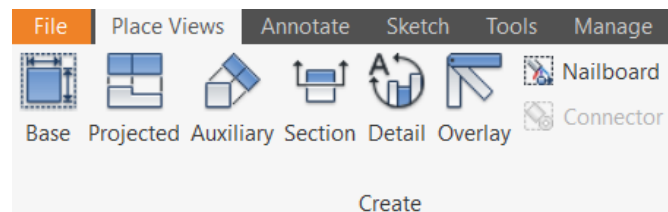


Ilustración 21. Principales comandos para la creación de planos.

El comando “Base” (Ilustración 22), tiene la función de crear la proyección base del ensamblaje o pieza en cuestión, a partir de la cual mediante el comando “Projected”, se puede crear vistas diédricas derivadas de la vista base, así como vistas auxiliares con el comando “Auxiliary”. El comando “Section” se utiliza para crear cortes.

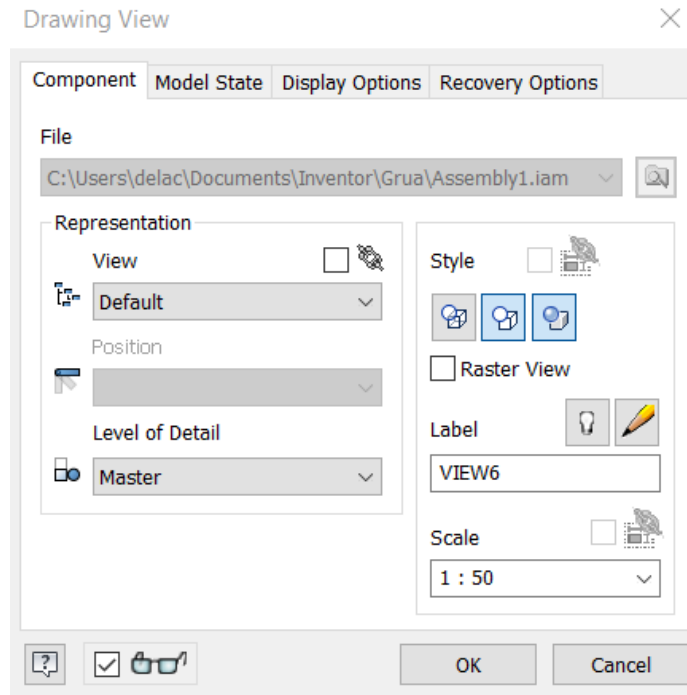


Ilustración 22. Opciones del comando 'Drawing View'.

En la pestaña de acotación el principal comando es el de "Dimension" (Ilustración 23), ya que se utiliza para acotar las dimensiones de la pieza o ensamblaje.

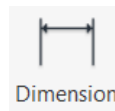


Ilustración 23. Comando de acotación.

En la Ilustración 24 se observan los comandos "Parts List" y "Balloon" que son utilizados para crear una lista de marcas del ensamblaje señalando mediante globos cada parte del mismo.

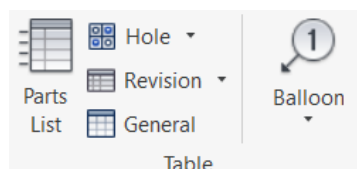


Ilustración 24. Comandos de la lista de marcas.

La barra lateral mostrada en la Ilustración 25 contiene las características del formato utilizado para el plano (cuadro de rotulación, bordes...), así como las diferentes vistas representadas en el plano.

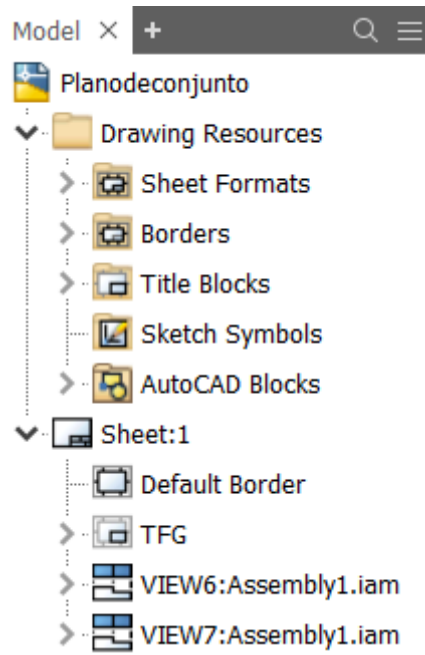


Ilustración 25. Barra lateral en la creación del plano.

Para crear un video o imagen de vista explosionada de un ensamblaje se utiliza el formato "Presentation", uno de los cuatro formatos en los que permite trabajar Autodesk Inventor Professional.

Los comandos mostrados en la Ilustración 26 son utilizados para crear una nueva presentación del mismo ensamblaje y para capturar la vista explosionada, con la intención de posteriormente crear una imagen renderizada o un plano.

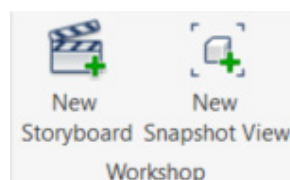


Ilustración 26. Comandos para capturar vistas.

El comando principal de este módulo denominado “Tweak components”, se representa en la Ilustración 27, y se utiliza para desplazar cada componente del ensamblaje y crear una vista explosionada (perspectiva estallada o de montaje). En la Ilustración 28 se pueden observar en detalle los parámetros necesarios para realizar esta operación.

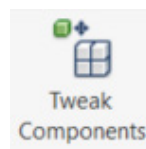


Ilustración 27. Comando Tweak components.

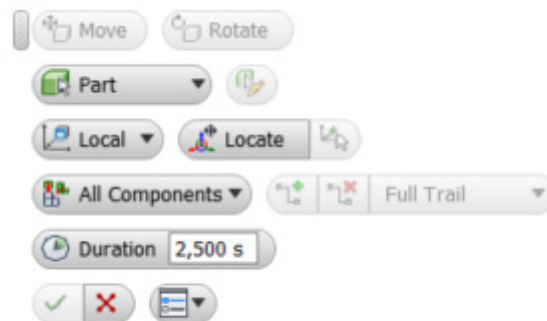


Ilustración 28. Opciones del comando ‘Tweak components’.

Una vez creada la vista explosionada, se puede crear un plano mediante el comando “Create Drawing View”, un video o una imagen utilizando los comandos de la Ilustración 29.

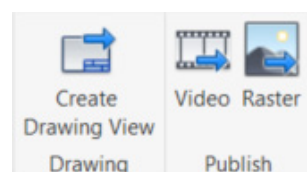


Ilustración 29. Comandos para crear un plano, un video o imagen.

En la Ilustración 30 se muestra el árbol de operaciones realizadas, donde se observan varias operaciones de tipo “Tweak”.



Ilustración 30. Árbol de operaciones.

Por otro lado, el módulo de Autodesk Inventor utilizado para crear la animación de la invención es “Inventor Studio” y a continuación, se procede a explicar el funcionamiento de este módulo.

En la Ilustración 31 se muestran los primeros comandos utilizados en la animación. Con estos comandos se establece y ajusta la escena en la que se va a realizar la animación, modificando tanto luces como cámaras.

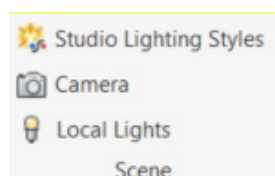


Ilustración 31. Comandos para crear una escena.

Una vez creada la escena adecuada se procede a la animación del ensamblaje con los comandos de la Ilustración 32, siendo “Animation Timeline” la ventana principal a la que se le añaden diferentes animaciones (Ilustración 33).

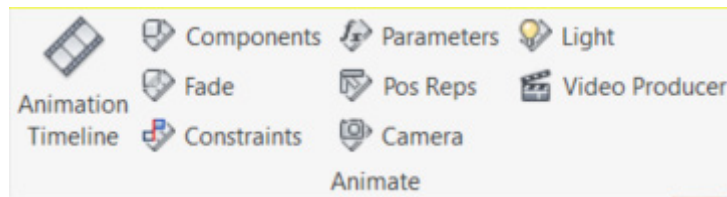


Ilustración 32. Comandos de animación.

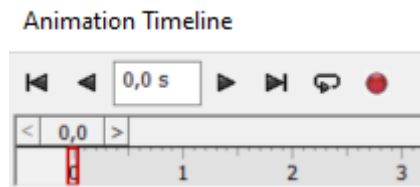


Ilustración 33. Comando 'Animation Timeline'.

Las principales animaciones se muestran junto al comando anteriormente descrito, destacando el comando “Fade” utilizado para difuminar los componentes hasta el porcentaje de opacidad y tiempo elegido (Ilustración 34). Otro comando utilizado es “Animate Parameters”, con el que se puede variar la magnitud de un parámetro definido previamente y así crear un movimiento en el ensamblaje (Ilustración 35).

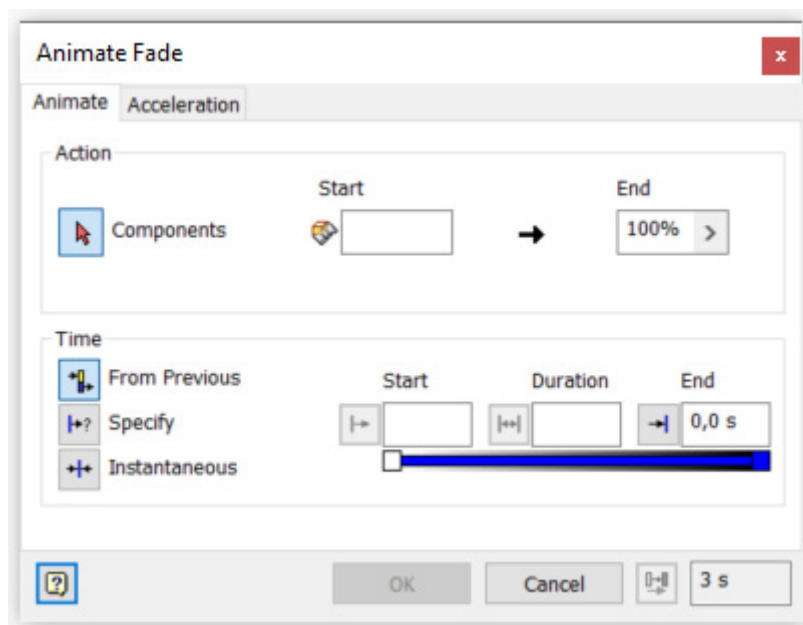


Ilustración 34. Opciones del comando 'Animate Fade'.

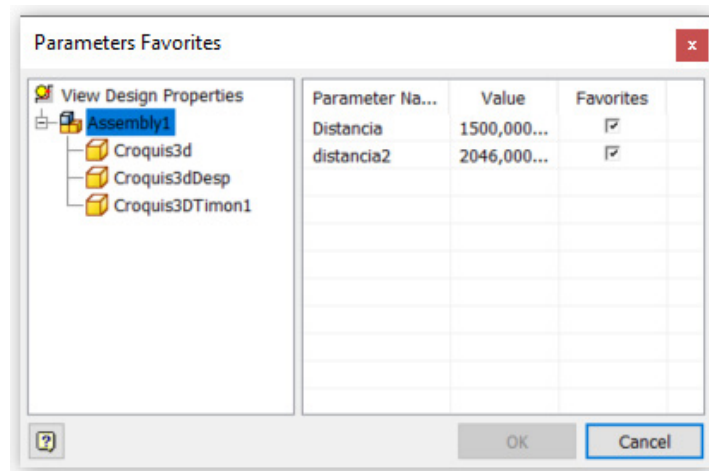


Ilustración 35. Comando 'Animate Parameters'.

El árbol de operaciones y de animaciones se pueden ver, respectivamente, en las Ilustraciones 36 y 37. En ellos se muestran las escenas y animaciones creadas.

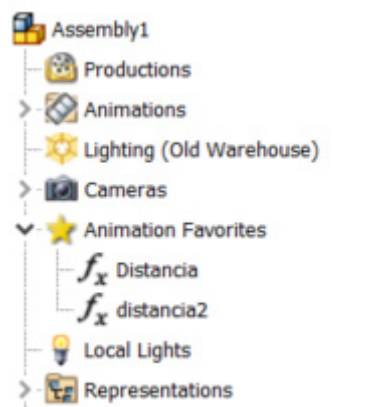


Ilustración 36. Árbol de operaciones.

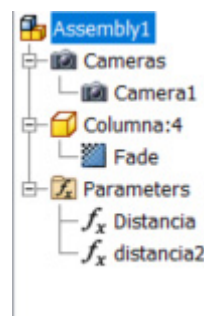


Ilustración 37. Árbol de animaciones.

Finalmente, se procede a renderizar la escena para obtener la animación con los comandos de la Ilustración 38, pudiéndose realizar como video o imagen. En la

Ilustración 39 se observan en detalle los parámetros ajustables en la renderización para obtener mayor calidad o para reducir el tiempo de renderizado.

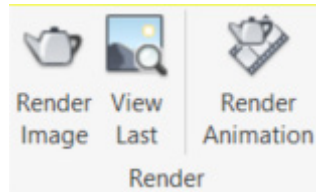


Ilustración 38 Comandos de renderización.

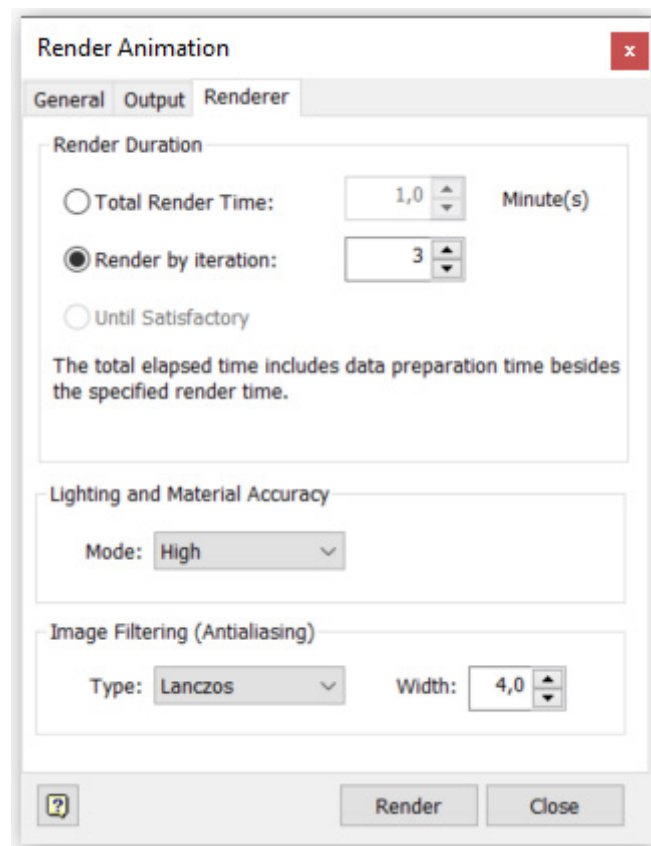


Ilustración 39. Opciones del comando 'Render Animation'.

Asimismo, el funcionamiento del módulo de simulación avanzada “Autodesk Nastran” comienza creando un nuevo análisis y seleccionando las opciones de control disponibles (Ilustración 40) y el tipo de análisis (Ilustración 41). Al ser un software profesional avanzado, existen gran cantidad de tipos de análisis disponibles que el módulo de simulación estática de Autodesk Inventor Professional no incorpora, y por ello, se ha utilizado el mismo.

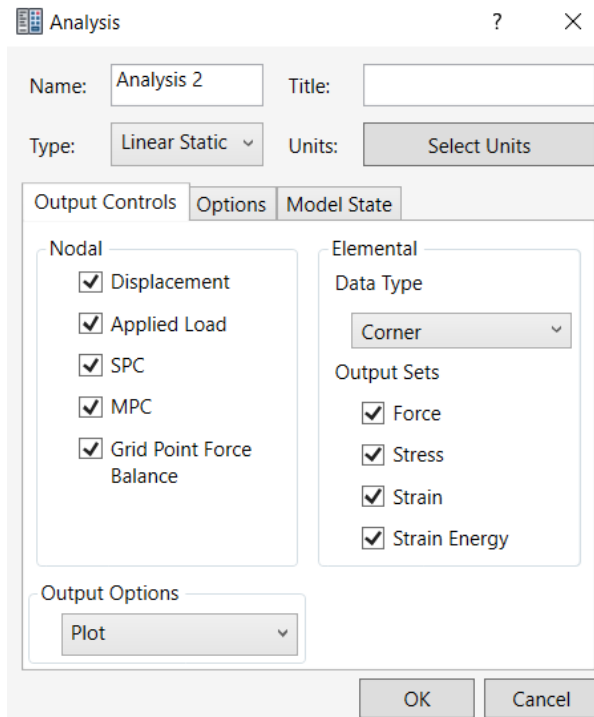


Ilustración 40. Opciones de control en Autodesk Nastran.

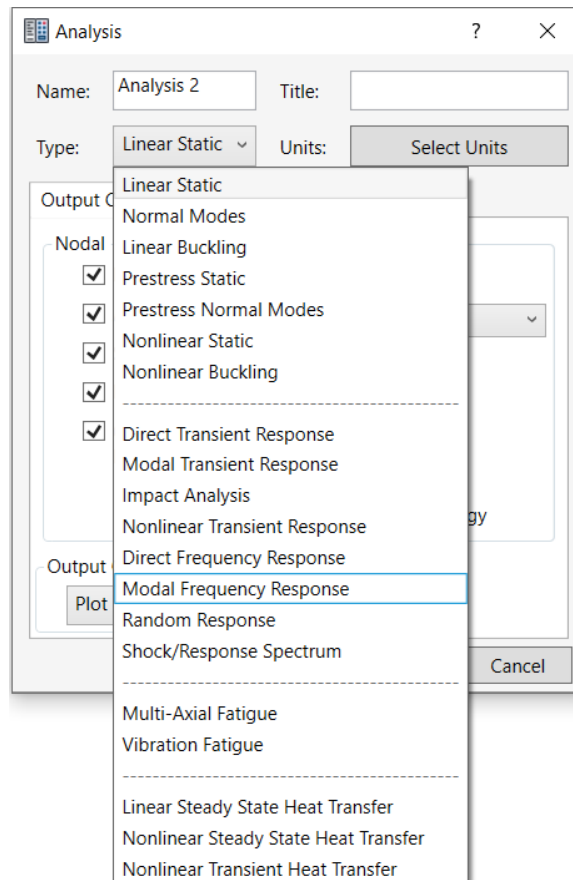


Ilustración 41. Tipos de análisis en Autodesk Nastran.

Antes de realizar el análisis, es necesario imponer las condiciones materiales y conexiones, y para ello se utilizan los comandos de la Ilustración 42.

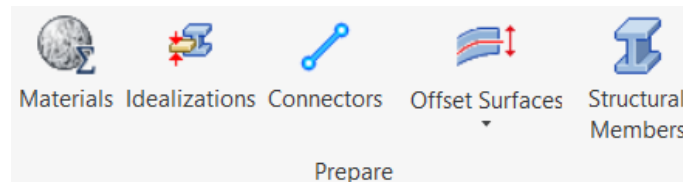


Ilustración 42. Comando de preparación análisis.

Para crear un material y definir sus propiedades se dispone de las opciones que aparecen en la Ilustración 43. En ella se pueden definir características físicas, estructurales y térmicas, pero también es posible definir materiales no lineales o elásticos.

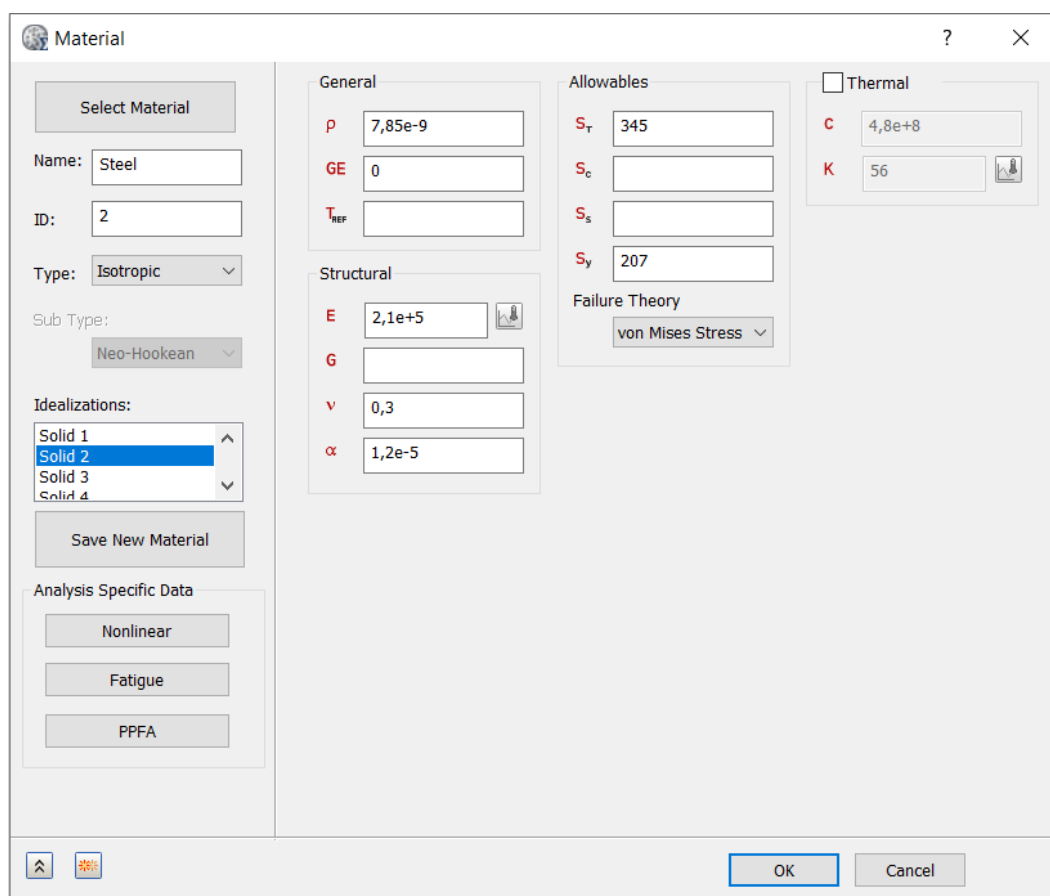


Ilustración 43. Ventana de aplicación de características de materiales.

La asignación del material a cada sólido se lleva a cabo mediante las opciones del comando “Idealizations” (Ilustración 44), donde se elige un material previamente definido y se le asigna a un sólido del ensamblaje.

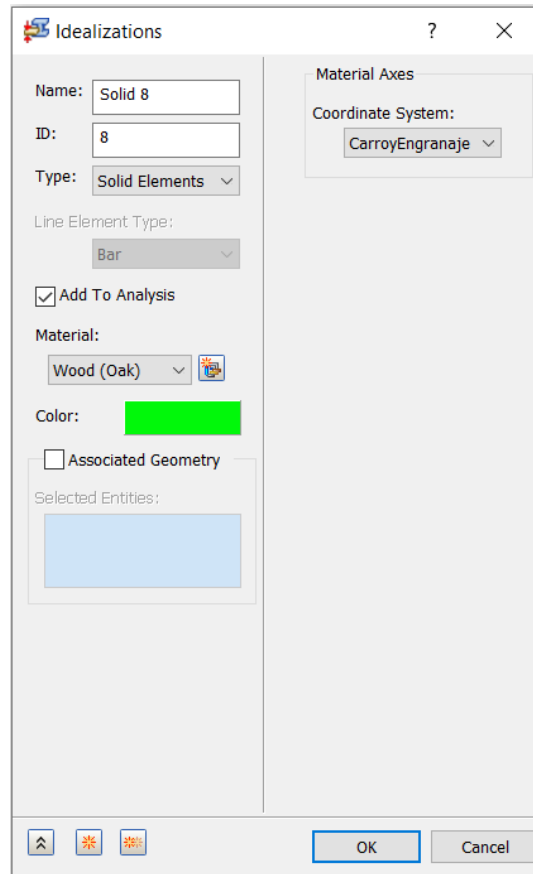


Ilustración 44. Opciones del comando ‘Idealizations’.

El siguiente paso es definir las restricciones y cargas aplicadas (Ilustración 45).

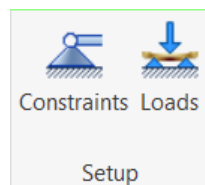


Ilustración 45. Comando de restricciones y cargas aplicadas.

Las opciones de aplicación de restricciones se configuran como aparecen en la Ilustración 46. Hay distintos tipos de restricciones, pudiendo ser de tipo fijo (fixed), de tipo rotación o de tipo libre, y se aplican sobre las superficies de las piezas seleccionadas.

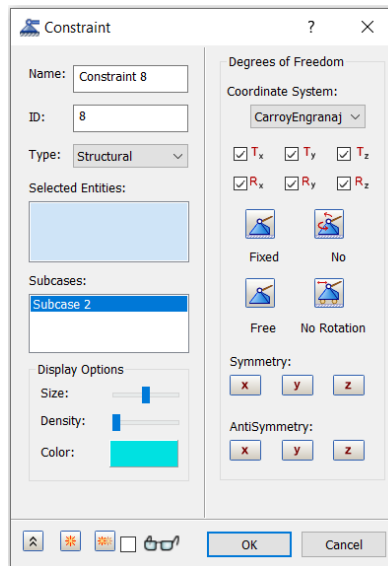


Ilustración 46. Opciones del comando 'Constraint'.

Las opciones de aplicación de las cargas se configuran como aparecen en la Ilustración 47, y para su aplicación se selecciona una superficie y se introduce su magnitud.

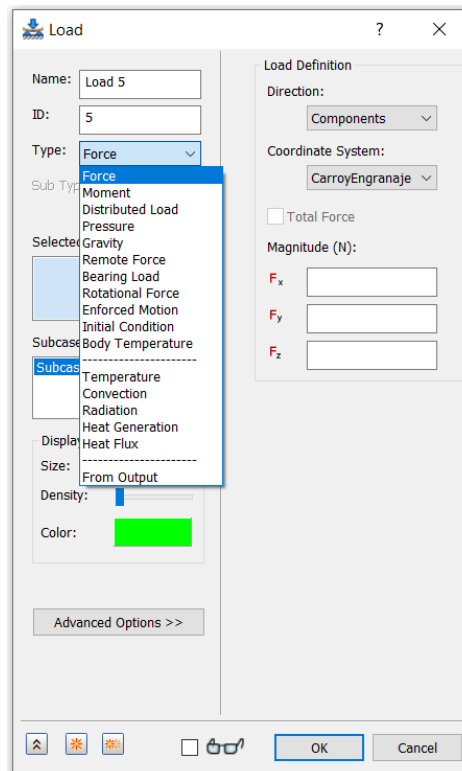


Ilustración 47. Opciones del comando 'Load'.

A continuación, se crean los contactos entre superficies utilizando los comandos de la Ilustración 48. Normalmente se suelen definir automáticamente y luego se corrigen los posibles fallos de forma manual. En la Ilustración 49 se muestran los distintos tipos de contactos posibles entre superficies.

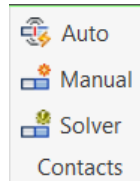


Ilustración 48. Comandos de contactos.

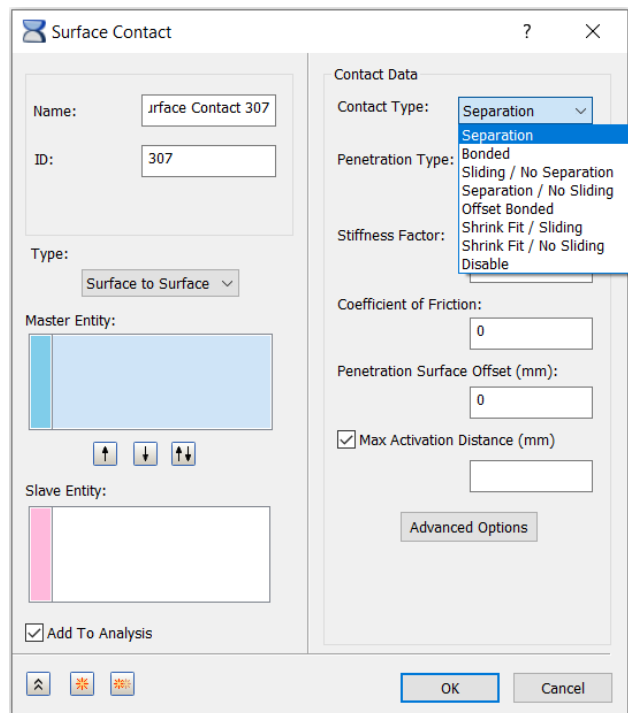


Ilustración 49. Opciones del comando 'Surface Contact'.

El último paso antes de realizar la simulación es crear una malla sobre el ensamblaje o pieza, utilizándose para ello los comandos de la Ilustración 50. Se establece el tamaño de malla y su forma mediante las opciones que aparecen en la Ilustración 51, siendo posible también conocer la calidad del mallado.

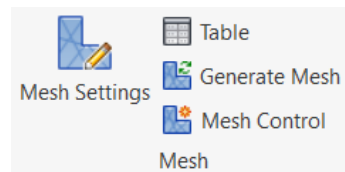


Ilustración 50. Comandos de mallado.

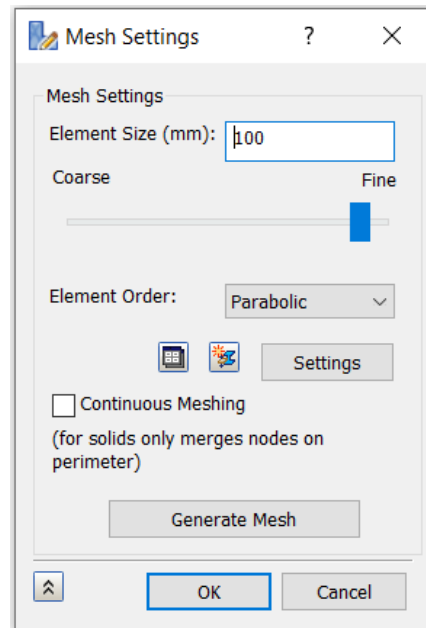
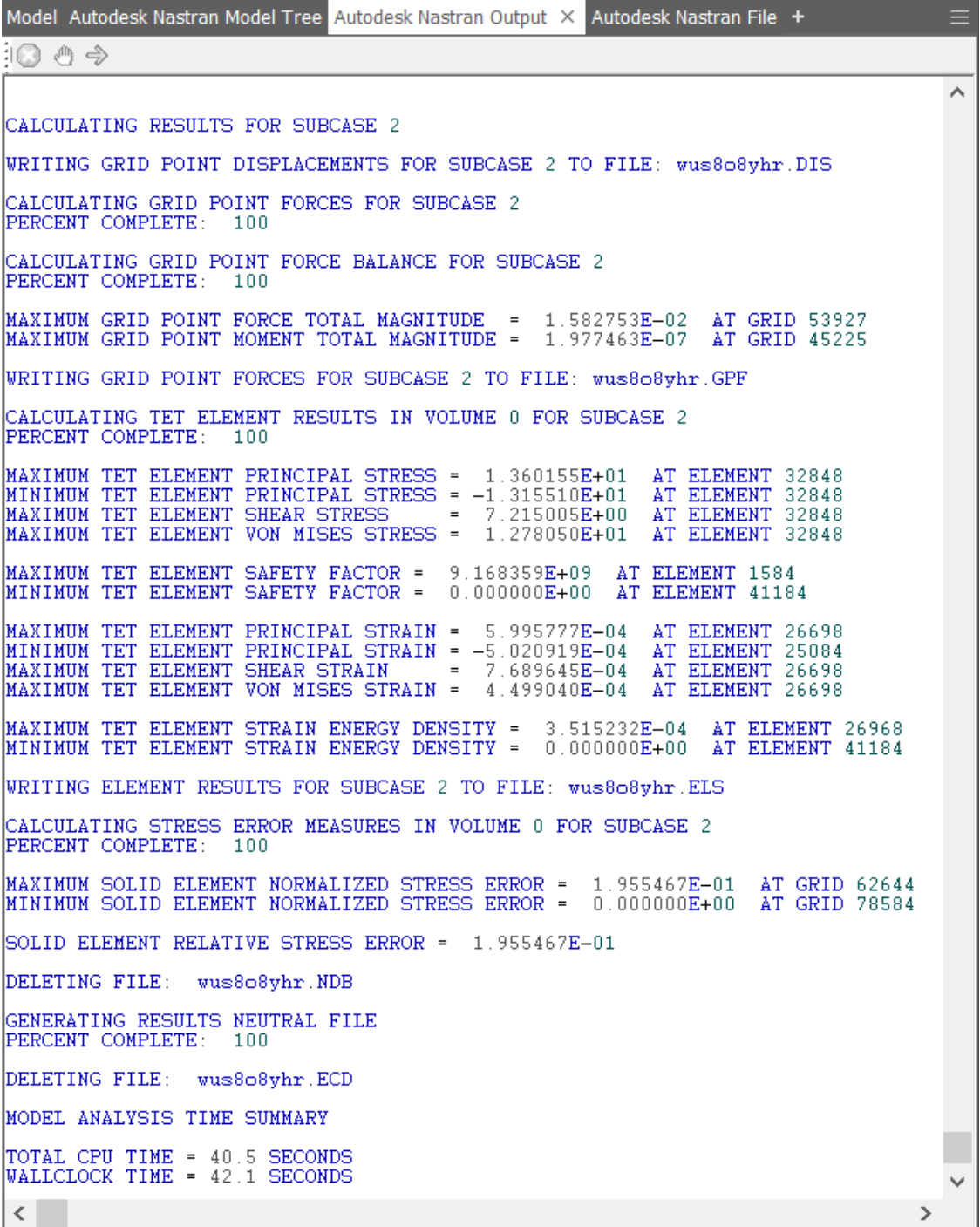


Ilustración 51. Opciones del comando 'Mesh Settings'.

Finalmente, se realiza la simulación mediante el algoritmo de elementos finitos “Solver Nastran” (Ilustración 52), hasta que la solución converge como se observa en el porcentaje de convergencia.



```
Model Autodesk Nastran Model Tree Autodesk Nastran Output X Autodesk Nastran File +
CALCULATING RESULTS FOR SUBCASE 2
WRITING GRID POINT DISPLACEMENTS FOR SUBCASE 2 TO FILE: wus8o8yhr.DIS
CALCULATING GRID POINT FORCES FOR SUBCASE 2
PERCENT COMPLETE: 100
CALCULATING GRID POINT FORCE BALANCE FOR SUBCASE 2
PERCENT COMPLETE: 100
MAXIMUM GRID POINT FORCE TOTAL MAGNITUDE = 1.582753E-02 AT GRID 53927
MAXIMUM GRID POINT MOMENT TOTAL MAGNITUDE = 1.977463E-07 AT GRID 45225
WRITING GRID POINT FORCES FOR SUBCASE 2 TO FILE: wus8o8yhr.GPF
CALCULATING TET ELEMENT RESULTS IN VOLUME 0 FOR SUBCASE 2
PERCENT COMPLETE: 100
MAXIMUM TET ELEMENT PRINCIPAL STRESS = 1.360155E+01 AT ELEMENT 32848
MINIMUM TET ELEMENT PRINCIPAL STRESS = -1.315510E+01 AT ELEMENT 32848
MAXIMUM TET ELEMENT SHEAR STRESS = 7.215005E+00 AT ELEMENT 32848
MAXIMUM TET ELEMENT VON MISES STRESS = 1.278050E+01 AT ELEMENT 32848
MAXIMUM TET ELEMENT SAFETY FACTOR = 9.168359E+09 AT ELEMENT 1584
MINIMUM TET ELEMENT SAFETY FACTOR = 0.000000E+00 AT ELEMENT 41184
MAXIMUM TET ELEMENT PRINCIPAL STRAIN = 5.995777E-04 AT ELEMENT 26698
MINIMUM TET ELEMENT PRINCIPAL STRAIN = -5.020919E-04 AT ELEMENT 25084
MAXIMUM TET ELEMENT SHEAR STRAIN = 7.689645E-04 AT ELEMENT 26698
MAXIMUM TET ELEMENT VON MISES STRAIN = 4.499040E-04 AT ELEMENT 26698
MAXIMUM TET ELEMENT STRAIN ENERGY DENSITY = 3.515232E-04 AT ELEMENT 26968
MINIMUM TET ELEMENT STRAIN ENERGY DENSITY = 0.000000E+00 AT ELEMENT 41184
WRITING ELEMENT RESULTS FOR SUBCASE 2 TO FILE: wus8o8yhr.ELS
CALCULATING STRESS ERROR MEASURES IN VOLUME 0 FOR SUBCASE 2
PERCENT COMPLETE: 100
MAXIMUM SOLID ELEMENT NORMALIZED STRESS ERROR = 1.955467E-01 AT GRID 62644
MINIMUM SOLID ELEMENT NORMALIZED STRESS ERROR = 0.000000E+00 AT GRID 78584
SOLID ELEMENT RELATIVE STRESS ERROR = 1.955467E-01
DELETING FILE: wus8o8yhr.NDB
GENERATING RESULTS NEUTRAL FILE
PERCENT COMPLETE: 100
DELETING FILE: wus8o8yhr.ECD
MODEL ANALYSIS TIME SUMMARY
TOTAL CPU TIME = 40.5 SECONDS
WALLCLOCK TIME = 42.1 SECONDS
```

Ilustración 52. Solver Nastran.

Una vez finalizada la simulación se procede a representar los resultados previamente configurados en la ventana de control de representación mostrada en la Ilustración 53, donde se elige el tipo de resultado a representar (Stress, Strain, Displacement, Security factor...) así como sus principales características (punto máximo y mínimo, rango de colores de representación...).

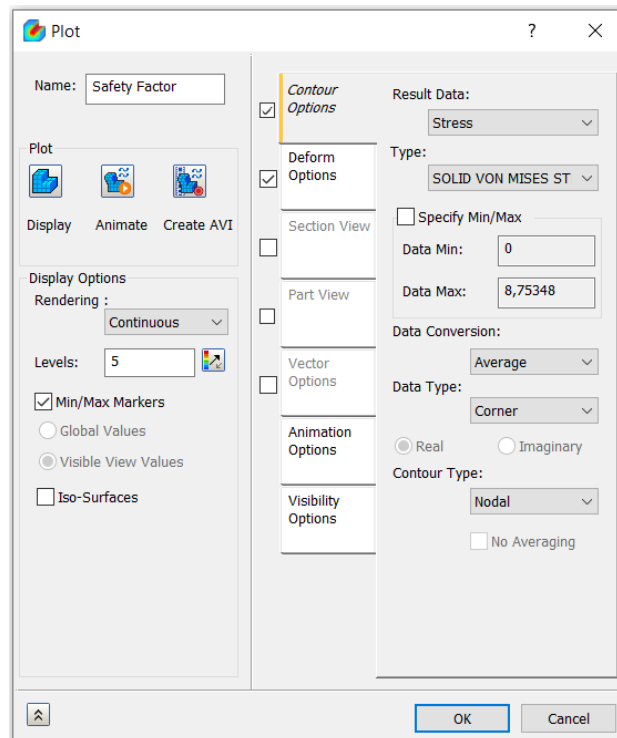


Ilustración 53. Ventana de representación de resultados.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. INGENIERÍA GRÁFICA: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA

Gracias a los planos del expediente [3] se obtendrá el modelo CAD 3D a partir del cual se obtendrá a su vez la documentación geométrica detallada de cada uno de los componentes (planos de detalle) y del ensamblaje completo (perspectiva axonométrica isométrica, perspectiva estallada y plano de conjunto) de las invenciones históricas analizadas, así como un análisis por elementos finitos o análisis CAE y una recreación virtual para mostrar el funcionamiento de las mismas.

A continuación, se realizará una descripción de cada componente y su papel en el funcionamiento de cada invención, apoyándose en el plano de conjunto ([Anexo: Planos](#)). En dicho plano a cada componente de cada invención le corresponde una marca numérica. También se puede acudir a la consulta de cualquier otro plano que se encuentre en el Anexo, en caso de, necesitar en cualquier momento obtener información más detallada.

##### 3.1.1. *Cabriolé doble*

La máquina se compone de un bastidor principal **(1)** de madera de roble con una geometría diseñada para soportar dos rodillos recogedores de cuerda **(5)** que sostienen la carga principal, así como para ensamblar los distintos timones de accionamiento tanto de desplazamiento horizontal **(10)** como vertical **(11)** posteriormente descritos en detalle. Este bastidor es simétrico ya que es de doble mecanismo de accionamiento, estando diseñado con listones de 100 mm de espesor y escuadras en el lateral de la estructura para reforzar la estabilidad vertical que podría estar comprometida cuando se producía un desplazamiento horizontal sustentando cargas pesadas. El bastidor principal se apoya en un bastidor secundario **(2)**, mediante dos ejes **(8)** ensamblados en el bastidor principal, y las correspondientes ruedas **(15)** de madera de roble, con la función de desplazarse en una dirección horizontal alternativa a la anteriormente descrita. En el perímetro del bastidor principal existe una baranda **(12)** de acero al carbono de 1 m de altura para aumentar la seguridad en el trabajo ya que la máquina trabaja a gran altura.

El desplazamiento horizontal accionado mediante el timón Z **(10)** consiste en un movimiento lineal horizontal usando la cuerda **(9)**, que está atada a dos postes simétricos **(21)** anclados al bastidor secundario y, dependiendo del sentido de giro del timón Z, se aproxima a un extremo del bastidor secundario u otro. Este sistema se ha diseñado para que el desplazamiento de la máquina sea posible aun cuando se transporta una gran carga.

El desplazamiento vertical accionado mediante los dos timones L **(11)** consiste en un movimiento lineal vertical que implica un sistema más complejo de funcionamiento con la finalidad de poder elevar cargas pesadas. El sistema consiste en un mecanismo de engranajes simples desmultiplicadores **(4)** de acero al carbono anclado a cada rodillo recogedor de cuerda y accionado mediante el timón L, de gran tamaño para generar un mayor momento de rotación con la fuerza humana. Los rodillos recogen la cuerda vertical **(17)** que acciona la polea principal K **(18)** y la polea vertical secundaria **(14)**, anclada al bastidor principal, formando un polipasto de poleas capaz de levantar mayor carga. Este sistema es la parte más compleja y difícil de diseñar de la máquina, ya que en el sistema de engranajes y las poleas es donde existe mayor magnitud y concentración de tensiones. Así pues, se ha tenido en cuenta este aspecto a la hora de elegir los materiales de las poleas y los engranajes que son de acero al carbono.

Como anteriormente se expuso, el bastidor principal descansa sobre el bastidor secundario que tiene la finalidad de desplazarse en una dirección horizontal alternativa. Este bastidor secundario presenta unas escuadras de refuerzo de madera de roble **(20)**, para hacer más compacto y estable el bastidor a la hora del desplazamiento, así como 4 ruedas laterales **(22)** que están en contacto con las paredes de la viga R **(3)**, con la función de que el bastidor permanezca encarrilado y permitir sólo el movimiento en una dirección. El bastidor secundario se apoya en la viga R mediante 4 ruedas A **(16)** de madera de roble de un ancho muy similar al de la viga R ya que no hay peligro de descarrilamiento gracias a las ruedas laterales.

El desplazamiento horizontal alternativo del bastidor secundario se acciona mediante las cuerdas **(6)**, las cuales usan las poleas de desplazamiento horizontal

(19) fijadas a la viga R. Estas cuerdas están atadas al soporte (13) para la sujeción de las mismas, situado en los extremos del bastidor secundario y existiendo dos unidades en cada lateral para un desplazamiento uniforme. Las dos vigas R de madera de roble que soportan toda la maquina están apoyadas sobre 4 columnas (7) de piedra común de una altura de 3 m.

### 3.1.1.1. Descripción del modelado tridimensional

#### 3.1.1.1.1. Bastidor principal

La pieza ha sido realizada en varias operaciones (Ilustración 54). Primero se realizó una extrusión en la planta para crear el suelo, previamente habiendo generado el croquis en 2D lo más completo posible para evitar posteriores operaciones de corte como las ranuras, de manera que se evitara que el timón L (11) interfiera con la base (Ilustración 55).



Ilustración 54. Bastidor principal.

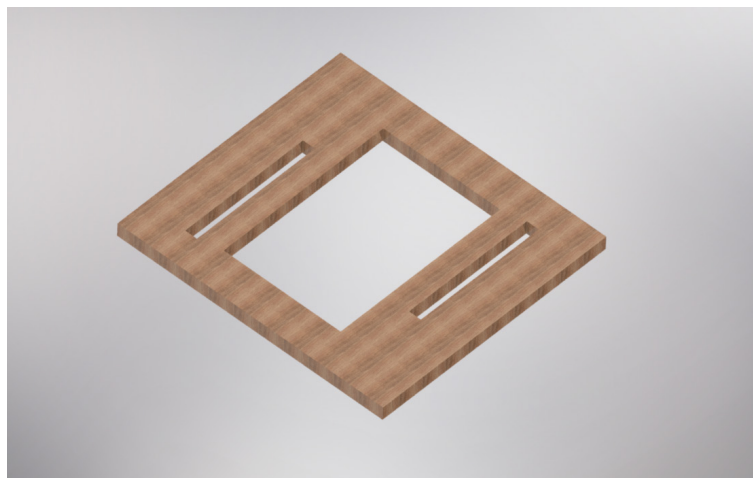


Ilustración 55. Base del bastidor principal.

A continuación, se diseñó la estructura vertical con refuerzos en forma de escuadra triangular realizando un croquis y extrusión para sólo uno de los cuatro elementos que forman la estructura vertical, realizando posteriormente operaciones de simetría respecto al plano medio para crear el resto de entidades (Ilustración 56).

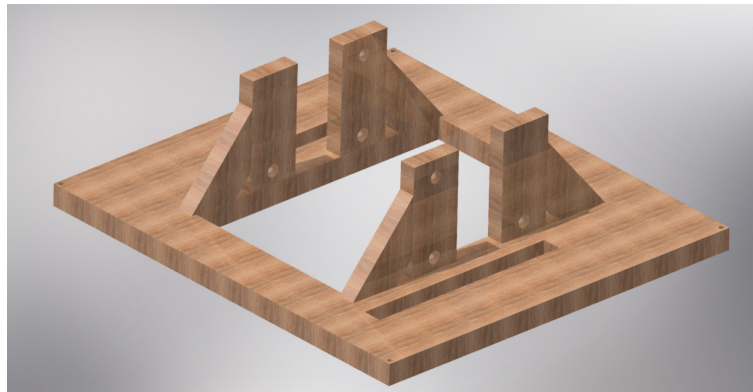


Ilustración 56. Estructura del bastidor principal.

Después, se procede a modelizar la tapa del bastidor principal que alberga al timón Z (10). Esta tapa es diseñada mediante una extrusión y un posterior corte del perfil para realizar la moldura en los bordes (Ilustración 57). Finalmente, se realizan las operaciones de taladrado para los orificios encargados de sostener a los rodillos recogedores de cuerda (5) y al timón Z (10).



Ilustración 57. Tapa del bastidor principal.

#### 3.1.1.1.2. Bastidor secundario

Para el modelado del bastidor secundario (Ilustración 58), se realiza en primer lugar una extrusión para crear las vigas en las que se apoyan las ruedas T (15). También se realizan unas pequeñas muescas con la función de encajar con las tablas laterales (Ilustración 59).



Ilustración 58. Bastidor secundario.



Ilustración 59. Viga del bastidor secundario.

A continuación, se modelan los soportes encargados de la sujeción de las ruedas A (16) (Ilustración 60).



Ilustración 60. Sujeción de las ruedas del bastidor secundario.

Finalmente, se diseñan las tablas laterales encargadas de albergar a los postes G (21) y a las ruedas correderas laterales (22), con muescas para encajar en las anteriormente mencionadas. Para su diseño se realiza una extrusión a un plano 2D con los redondeos en las esquinas incorporados (Ilustración 61). Todos los listones y tablas se modelan una solo vez y a partir de ellos se realizan simetrías respecto a planos medios.



Ilustración 61. Tablas laterales del bastidor secundario.

#### 3.1.1.1.3. *Viga de apoyo corredera R*

La viga de apoyo consiste en una simple extrusión de un croquis rectangular con una longitud de 6,767 m (Ilustración 62). Esta pieza está apoyada sobre las columnas de piedra (7) y a su vez, las ruedas A (16) se apoyan en la viga R.

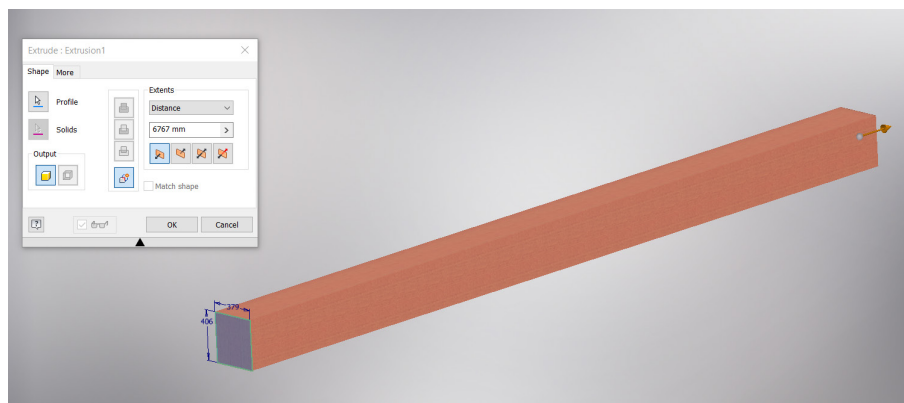


Ilustración 62. Viga R.

#### 3.1.1.1.4. *Engranaje de la polea vertical*

La pieza (Ilustración 63) ha sido diseñada mediante el comando “Design Power transmission” de Inventor Professional que proporciona la posibilidad de elegir el número de dientes de cada engranaje, así como su espesor. Para ello, se selecciona el área sobre la que se instala el sistema de engranajes y automáticamente se crea una relación de movimiento creada a partir del número de dientes (Ilustración 64). También se genera un contacto tangencial automático entre las caras de los dientes de cada engranaje, lo que es muy importante a la hora de la simulación para que no haya errores de contacto.

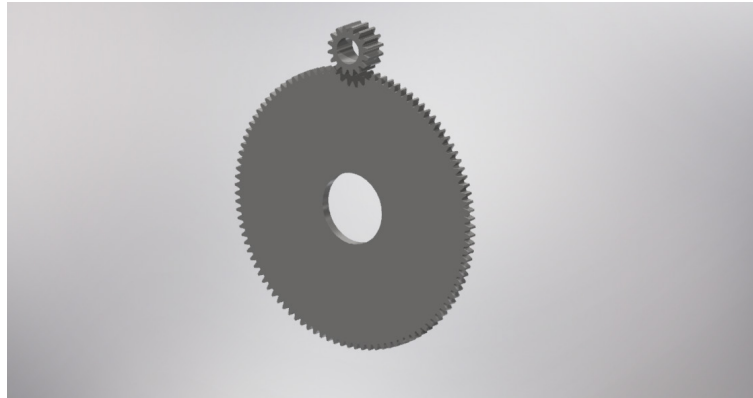


Ilustración 63. Sistema de engranajes.

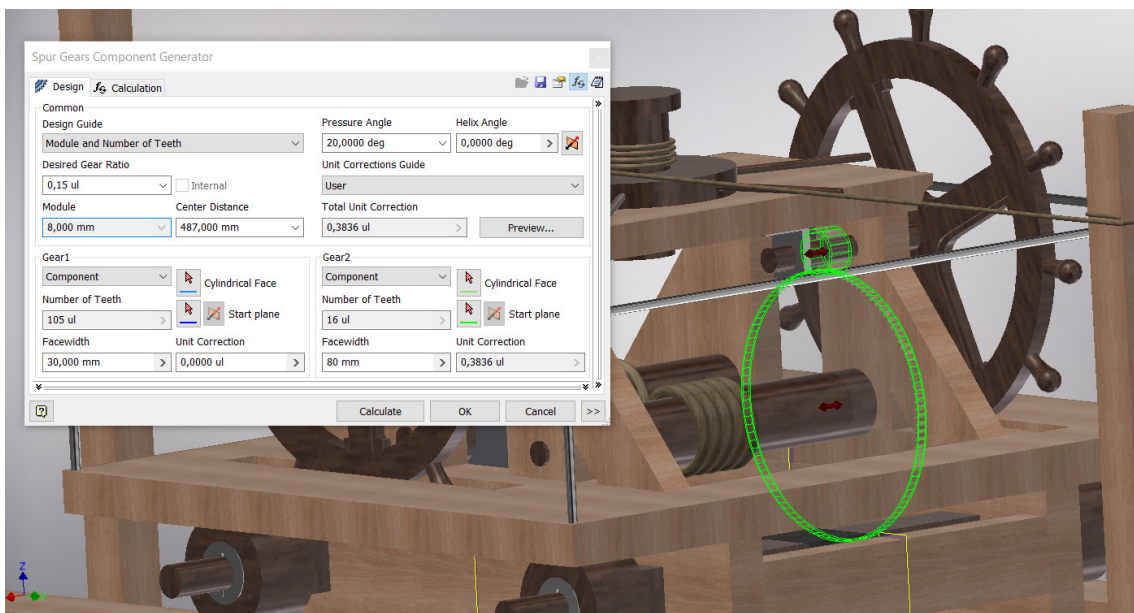
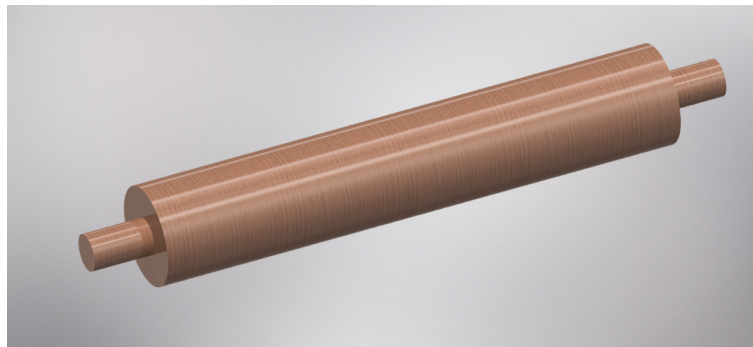


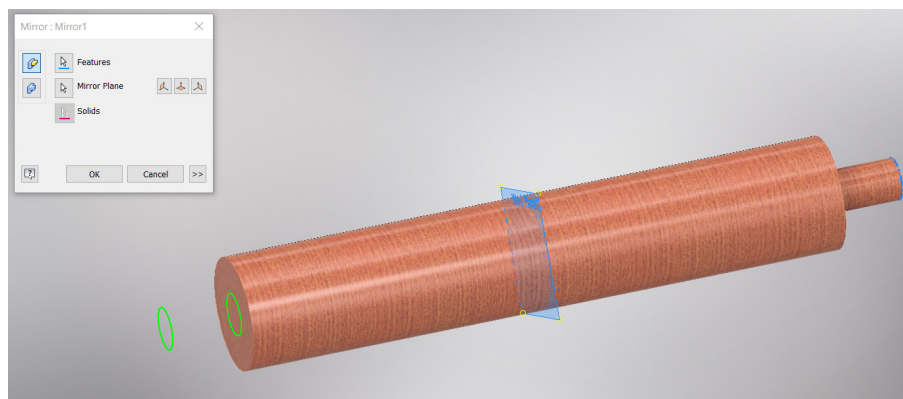
Ilustración 64. Comando de diseño rápido de engranajes.

### 3.1.1.1.5. Rodillo recogedor de cuerda

Para su modelado (Ilustración 65), se ha realizado una extrusión del cilindro principal y posteriormente se ha añadido una extrusión en una de las bases del cilindro mayor creando un cilindro de menor dimensión y duplicándolo por simetría en la cara opuesta (Ilustración 66). Este cilindro de menor tamaño es el que está en contacto con el bastidor principal (1) girando sobre él. Sobre el cilindro de mayor tamaño se enrolla la cuerda de desplazamiento vertical (17) cuando se produce un giro del rodillo.



**Ilustración 65. Rodillo recogedor de cuerda.**



**Ilustración 66. Simetría en la extrusión del rodillo.**

#### **3.1.1.1.6. *Cuerda de desplazamiento del bastidor secundario***

El modelado de la cuerda de desplazamiento del bastidor secundario (Ilustración 67) es uno de los modelados más difíciles de la invención ya que se ha necesitado crear un modelado paramétrico que varía ciertas dimensiones dependiendo de la posición relativa del bastidor secundario. El modelado comienza creando un croquis 3D ya que la cuerda no se encuentra en un solo plano. Este croquis 3D se dimensiona paramétricamente, quedando ciertas dimensiones en función de posiciones relativas respecto al bastidor secundario.

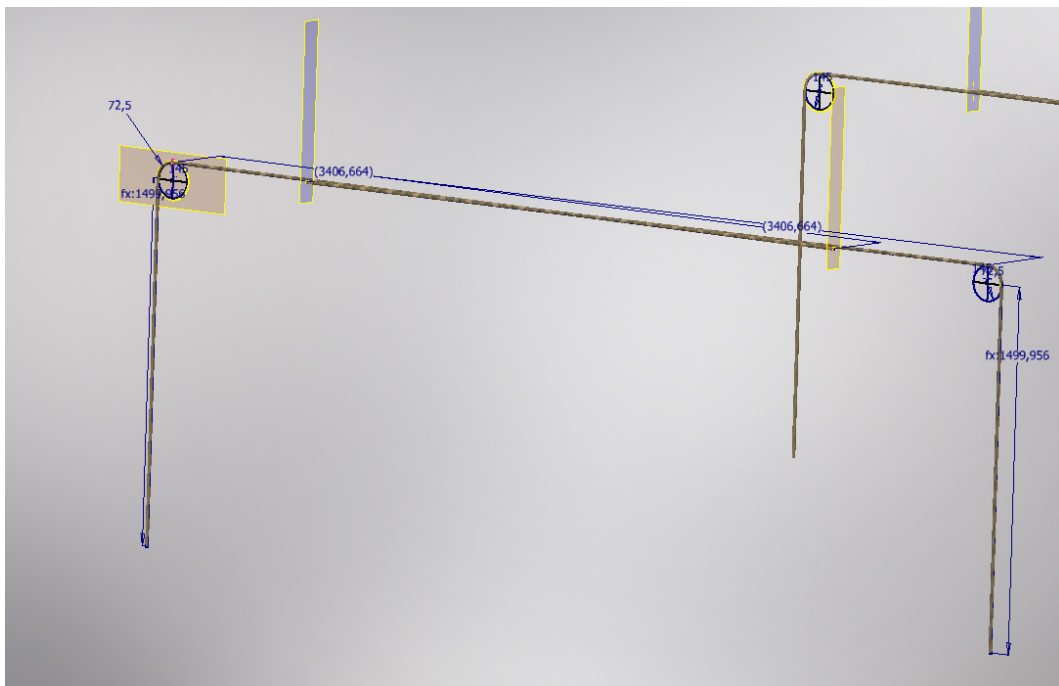


Ilustración 67. Cuerda de desplazamiento del bastidor secundario.

Finalmente, se realiza un “sweep” (barrido) de una sección circular utilizando el croquis 3D como “path” (línea guía) (Ilustración 68).

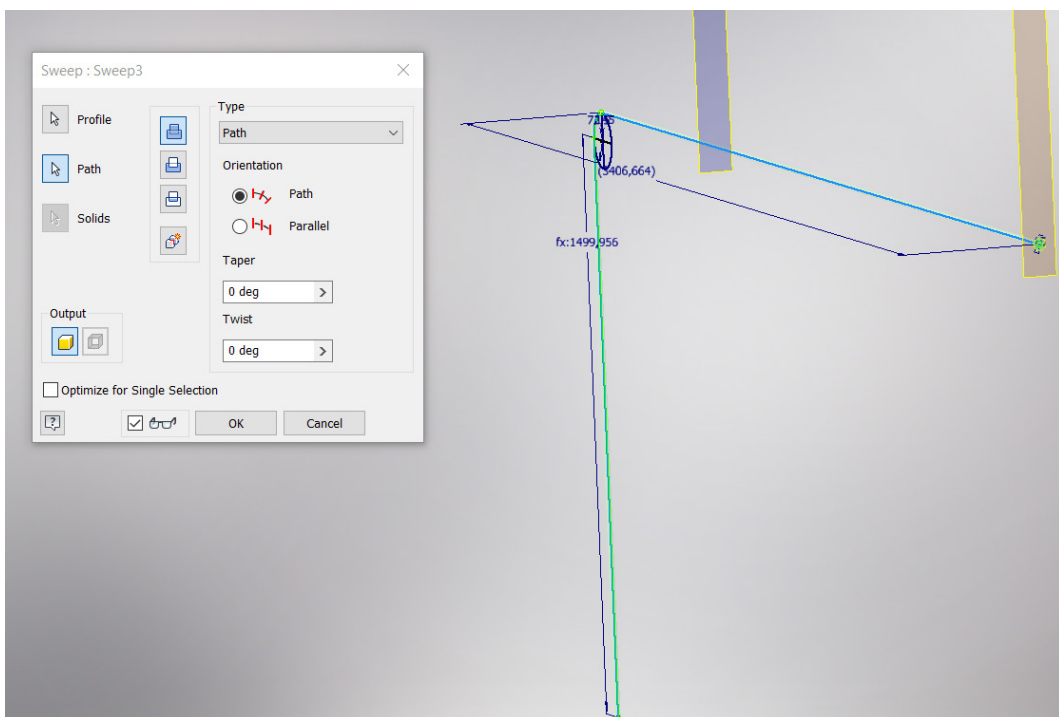


Ilustración 68. Croquis 3D de la cuerda y sweep.

La parte curvada de la cuerda está siempre en contacto con la polea de desplazamiento horizontal **(19)** (Ilustración 69).

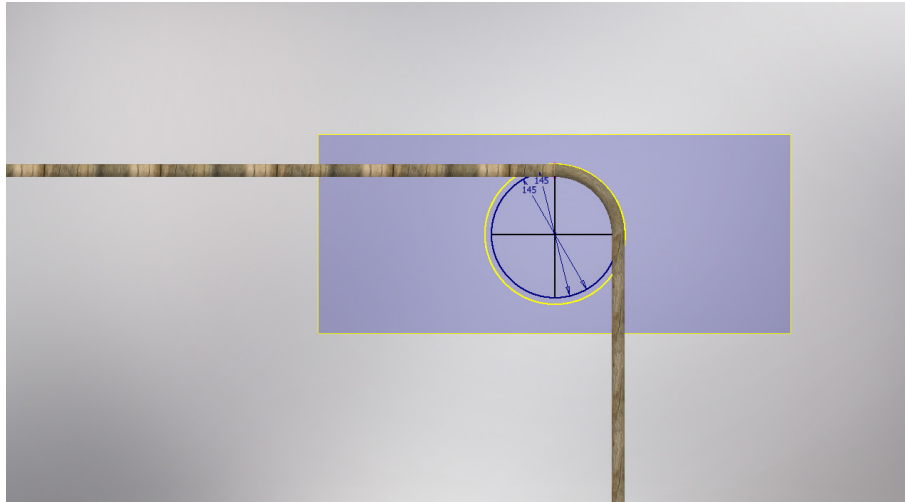


Ilustración 69. Posición de la cuerda en la polea.

#### 3.1.1.1.7. Columna de apoyo de la viga R

La pieza (Ilustración 70) se ha creado realizando tres extrusiones en forma de cuadrado. Sobre la base superior se apoya la viga R **(3)** y la base inferior está en contacto con el suelo donde se ancla la invención.

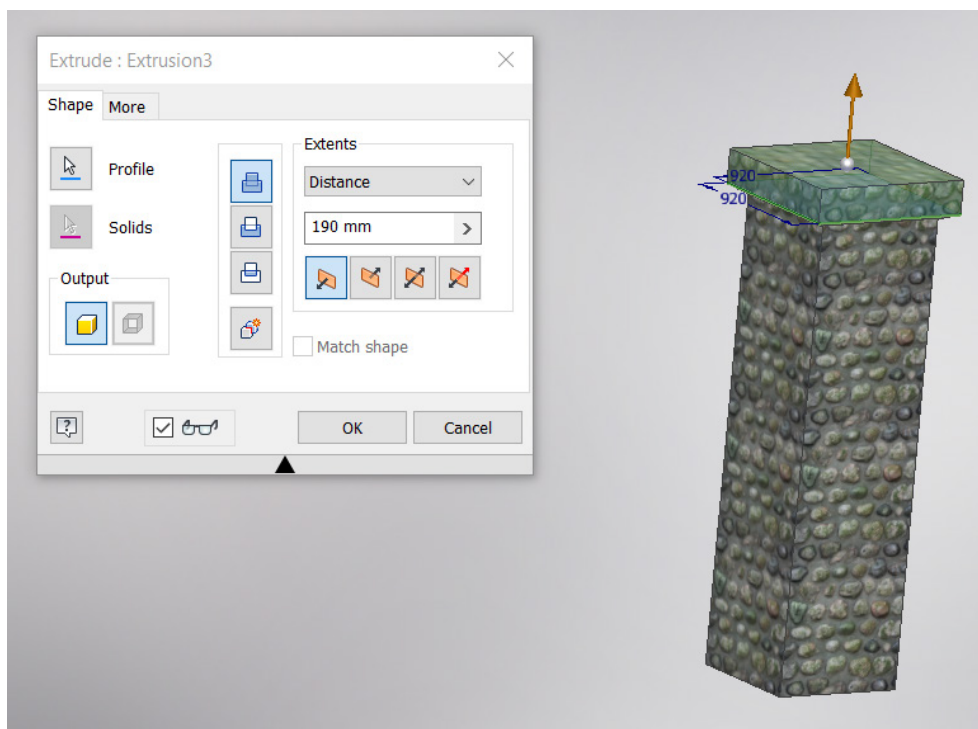


Ilustración 70. Columna de apoyo de la viga R.

### 3.1.1.1.8. Eje de ruedas del bastidor principal

El eje de ruedas del bastidor principal (Ilustración 71) se ha creado extruyendo un croquis en forma de cuadrado y posteriormente en una de sus bases se ha realizado una extrusión en forma de cilindro, realizando a continuación una simetría de este cilindro para crear otro en la base opuesta (Ilustración 72). La parte de forma cilíndrica es el eje de cada rueda T **(15)** y la parte rectangular está en contacto con el bastidor principal **(1)**.

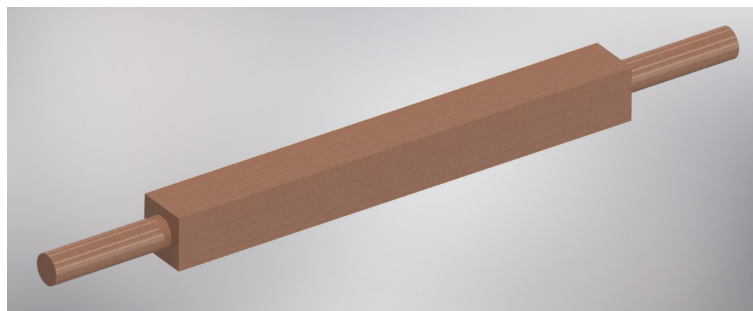


Ilustración 71. Eje de ruedas del bastidor principal.

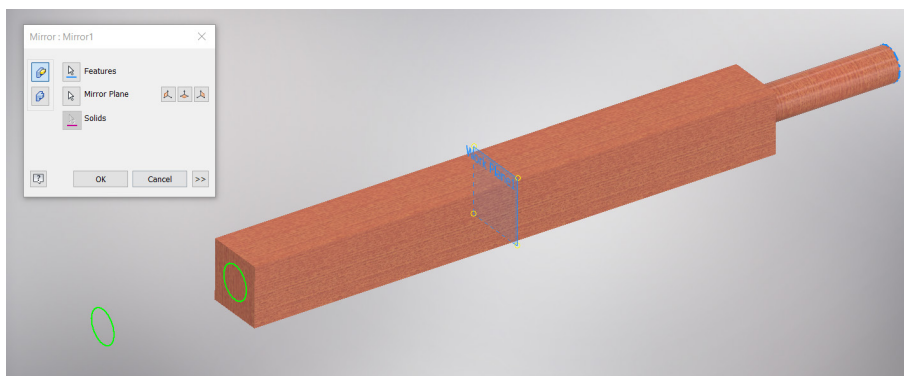


Ilustración 72. Simetría realizada en el eje de ruedas del bastidor principal.

### 3.1.1.1.9. Cuerda de desplazamiento del bastidor principal

El modelado de la cuerda de desplazamiento del bastidor principal (Ilustración 73) comienza diseñando un croquis 3D, creando una espiral y posteriormente líneas de conexión atadas a los postes G **(21)** (Ilustración 74). Utilizando también modelado paramétrico, se establecen las medidas variando su dimensión y dependiendo de la posición relativa del bastidor principal. Finalmente, con la operación “sweep” (barrido) se crea el volumen de la cuerda utilizando un círculo como sección y el croquis 3D como “path” (línea guía). La parte de la espiral está en contacto con el timón Z **(10)** y la parte de los extremos de la cuerda permanece atada a los postes G **(21)**.

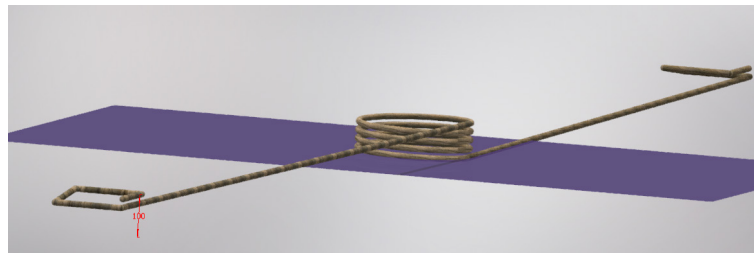


Ilustración 73. Cuerda de desplazamiento del bastidor principal.

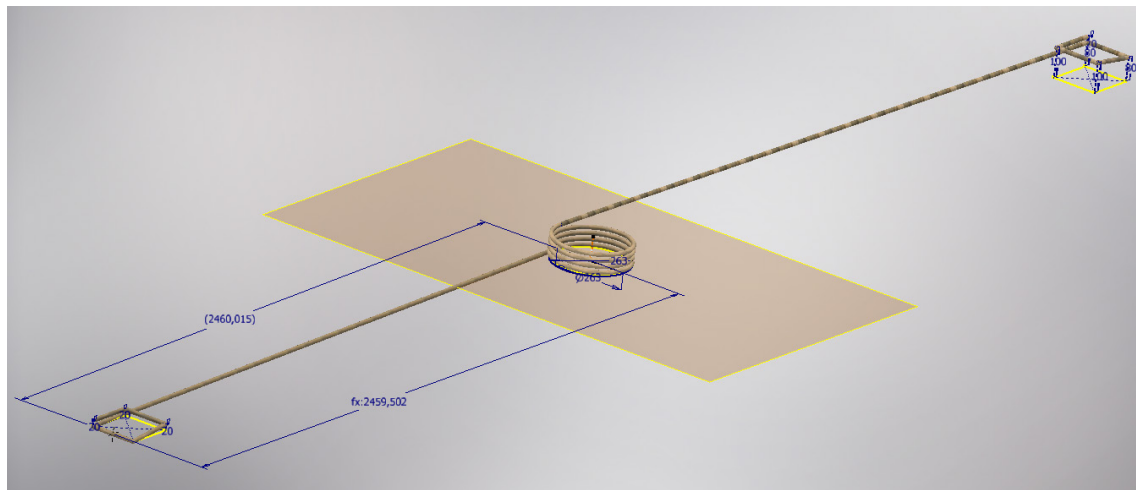


Ilustración 74. Croquis 3D de la cuerda de desplazamiento del bastidor principal.

### 3.1.1.1.10. Timón Z

El timón Z (Ilustración 75) se ha modelado mediante tres extrusiones cilíndricas de diferentes tamaños. En el cilindro de tamaño medio se enrolla la cuerda (9) y la base del timón se encuentra insertada en la tapa del bastidor principal (1).

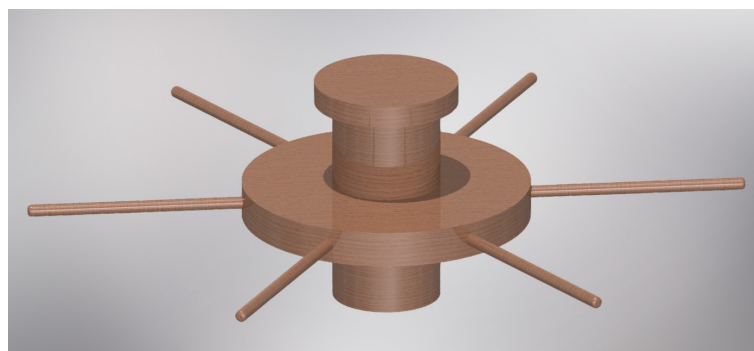


Ilustración 75. Timón Z.

Las palancas posicionadas de forma radial son utilizadas para hacer girar el timón mediante tracción humana, y así desplazar el bastidor principal. Estas palancas

han sido creadas mediante un patrón circular después de haber extruido una de ellas (Ilustración 76).

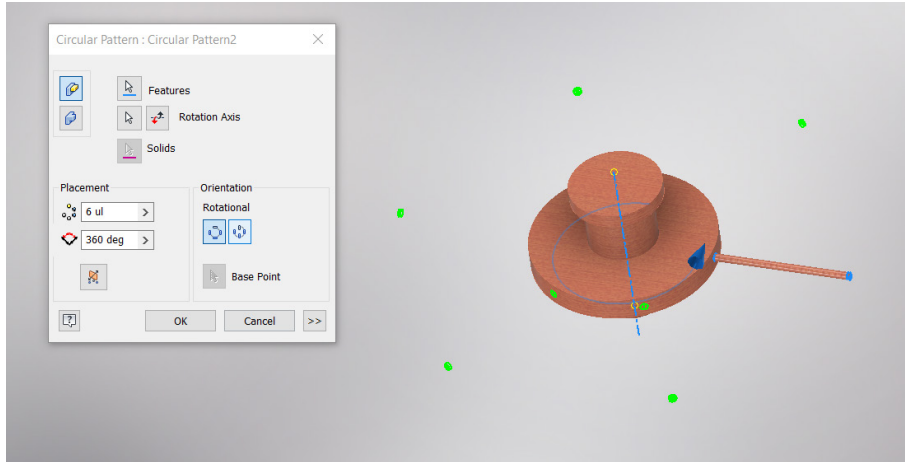


Ilustración 76. Patrón circular del timón Z.

### 3.1.1.1.11. Timón L

Esta pieza se ha diseñado mediante la extrusión de un croquis 2D elaborado, con un posterior recorte para las molduras de los bordes (Ilustraciones 77 y 78).

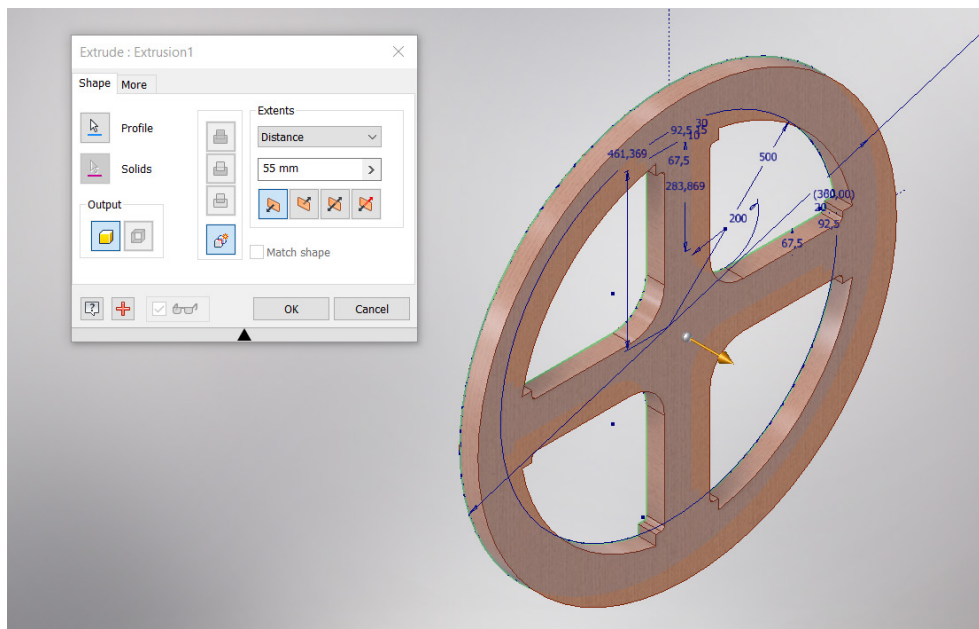


Ilustración 77. Extrusión del croquis 2D del timón L.

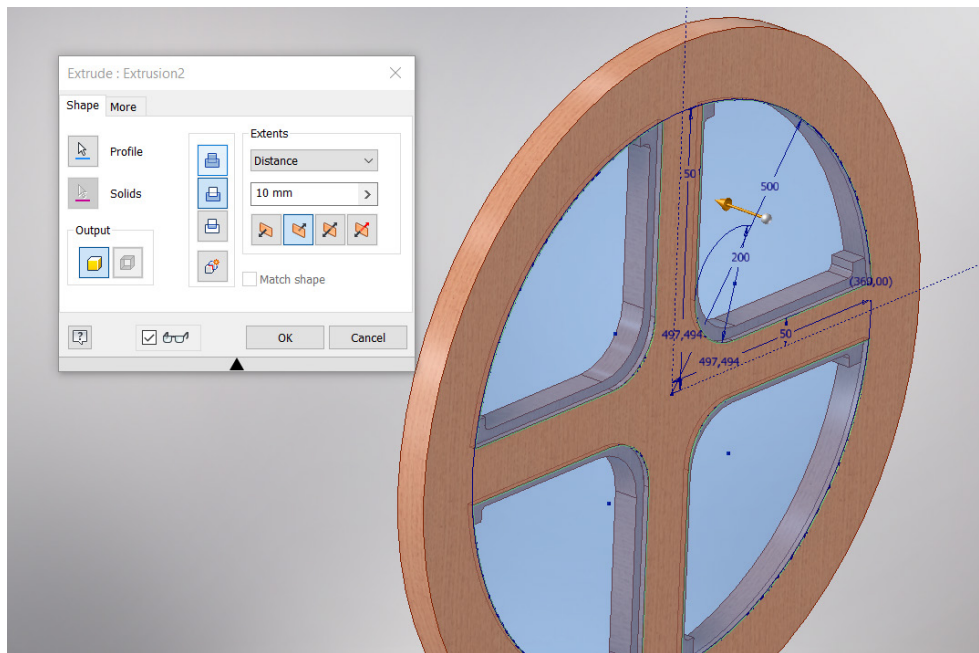


Ilustración 78. Recorte de molduras del timón L.

A continuación, mediante el comando “Revolution”, se crea un sólido haciendo girar un perfil creado alrededor de su eje, y posteriormente, mediante el patrón circular se crean el resto de pomos (Ilustración 79).

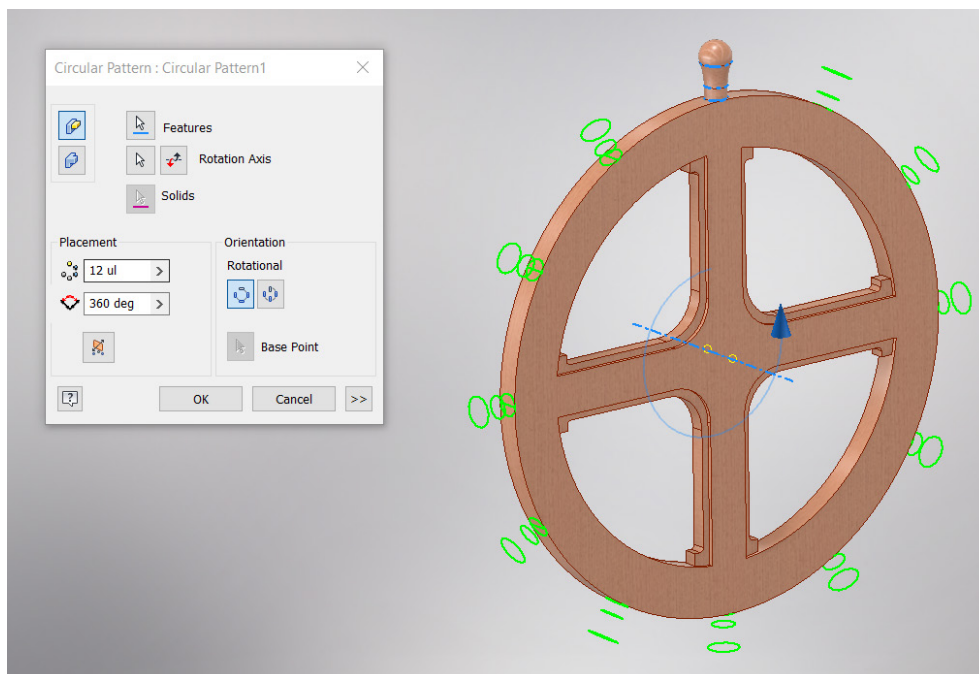


Ilustración 79. Patrón circular del timón L

Finamente, se realiza un vaciado en forma de cuadrado en el centro del timón L (Ilustración 80), que estará en contacto con el eje del engranaje.

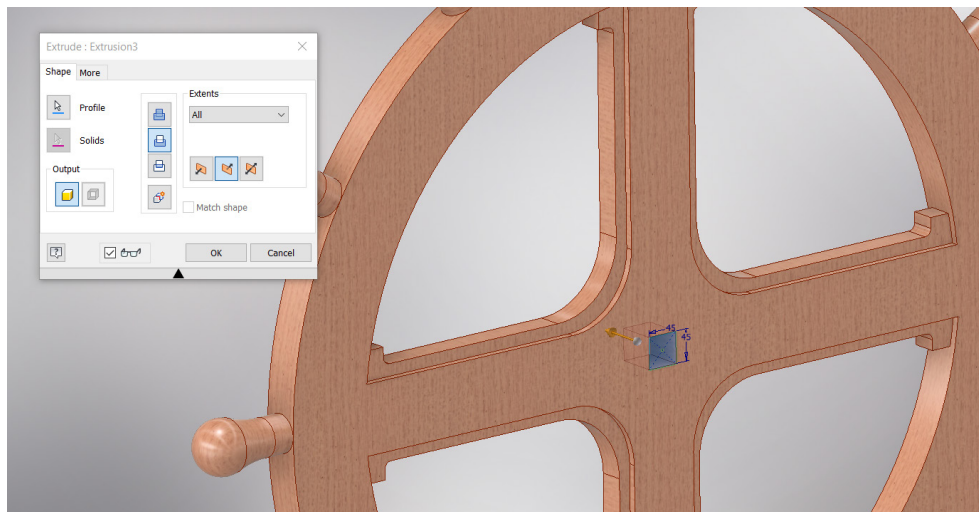


Ilustración 80. Extrusión del eje del timón L.

#### 3.1.1.1.12. Baranda

La baranda (Ilustración 81) se ha modelado mediante extrusiones cilíndricas del mismo diámetro redondeando los extremos para un mejor acabado. El final de cada barra vertical está insertado en el bastidor principal (1).



Ilustración 81. Baranda.

#### 3.1.1.1.13. Sujeción de cuerda de desplazamiento del bastidor secundario

Dicha pieza (Ilustración 82) ha sido creada mediante la extrusión de un croquis 2D rectangular (Ilustración 83).



Ilustración 82. Soporte de sujeción de la cuerda.

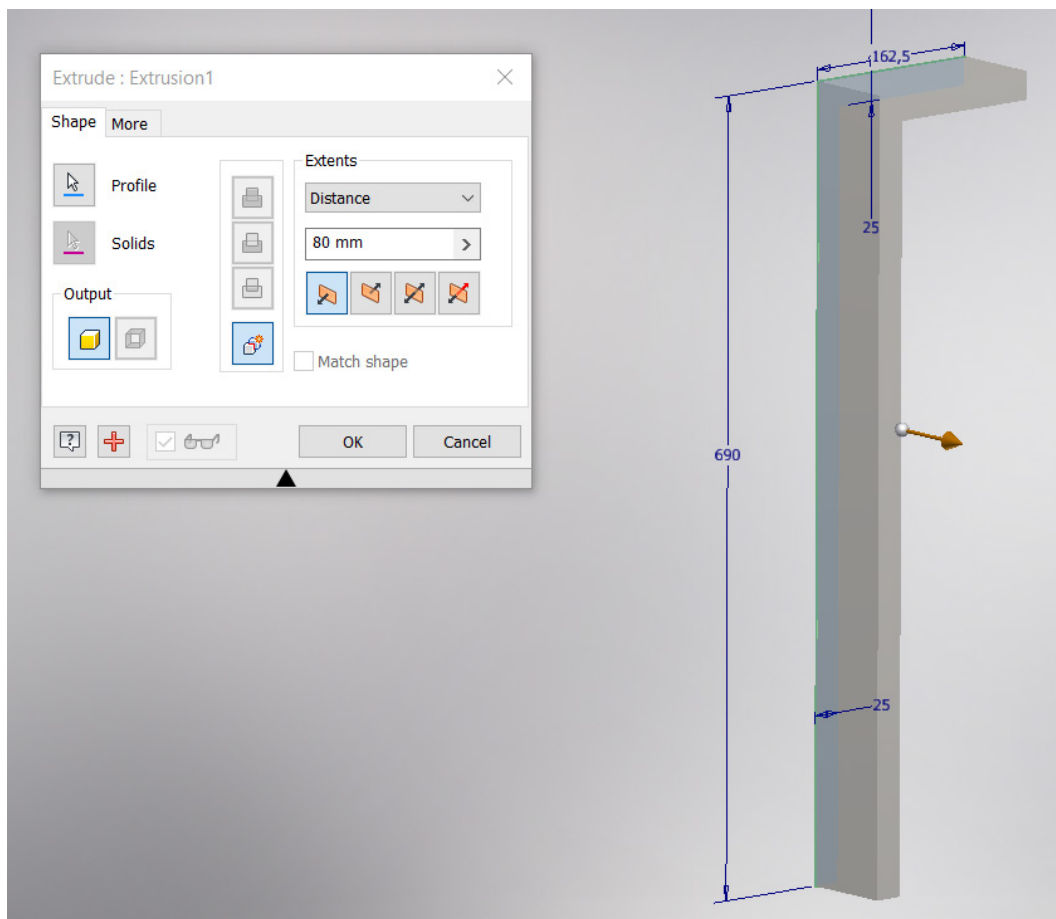


Ilustración 83. Extrusión croquis 2D de la cuerda de desplazamiento.

A continuación, se ha realizado un taladrado para los agujeros (Ilustración 84).

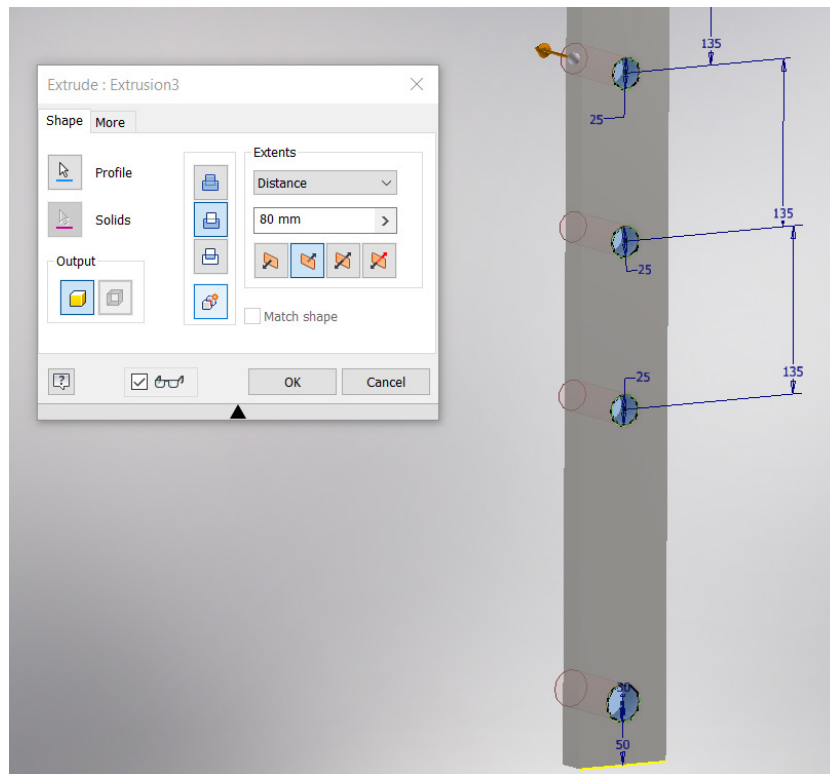


Ilustración 84. Taladrado del soporte.

Finalmente, se han redondeado las aristas exteriores y el extremo final del sólido (Ilustración 85).

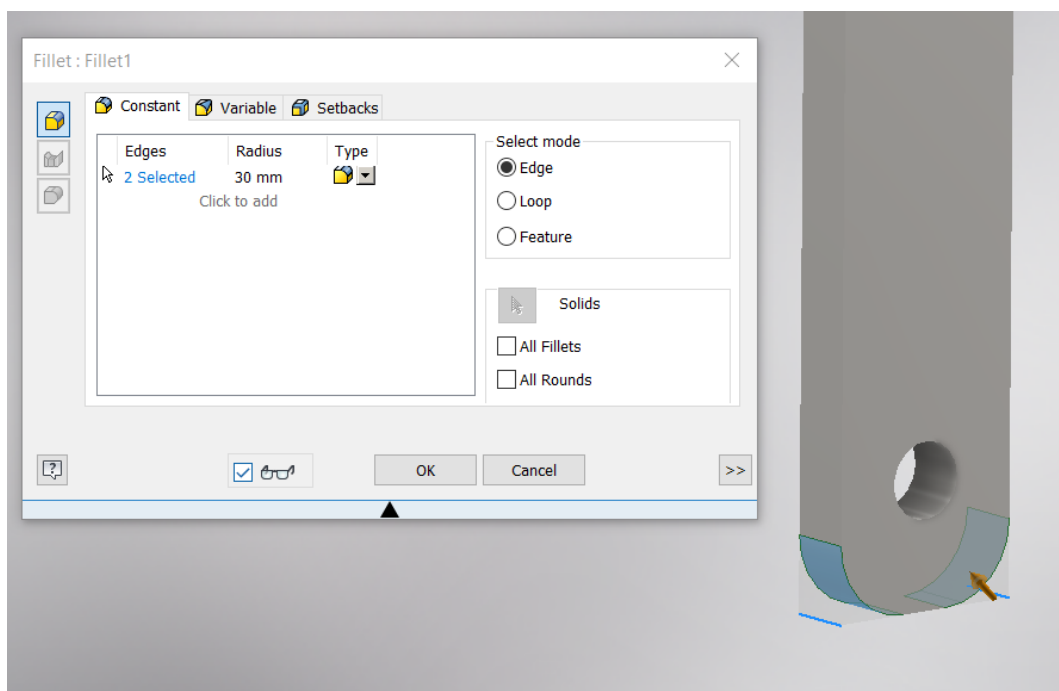


Ilustración 85. Redondeo de los extremos del soporte.

### 3.1.1.1.14. Polea vertical secundario

Esta pieza (Ilustración 86) se ha modelado creando un sólido por revolución en forma de surco, para posteriormente taladrar un agujero en su centro.

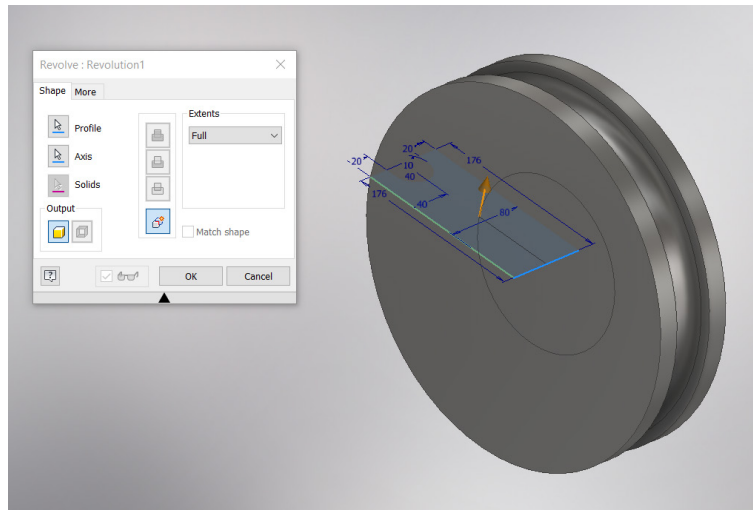


Ilustración 86. Sólido de revolución para la polea.

A continuación, se extruye el croquis lateral para crear una tapa y se duplica mediante simetría (Ilustración 87).

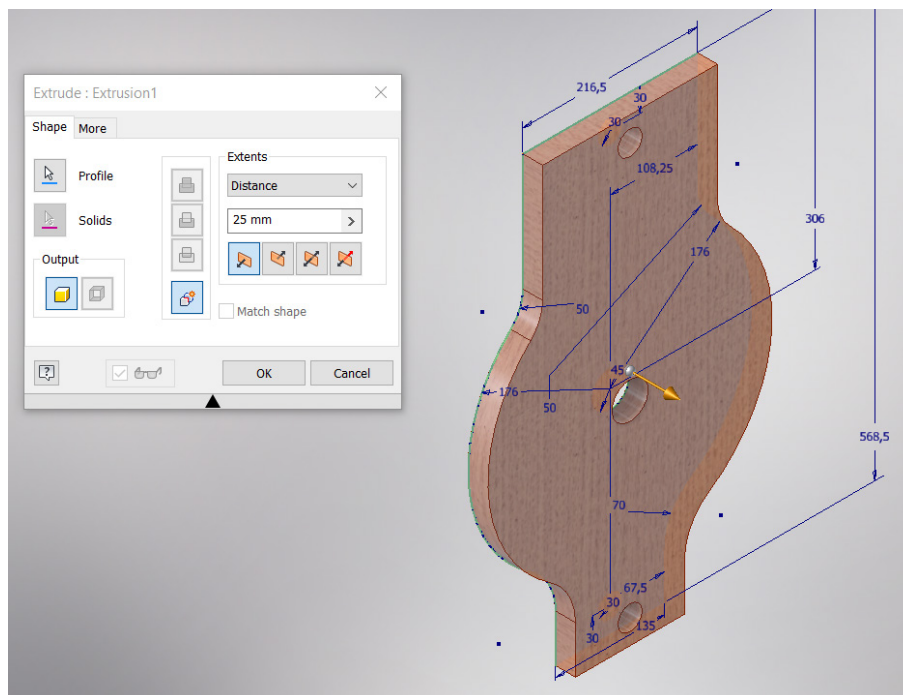


Ilustración 87. Tapa de la polea.

Finalmente, se procede a extruir la envoltura y los ejes para obtener el modelo completo de la polea (Ilustración 88).



Ilustración 88. Polea completa.

#### 3.1.1.1.15. Rueda T

La rueda T (Ilustración 89) se ha modelado mediante la extrusión de un croquis circular. El interior de la rueda T está en contacto con el eje **(8)** y el exterior con el bastidor secundario **(2)**.

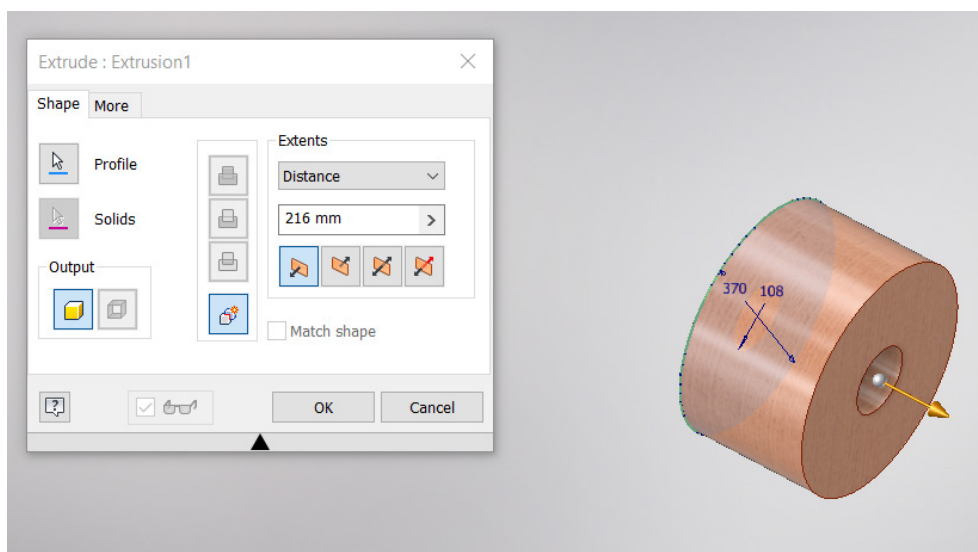


Ilustración 89. Rueda T.

### 3.1.1.1.16. Rueda A

La rueda A (Ilustración 90) se ha creado extruyendo un croquis en 2D constituido por el área de una corona circular. La rueda A está en contacto con la viga R **(3)**.

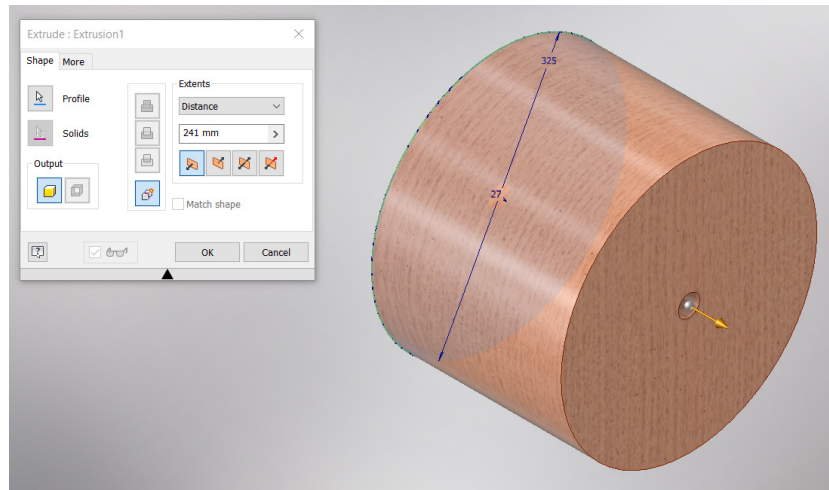


Ilustración 90. Rueda A.

### 3.1.1.1.17. Cuerda de desplazamiento vertical

La pieza (Ilustración 91) es la más compleja de toda la invención, ya que se necesita variar la longitud de la cuerda conforme giran los timones de elevación. Este problema se ha conseguido solucionar usando modelado paramétrico y programación iLogic.

En primer lugar, se crea un croquis 2D proyectando la geometría de referencia de los rodillos recogedores de cuerda **(5)** (Ilustración 92), después un croquis 3D (Ilustración 93) donde se modela una curva helicoidal usando el parámetro “REV” como número de vueltas. Este parámetro es el que posteriormente se variará a la hora de enrollar la cuerda.



Ilustración 91. Cuerda de desplazamiento vertical.

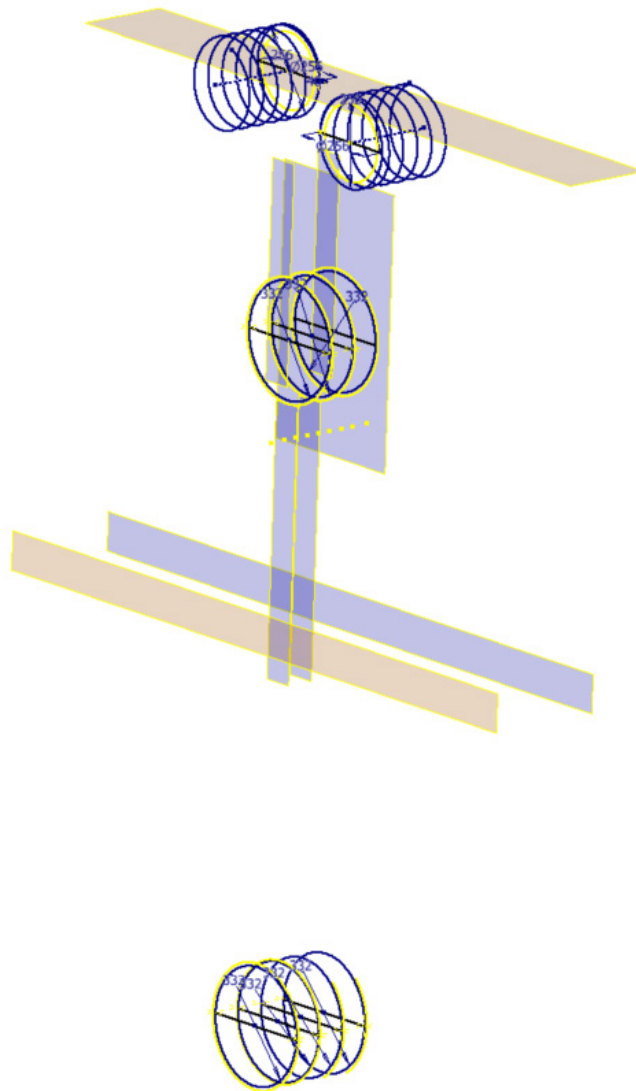


Ilustración 92. Proyección de geometrías.

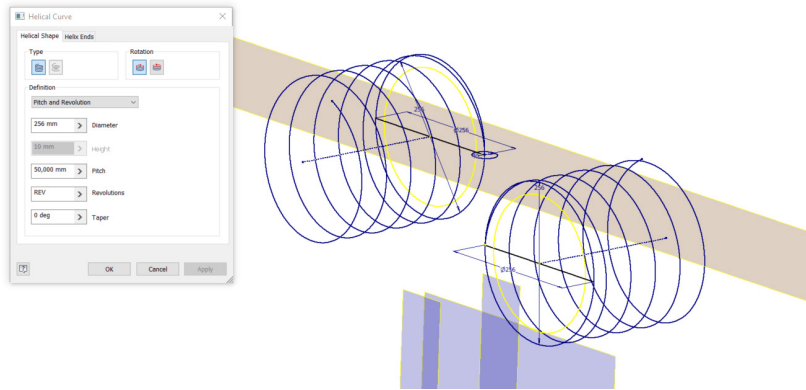


Ilustración 93. Croquis 3D helicoidal.

Seguidamente se proyecta la geometría de las poleas (14) y (18) utilizando diferentes planos paralelos. A continuación, usando un croquis 3D se unen las curvas helicoidales con la geometría proyectada anteriormente y se crea una línea continua (Ilustración 94).

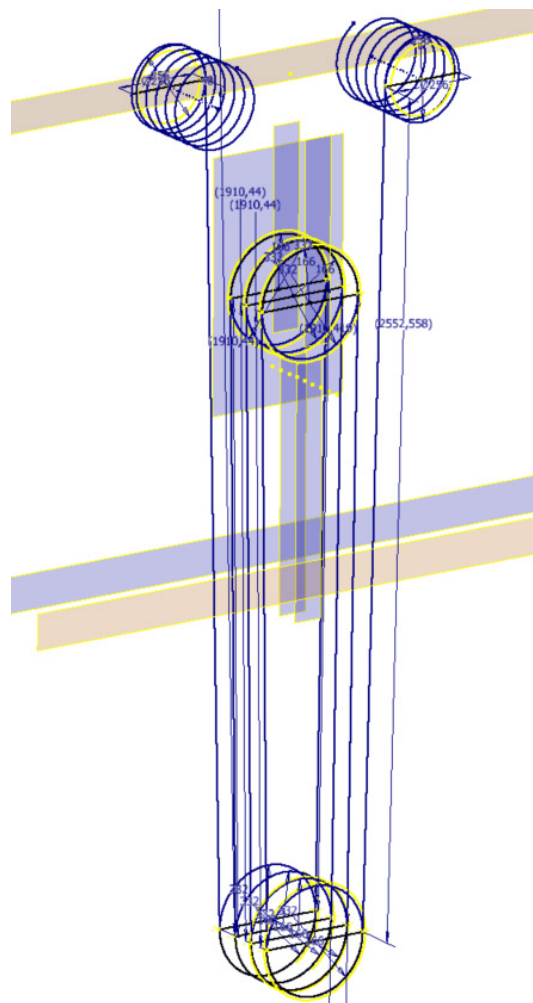


Ilustración 94. Croquis 3D final de la cuerda.

Finalmente, utilizando el comando “Sweep” se crea un sólido usando la línea continua mencionada con anterioridad como “Path” (Ilustración 95).

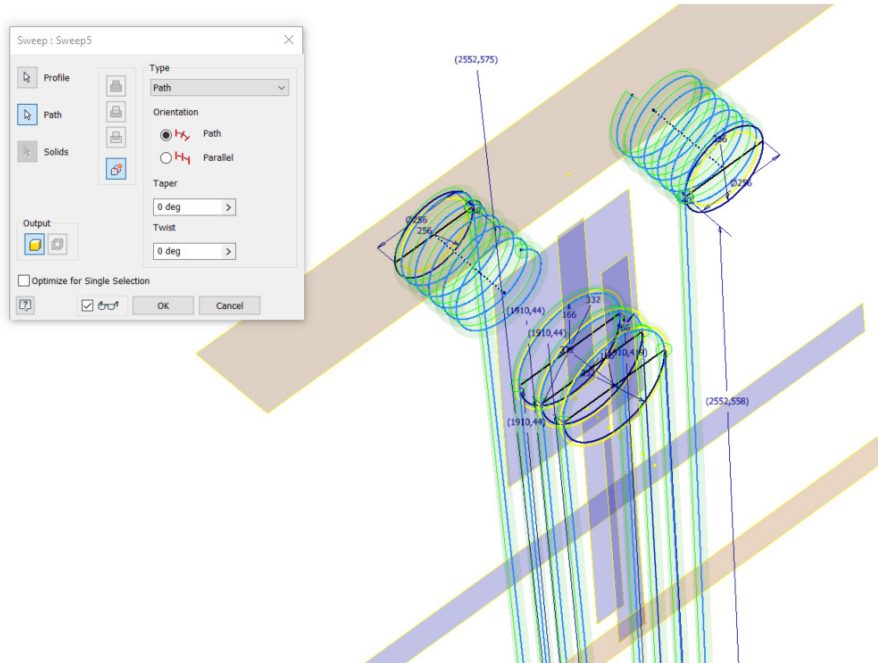


Ilustración 95. Sweep del croquis 3D.

### 3.1.1.1.18. Polea vertical principal K

Esta pieza (Ilustración 96) se ha modelado creando un sólido por revolución en forma de surco, para posteriormente taladrar un agujero en su centro.

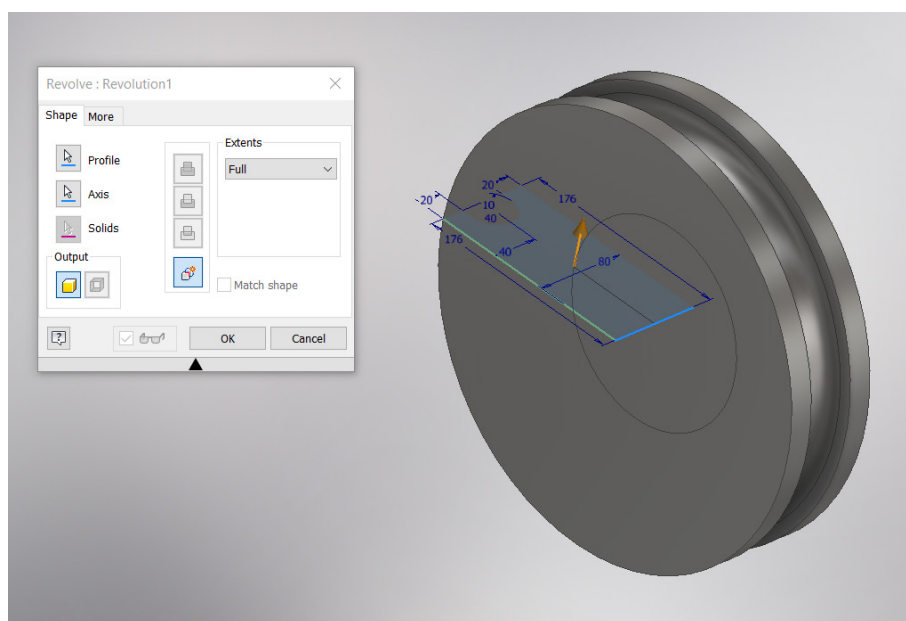


Ilustración 96. Sólido de revolución

A continuación, se extruye el croquis lateral para crear una tapa y se duplica mediante simetría (Ilustración 97).

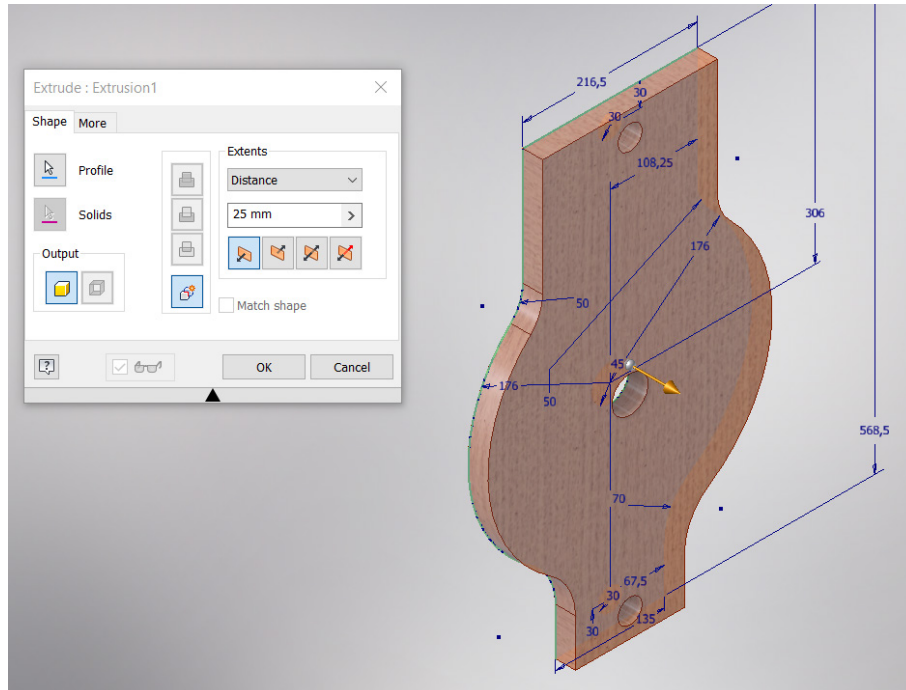


Ilustración 97. Tapa de la polea vertical principal K.

Finalmente, se procede a extruir la envoltura y los ejes (Ilustración 98).

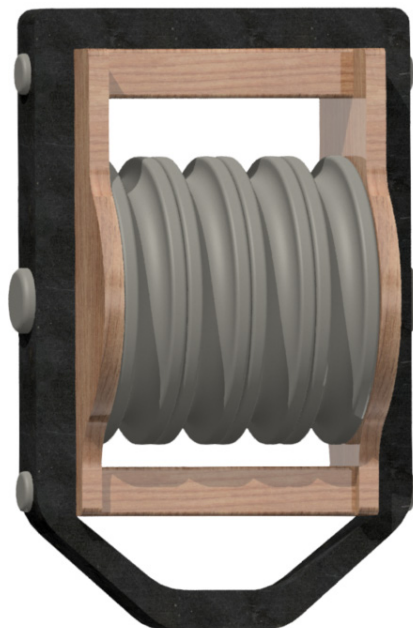


Ilustración 98. Polea principal K.

### 3.1.1.1.19. Polea de desplazamiento horizontal

La pieza (Ilustración 99) se comienza a modelar realizando una revolución del croquis 2D sobre su eje (Ilustración 100).



Ilustración 99. Polea de desplazamiento horizontal.

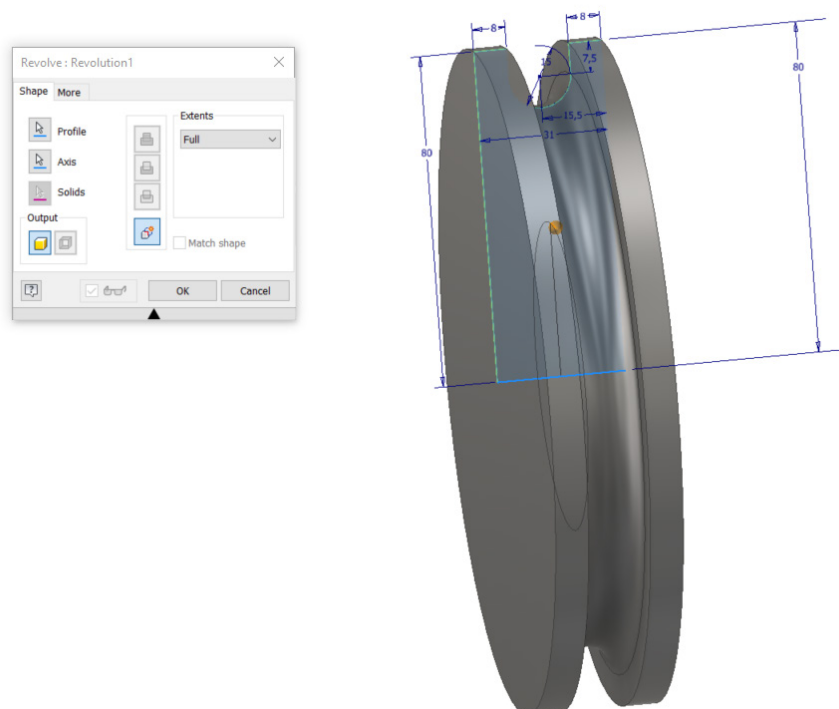
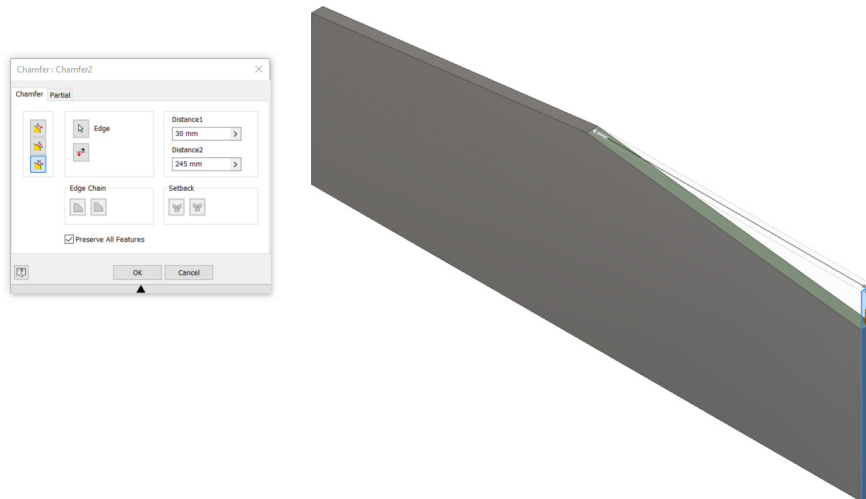


Ilustración 100. Sólido de revolución.

Posteriormente, se extruyen los laterales y se realizan cuatro operaciones de chaflán con la herramienta “Chamfer” (Ilustración 101), para crear una inclinación en los cantos de la pieza y ser lo más fiel posible al diseño original.

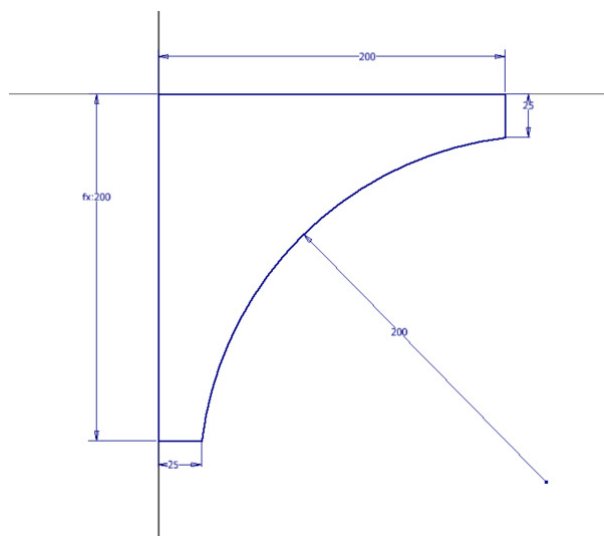


**Ilustración 101. Chafán lateral.**

Por último, se realiza una extrusión de corte para los agujeros de la polea y la sujeción.

### 3.1.1.1.20. Escuadra del bastidor secundario

Para modelar esta pieza, primero se crea un croquis 2D con la forma deseada para la escuadra (Ilustración 102).



**Ilustración 102. Croquis 2D de la escuadra.**

Seguidamente, se extruye el croquis anterior y se crea un sólido con la forma final de la escuadra (Ilustración 103).

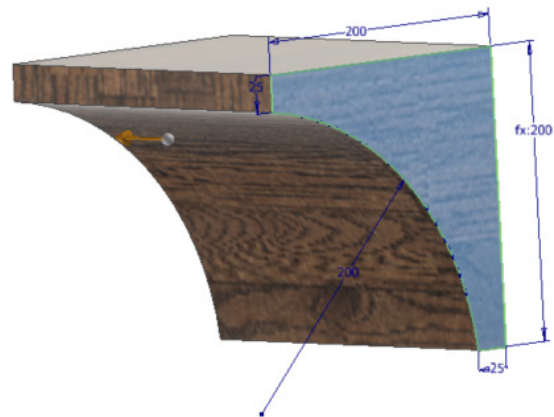
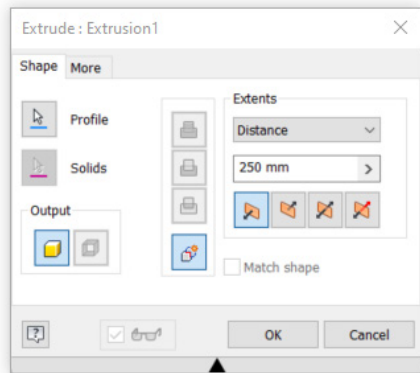


Ilustración 103. Extrusión de croquis 2D.

Finalmente, mediante una operación de corte se realiza un agujero para la sujeción y posteriormente, se duplica con el comando simetría respecto del plano medio (Ilustración 104).

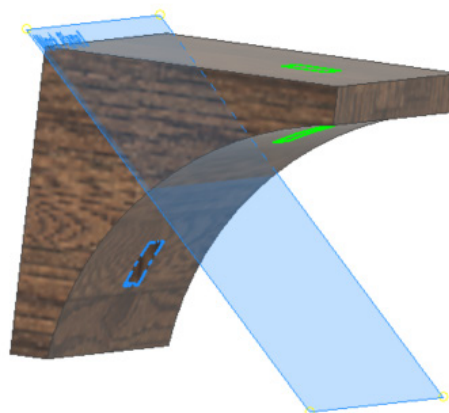
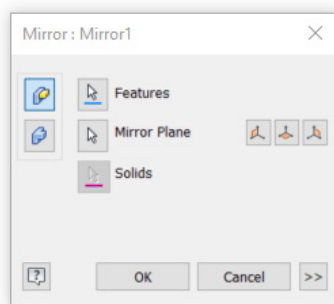


Ilustración 104. Simetría de la operación de corte.

### 3.1.1.1.21. Poste G

El poste G se modela realizando una extrusión principal a partir de un croquis de sección cuadrada (Ilustración 105), a la que se le añaden más extrusiones a partir de croquis más complejos.

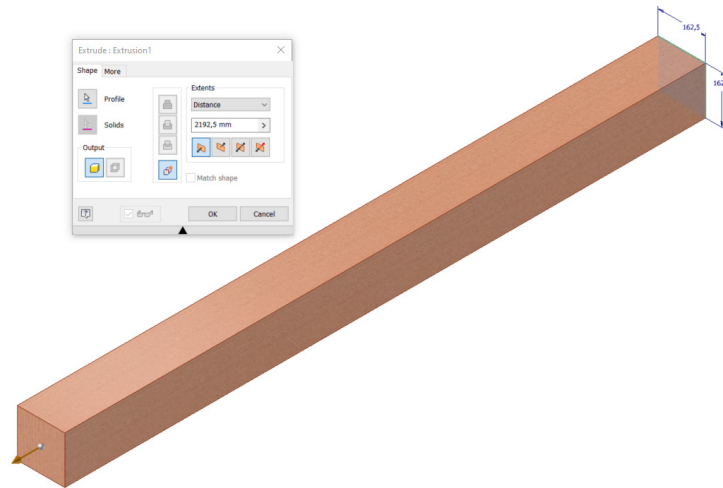


Ilustración 105. Extrusión de croquis 2D de sección cuadrada.

Se realiza una extrusión de corte para el acoplamiento del poste G con el bastidor secundario (2) (Ilustración 106).

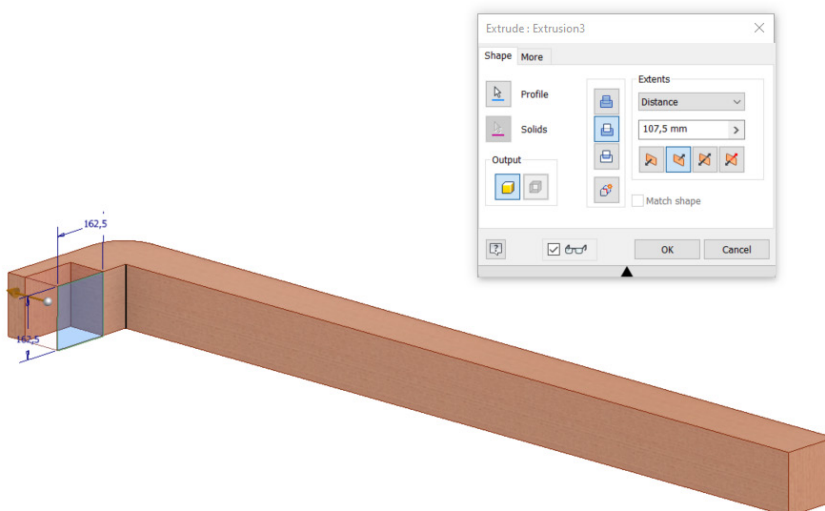


Ilustración 106. Extrusión de corte.

Por último, se procede a utilizar la operación “Fillet” (Ilustración 107), para realizar un redondeo en la arista exterior de la parte en forma de escuadra.

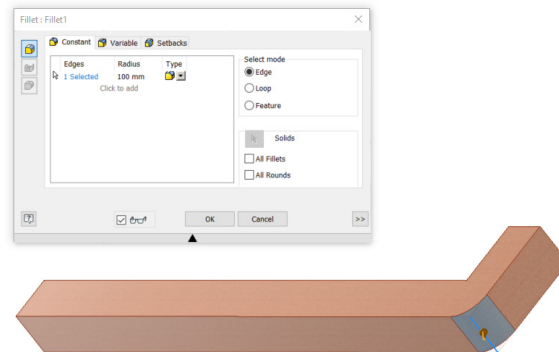


Ilustración 107. Redondeo del poste G.

### 3.1.1.1.22. Rueda corredera lateral del bastidor secundario

La rueda corredera lateral del bastidor secundario se creó extruyendo un croquis en 2D constituido por el área de una corona circular (Ilustración 108). La rueda corredera lateral está en contacto con el lateral de la viga R **(3)** y anclada al bastidor secundario **(2)**.

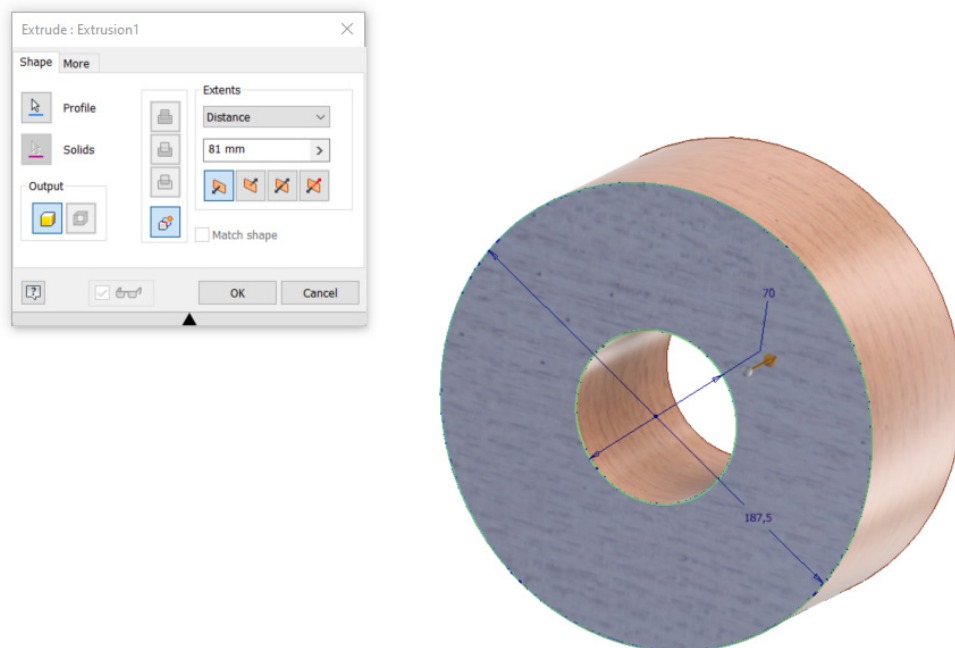


Ilustración 108. Rueda corredera lateral del bastidor secundario.

### 3.1.1.2. Descripción del ensamblaje

La invención se ha ensamblado a partir de los componentes previamente modelados. A continuación, se explica el proceso de ensamblaje del conjunto.

El ensamblaje comienza con una restricción de planos entre el bastidor principal **(1)** y el resto de eje anclados a él (Ilustración 109). Estas restricciones son de tipo “Mate” e “Insert”, dependiendo de si se restringe una cara plana o un cilindro, respectivamente.

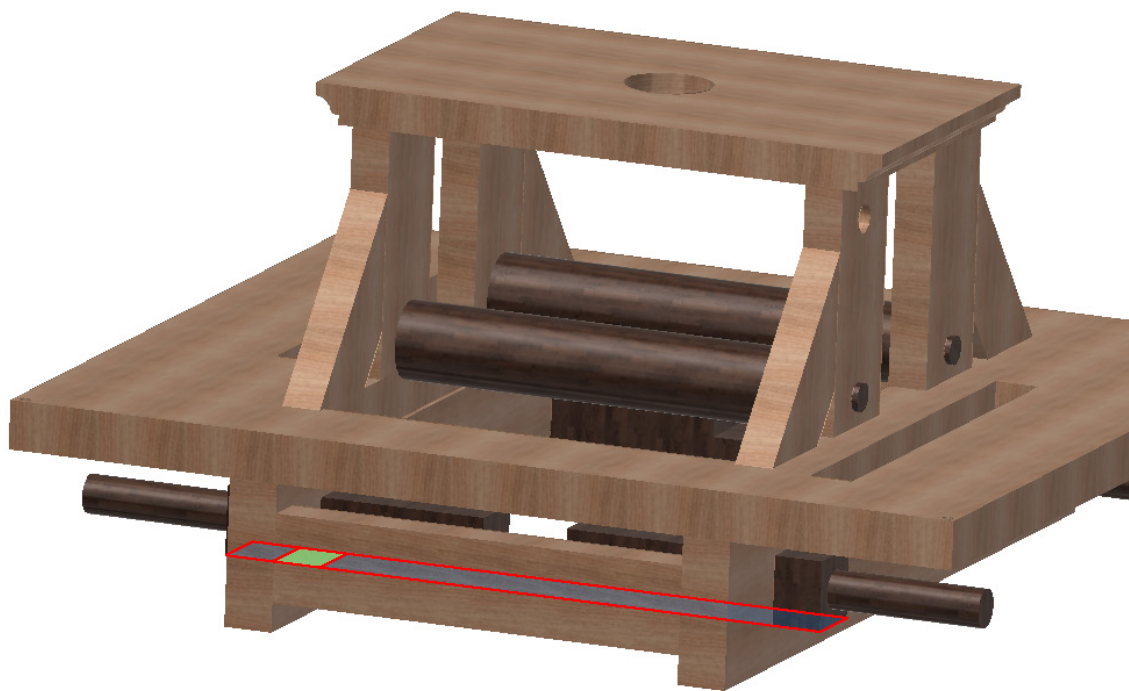


Ilustración 109. Restricción del bastidor principal.

Continuamos añadiendo el timón L **(11)** al ensamblaje y creando una restricción tipo “Insert” (Ilustración 110).

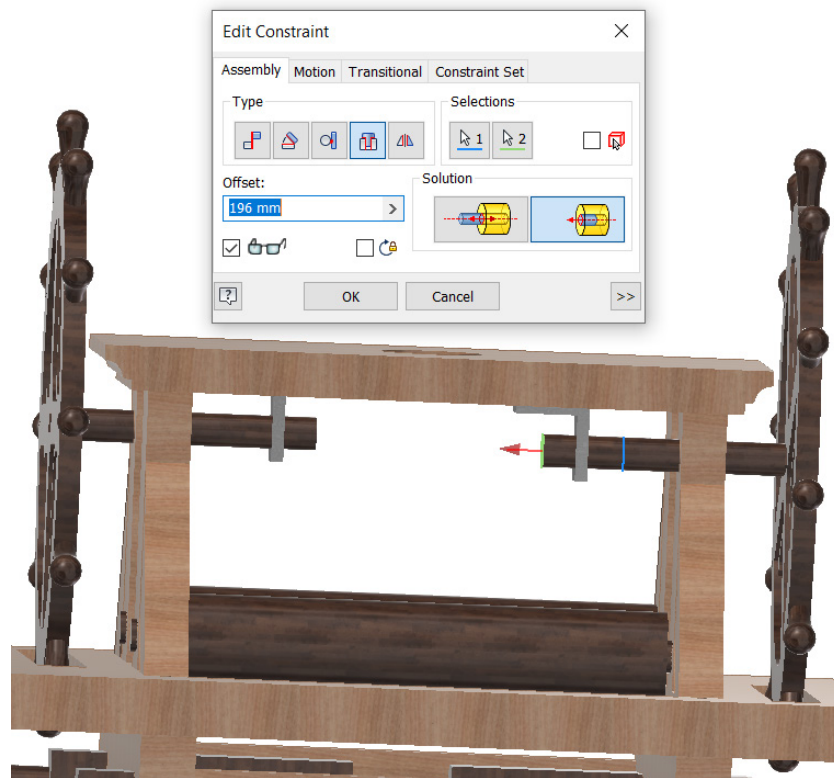


Ilustración 110. Ensamblaje del timón L.

A continuación, se crea el sistema de engranajes sobre los ejes ya insertados mediante el generador de engranajes (Ilustración 111).

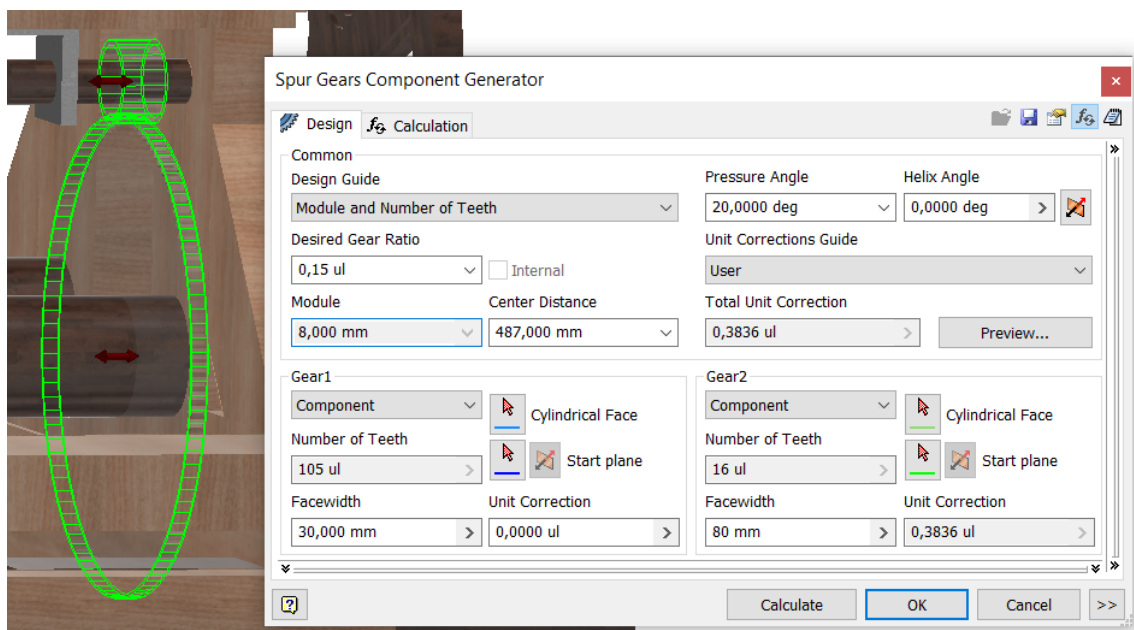


Ilustración 111. Ensamblaje de engranajes.

El timón Z (**10**) y las ruedas T (**15**) son ensamblados mediante las restricciones anteriormente mencionadas (Ilustración 112).

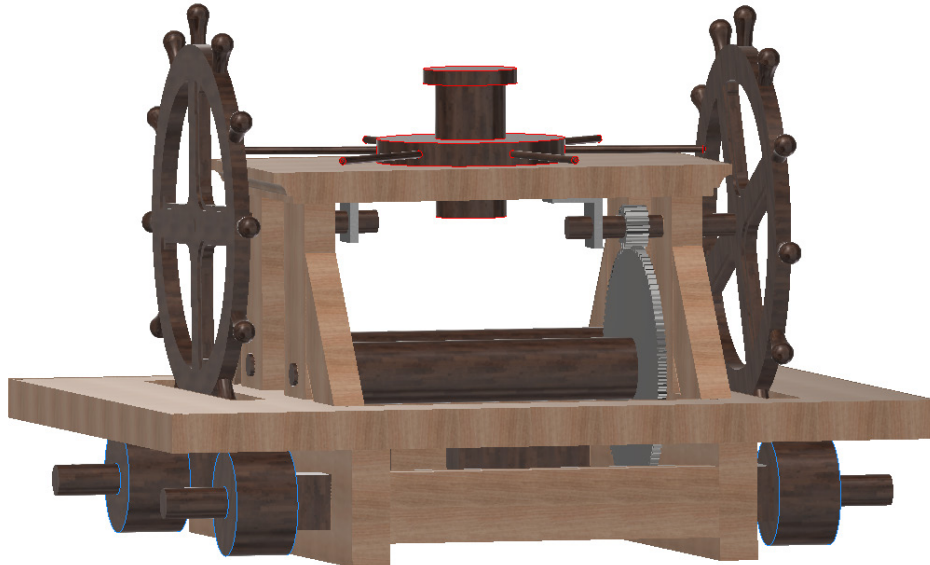


Ilustración 112. Ensamblaje del timón Z y de las ruedas T.

Después, se ensambla el bastidor secundario (**2**) en contacto con las ruedas A (**16**) mediante la restricción representada en la Ilustración 113 y la baranda (**12**). La restricción sobre las ruedas A es una restricción avanzada que permite el desplazamiento tangente sobre toda la cara del bastidor secundario (Ilustración 114).

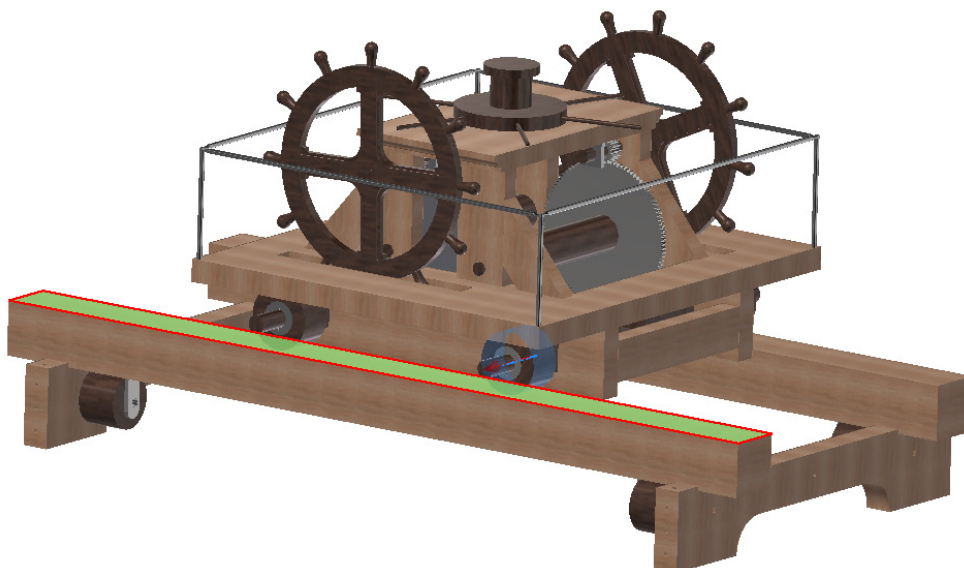


Ilustración 113. Ensamblaje del bastidor secundario y de la baranda.

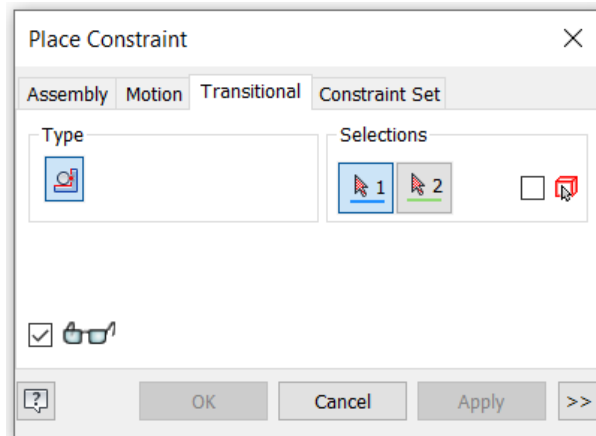


Ilustración 114. Restricción de la rueda A.

Se procede a ensamblar las vigas R (3) con la misma restricción avanzada de las ruedas A, así como los postes G (21) y las columnas (7) (Ilustración 115).



Ilustración 115. Ensamblaje de las vigas R.

A continuación, se ensambla la escuadra (20) y el soporte (13) (Ilustración 116) junto a las ruedas correderas laterales (22) mediante las restricciones “Mate” e “Insert.



Ilustración 116. Ensamblaje del soporte de la cuerda.

Finalmente, se procede a insertar diferentes las cuerdas y poleas del conjunto utilizando las restricciones anteriormente mencionadas (Ilustración 117).



Ilustración 117. Ensamblaje final del cabriolé doble.

### 3.1.2. *Máquina de barrenar y torneear los cañones*

La invención se compone de un eje vertical **(1)** que gira mediante los brazos de giro **(2)**. Es una máquina que funciona con “motor de sangre”, es decir, en los extremos de los brazos de giro los animales proporcionan la fuerza necesaria para el giro. El eje vertical se encuentra fijado a una corona dentada **(3)** de gran tamaño, encargada de transmitir el movimiento rotacional vertical en movimiento rotacional horizontal formando un engranaje con la linterna del eje del torno **(19)**. La corona dentada **(3)** se encuentra anclada al eje principal **(1)** por medio del soporte de la corona dentada **(21)**, utilizando como refuerzo vertical los listones de sujeción de la corona dentada **(22)** con la intención de hacer más rígida y compacta la sujeción de la corona dentada.

El eje principal se encuentra anclado en la base principal **(20)**, al igual que el eje del torno **(4)**. El eje del torno **(4)** se encuentra anclado entre la base principal **(20)** y la base del torno **(18)**, estando asegurado mediante las abrazaderas del eje del torno **(5)**. La linterna del eje del torno **(19)** se encuentra fijada al eje del torno **(4)**, al que transmite el momento rotacional. En el extremo del eje del torno se acopla el agarre del torno **(6)**, utilizado para sujetar e imponer el giro en el cañón torneado.

La tabla de torneado exterior **(17)** se encuentra fijada entre la base del torno **(18)** y la base de torneado interior **(16)**, con la función de sostener la bandeja de la herramienta de torneado interior **(8)**. A su vez, esta bandeja es utilizada de corredera por la herramienta de torneado exterior **(7)** para realizar el torneado a lo largo del exterior del cañón.

En la base de torneado interior **(16)** se apoya uno de los extremos del cañón, sobre la cual gira. Sobre esta base también se apoya uno de los soportes de la tabla de torneado interior **(14)**. El resto de soportes se apoyan sobre las bases de listón de soporte **(15)**, distribuidas uniformemente a lo largo de la tabla de torneado interior **(10)**.

La tabla de torneado interior **(10)** se apoya sobre los soportes de la tabla de torneado interior **(14)**. La herramienta de torneado interior **(9)** se desliza sobre la tabla de torneado interior **(10)** en dos direcciones, tanto a lo largo como a lo ancho. Las

abrazaderas de la herramienta de torneado interior **(11)** delimitan el desplazamiento de la herramienta, acotando así su movimiento.

El timón de torneado interior **(13)** se encarga del desplazamiento longitudinal de la herramienta de torneado interior **(9)**, haciendo girar el engranaje de desplazamiento horizontal **(12)**. Este engranaje transforma el movimiento rotacional del timón en movimiento traslacional de la herramienta de torneado interior en su dirección longitudinal.

### 3.1.2.1. Descripción del modelado tridimensional

#### 3.1.2.1.1. Eje principal

La pieza ha sido realizada creando primero una extrusión cuadrada (Ilustración 118). Sobre esta extrusión se ha creado un croquis 2D circular de diferentes tamaños para posteriormente realizarles una extrusión. Una vez creado este sólido, mediante una simetría tipo espejo respecto al plano medio, se modela la pieza completa (Ilustración 119).

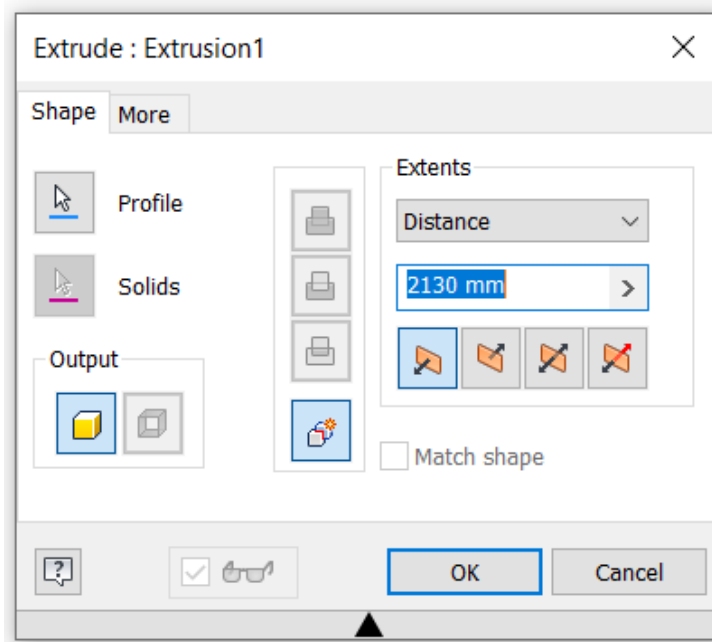


Ilustración 28. Extrusión eje principal.

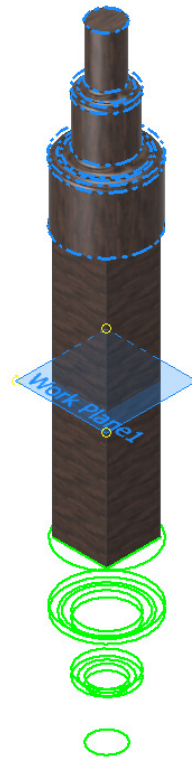
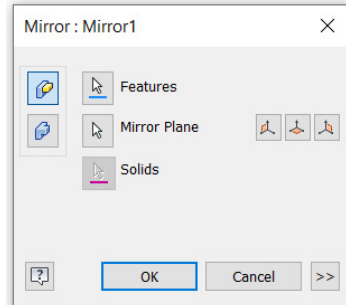


Ilustración 119. Simetría eje principal.

### 3.1.2.1.2. Brazo de giro

La pieza se crea realizando dos extrusiones, una de ella en forma cuadrada y la otra en forma circular (Ilustración 120). Finalmente se realiza un redondeo en la conexión entre las dos extrusiones (Ilustración 121).

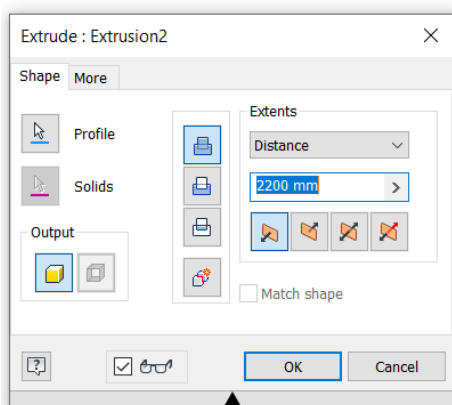


Ilustración 120. Extrusión eje de giro.

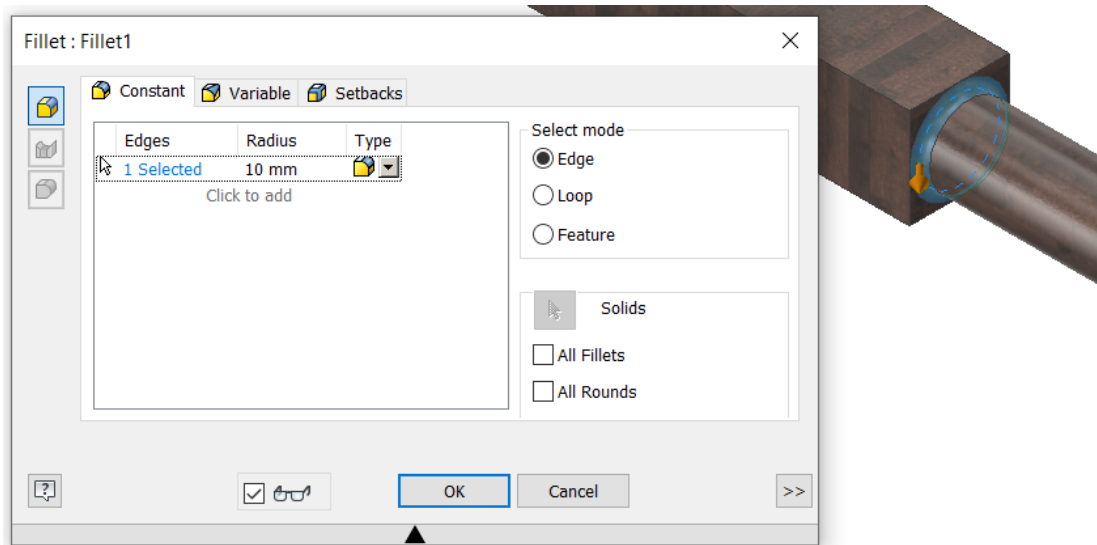


Ilustración 31. Redondeo brazo de giro.

### 3.1.2.1.3. Corona dentada

La corona dentada ha sido creada mediante la extrusión de una corona circular, previamente definida en un croquis 2D, a la que se le han añadido 80 dientes con la operación de patrón circular (122).

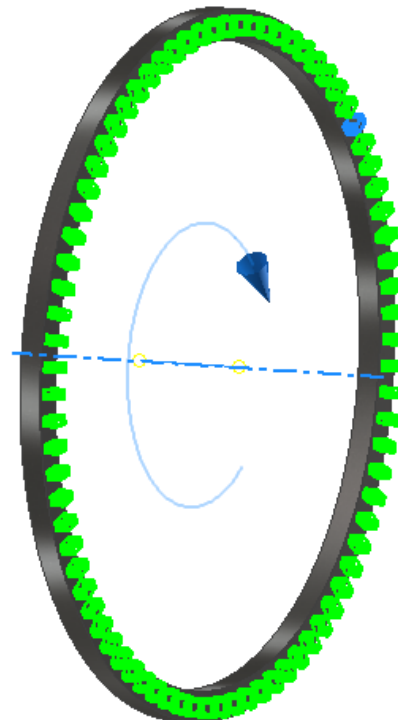
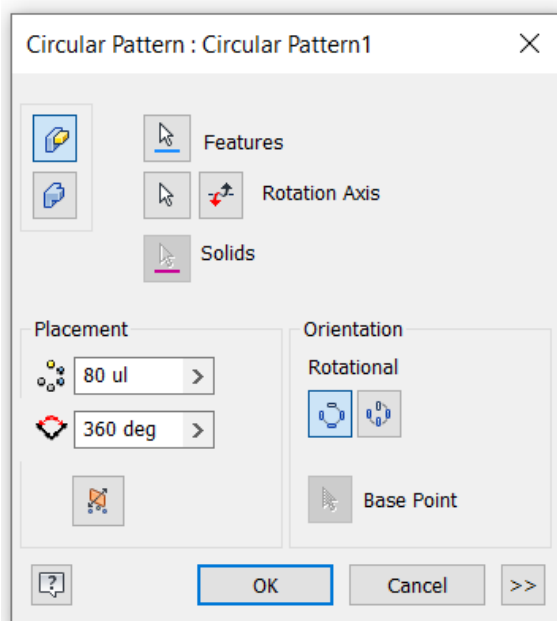


Ilustración 122. Patrón circular de la corona dentada.

#### 3.1.2.1.4. Eje del torno

El eje del torno se ha creado extruyendo dos croquis 2D en forma de círculo y realizando una operación de simetría sobre el plano medio (Ilustración 123). Posteriormente se realiza una extrusión de corte cuadrada para poder encajar el agarre del torno **(6)** (Ilustración 124).

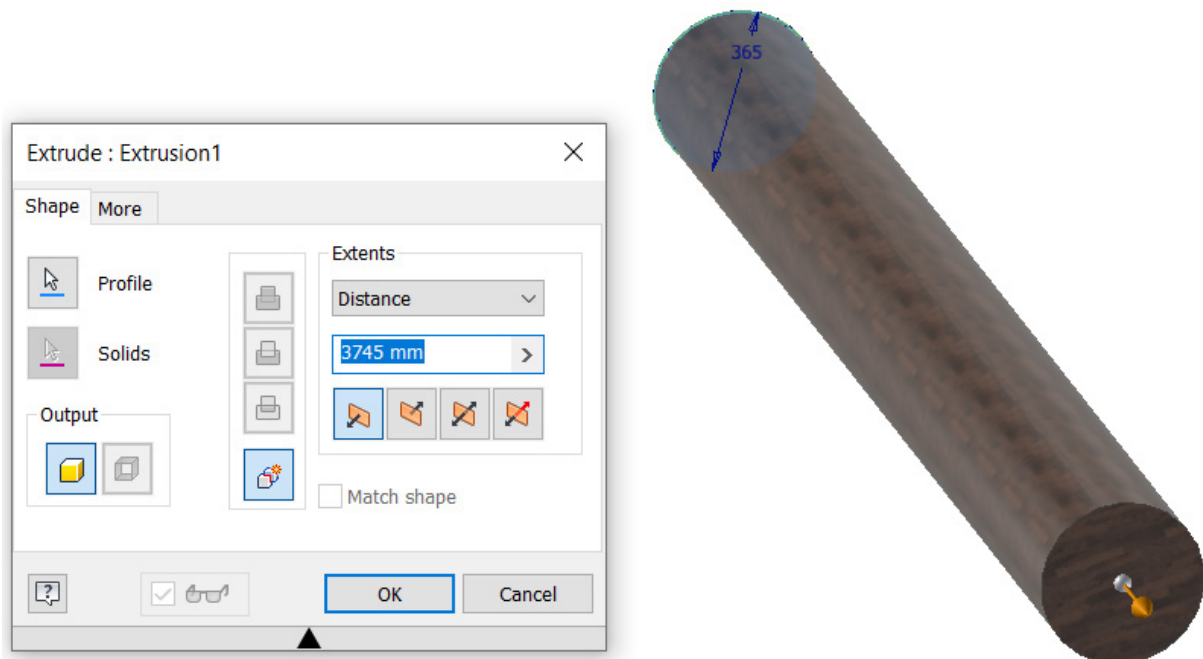


Ilustración 123. Extrusión circular del eje del torno.

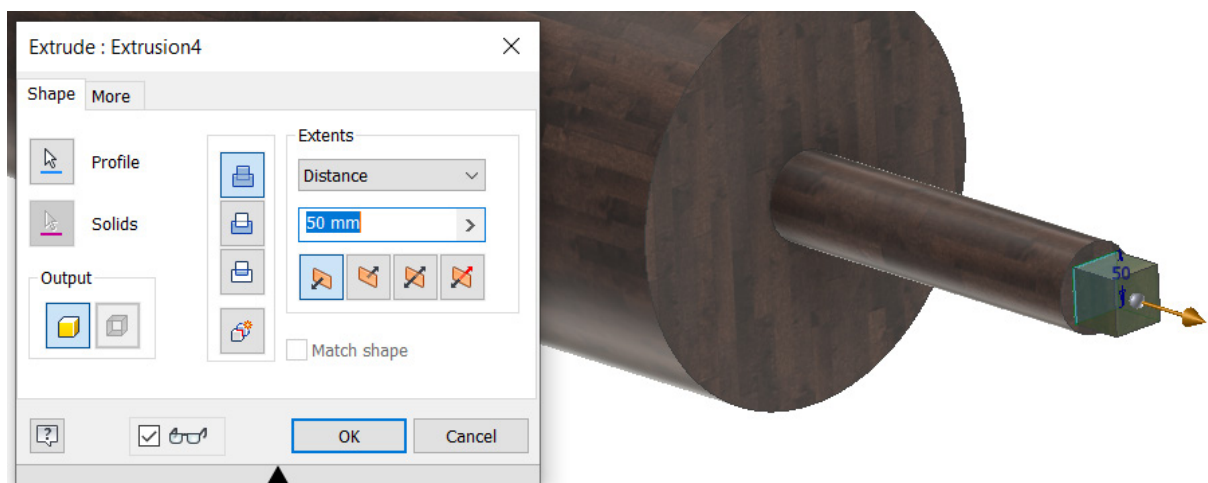


Ilustración 124. Extrusión cuadrada del eje del torno.

### 3.1.2.1.5. *Abrazadera del eje del torno*

Esta pieza se crea diseñando un croquis 2D complejo adaptado al eje del torno **(3)**, que posteriormente se extruye (Ilustración 125).

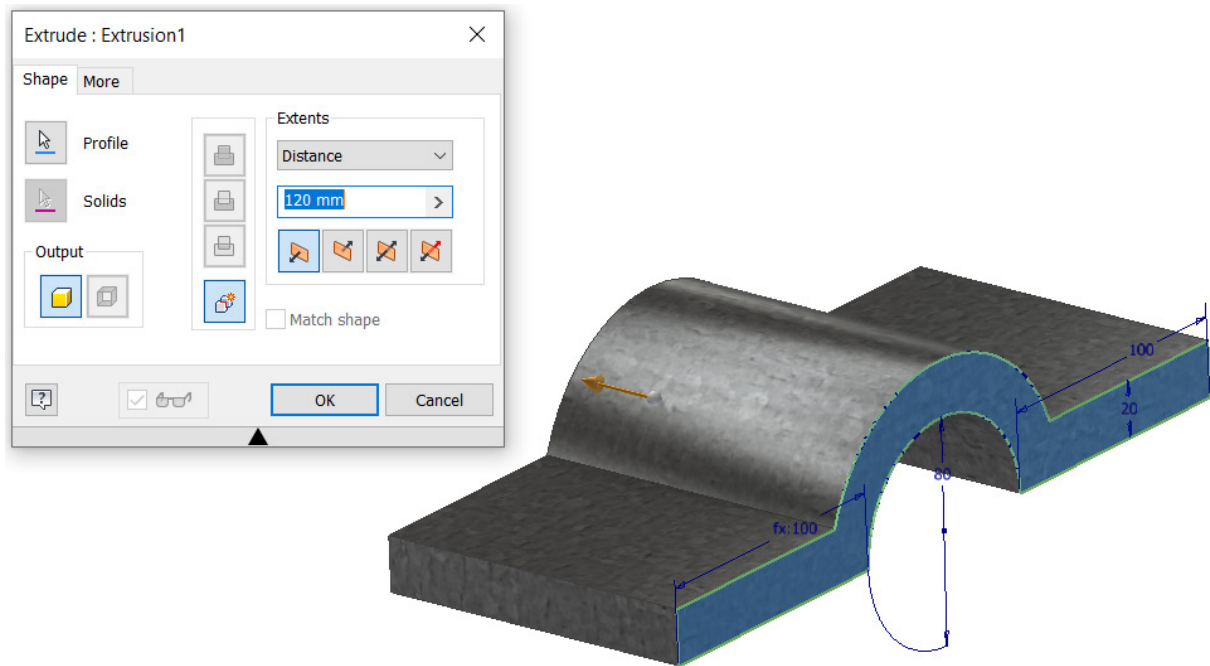


Ilustración 125. Extrusión de la abrazadera eje del torno.

### 3.1.2.1.6. *Agarre del torno*

El agarre del torno es modelado realizando una extrusión circular a la que posteriormente se le aplica el corte representado en la Ilustración 126. Después de esto, se realiza otra extrusión circular en la cara trasera para finalmente crear un corte en forma cuadrada para su acoplamiento con el eje del torno **(5)** (Ilustración 127).

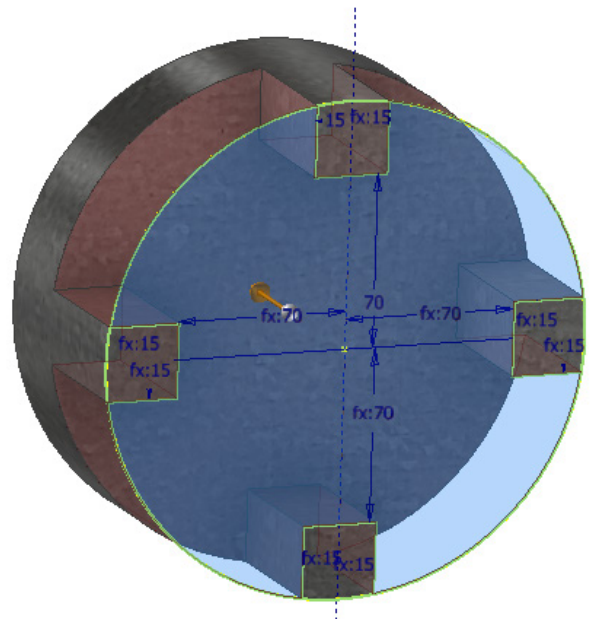
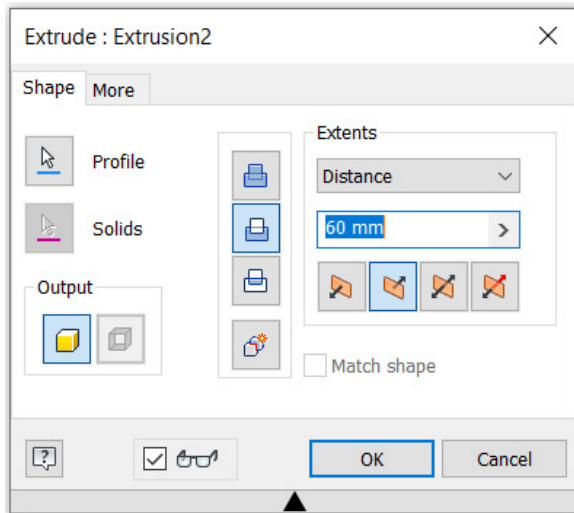


Ilustración 126. Extrusión circular del agarre del torno.

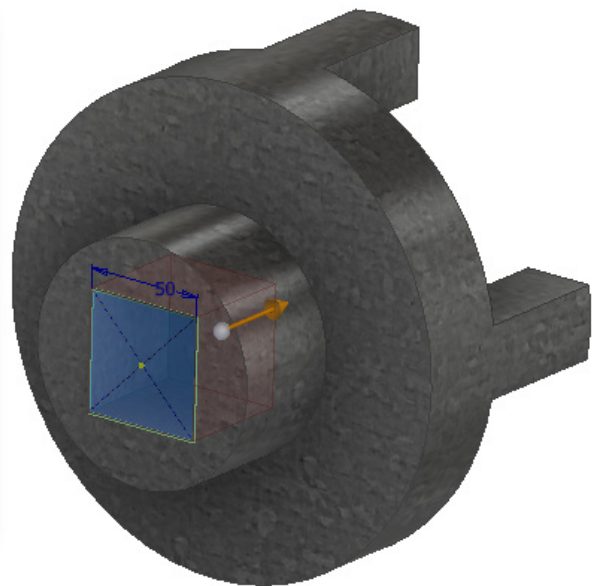
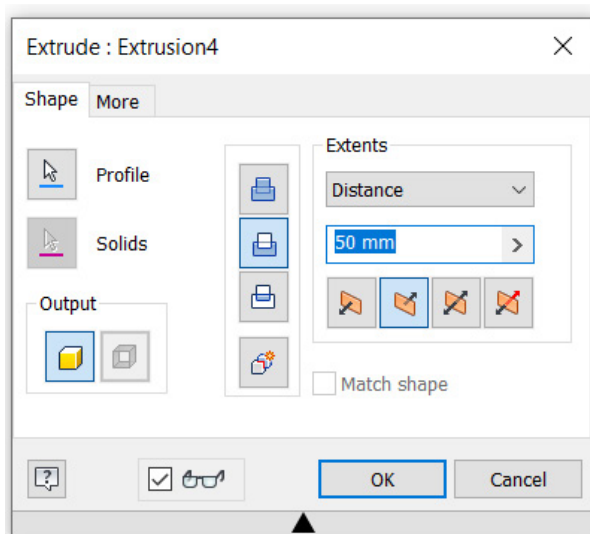


Ilustración 127. Vaciado de sección cuadrada del agarre del torno.

### 3.1.2.1.7. Herramienta de torneado exterior

La herramienta de torneado exterior se ha modelado con una extrusión de un perfil cuadrado que posteriormente se le ha realizado una extrusión de corte sobre el croquis de la Ilustración 128.

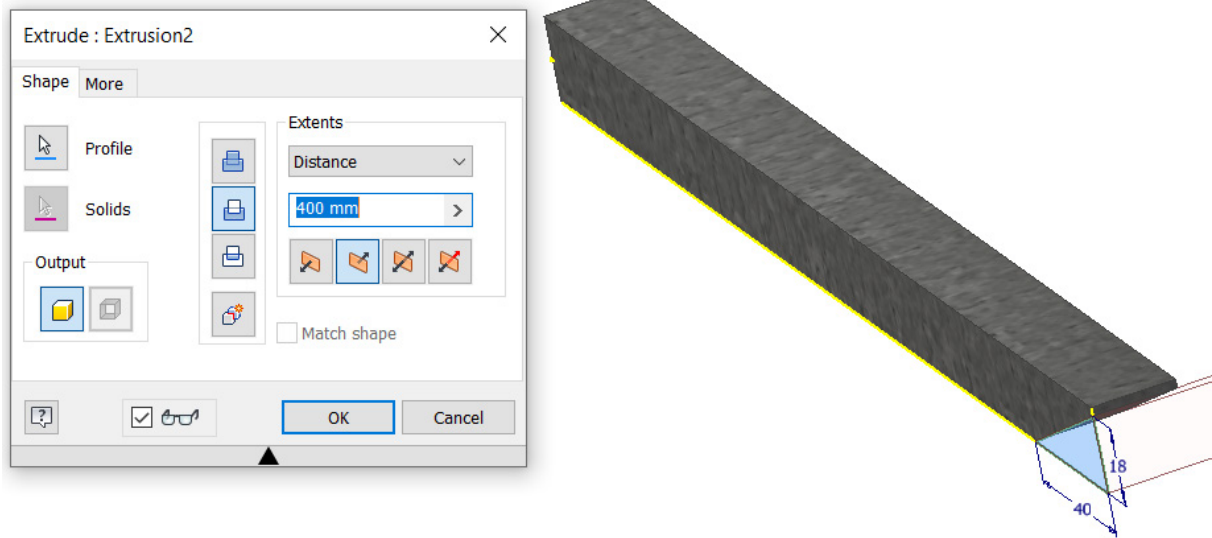


Ilustración 128. Extrusión de la herramienta de torneado exterior.

### 3.1.2.1.8. Bandeja de herramienta de torneado exterior

Para modelar esta pieza primero se crea un sólido rectangular, al que se le realiza una extrusión de corte sobre un croquis 2D de forma rectangular y tamaño inferior (Ilustración 129).

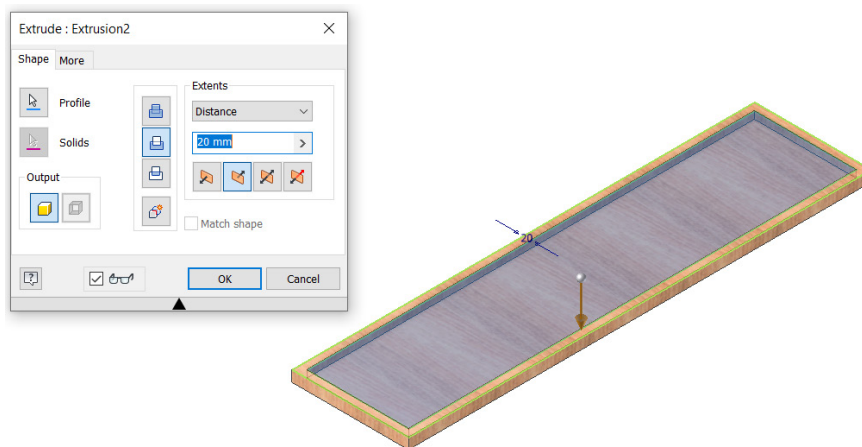


Ilustración 129. Corte bandeja herramienta torneado exterior.

A continuación, se crea un croquis 2D en un plano de offset respecto al lateral de la pieza para realizar la extrusión del perfil en forma de corredera (Ilustración 130).

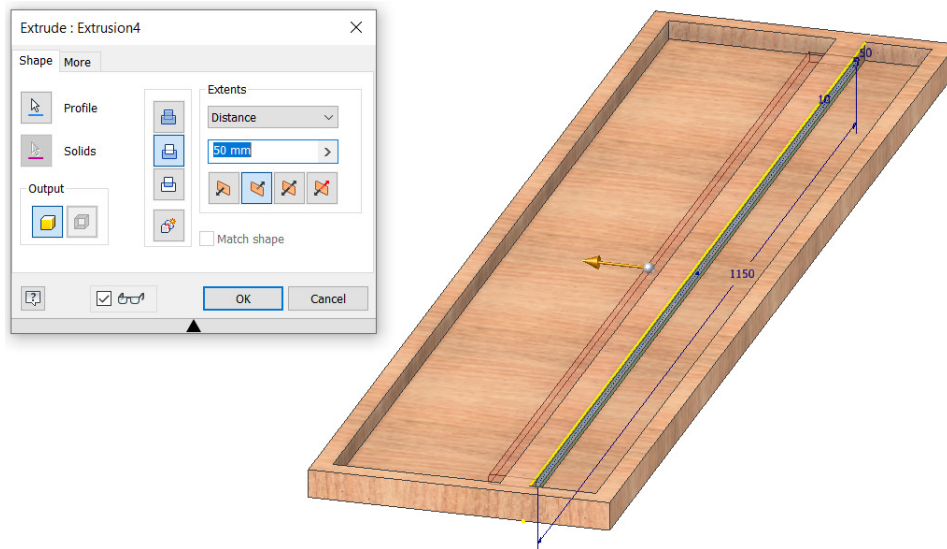


Ilustración 40. Extrusión bandeja herramienta torneado exterior.

### 3.1.2.1.9. Herramienta de torneado interior

La herramienta de torneado interior se modela creando un perfil rectangular sólido, para seguidamente extruir el croquis 2D del diente del engranaje (Ilustración 131).

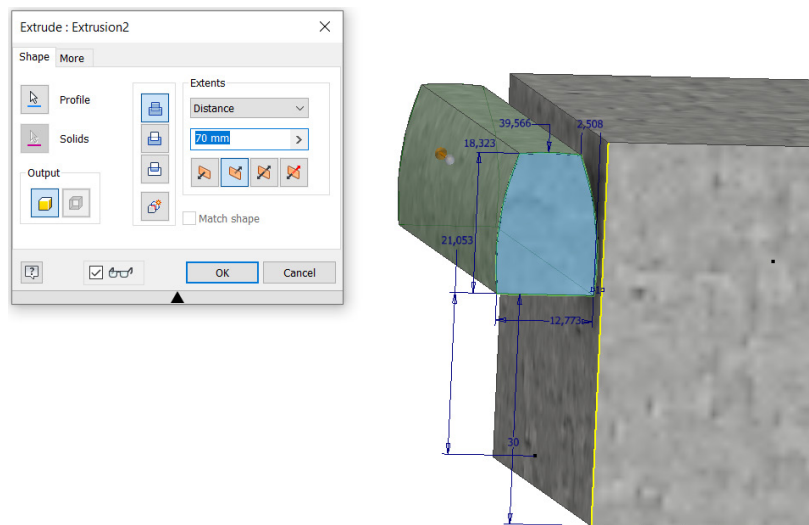


Ilustración 131. Extrusión diente herramienta torneado interior.

A continuación, se utiliza el comando patrón rectangular para repetir esta extrusión y crear una cremallera dentada (Ilustración 132).

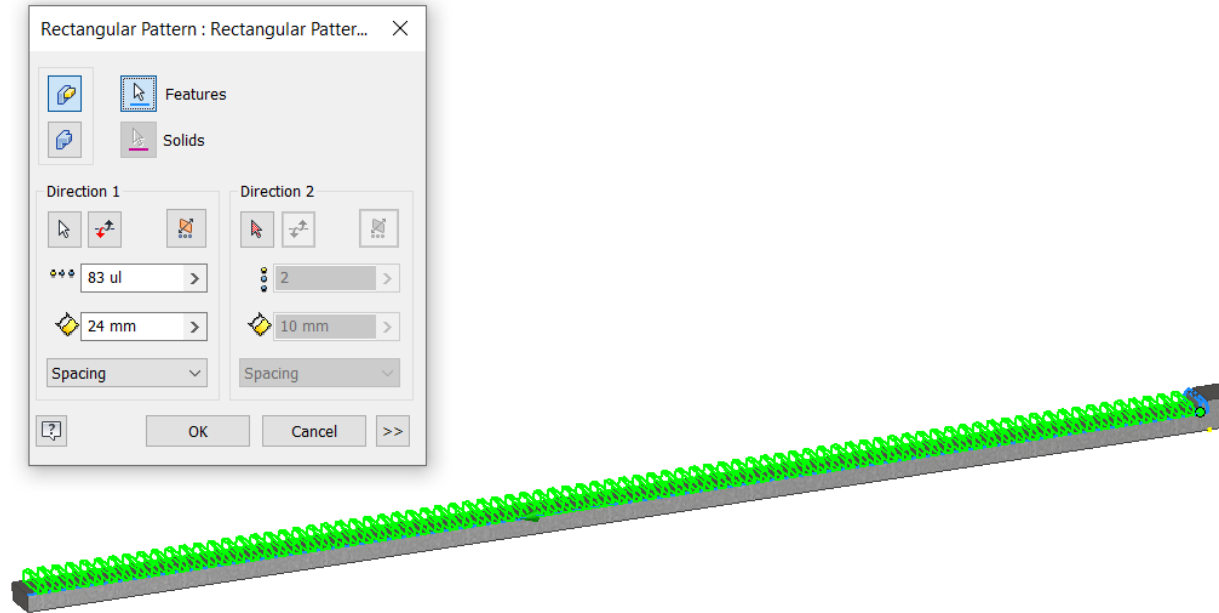


Ilustración 132. Patrón rectangular herramienta torneado interior.

Finalmente, se realiza una extrusión de corte en la punta de la herramienta sobre un croquis 2D triangular (133).

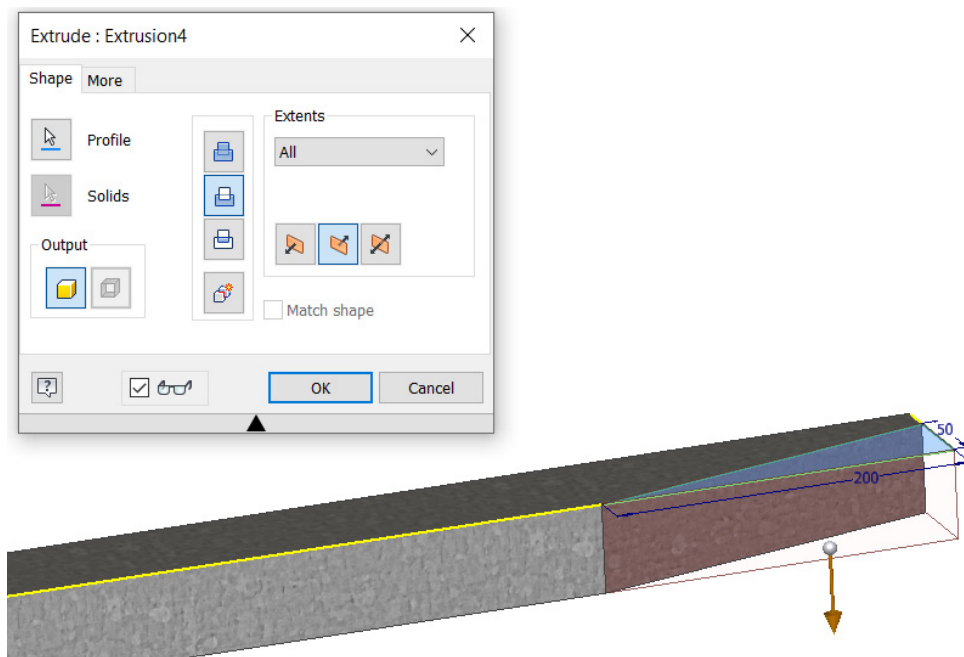
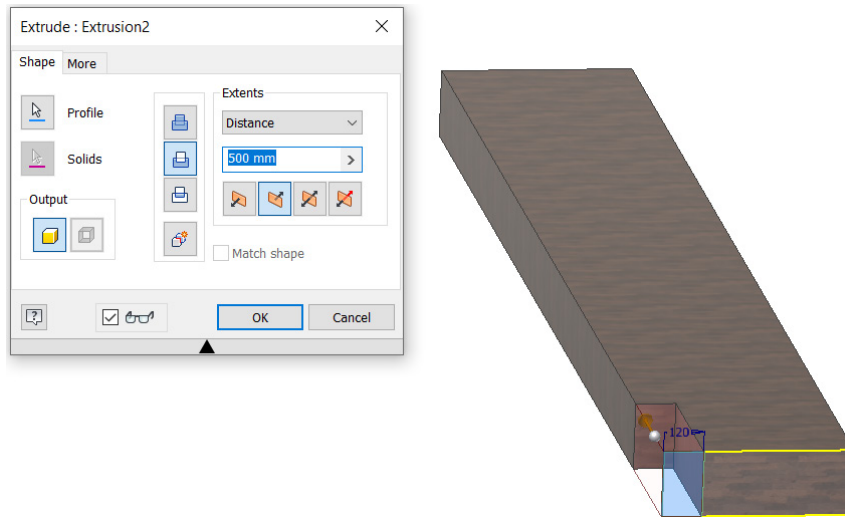


Ilustración 133. Corte herramienta de torneado interior.

### 3.1.2.1.10. *Tabla de torneado interior*

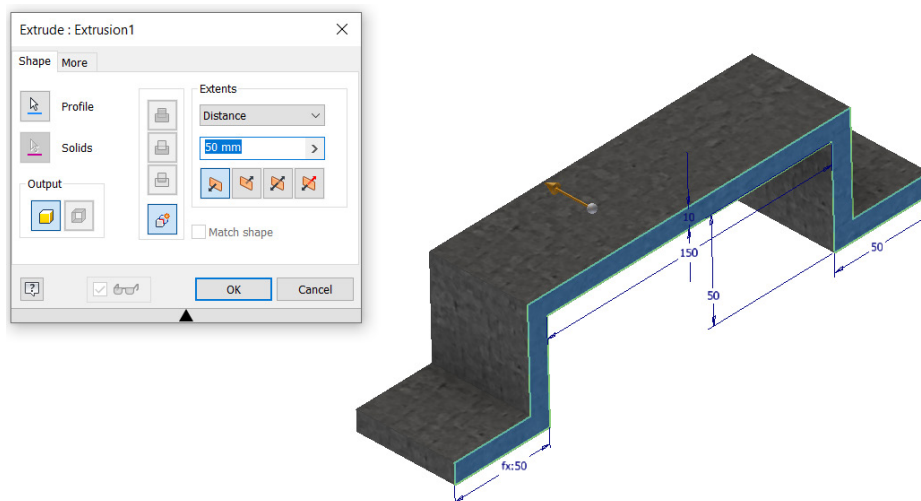
Para modelar la tabla de torneado interior se crea un cuerpo sólido rectangular en forma de tabla y posteriormente se realiza una extrusión de corte en una de sus esquinas (Ilustración 134).



**Ilustración 134.** Corte tabla de torneado interior.

### 3.1.2.1.11. *Abrazadera de herramienta de torneado interior*

La abrazadera de la herramienta de torneado interior se crea mediante la extrusión del croquis 2D de la Ilustración 135, a la que posteriormente se le realizan redondeos en las esquinas (Ilustración 136).



**Ilustración 135.** Extrusión abrazadera de herramienta torneado interior.

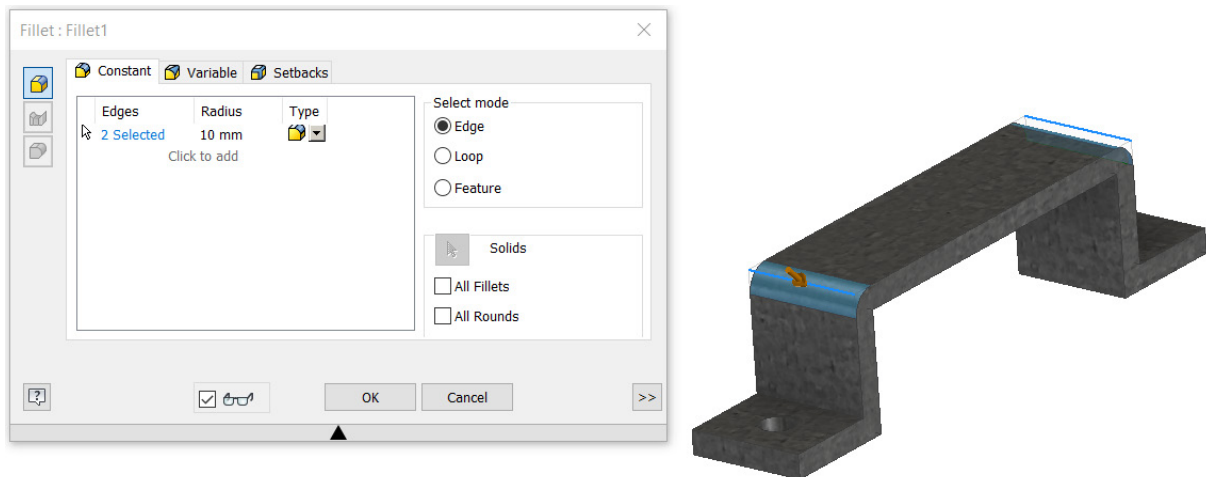


Ilustración 136. Redondeo abrazadera herramienta torneado interior.

### 3.1.2.1.12. Engranaje de desplazamiento horizontal

El engranaje de desplazamiento horizontal se crea utilizando el generador de componentes rápidos, donde elegimos el número de dientes y la anchura (Ilustración 137).

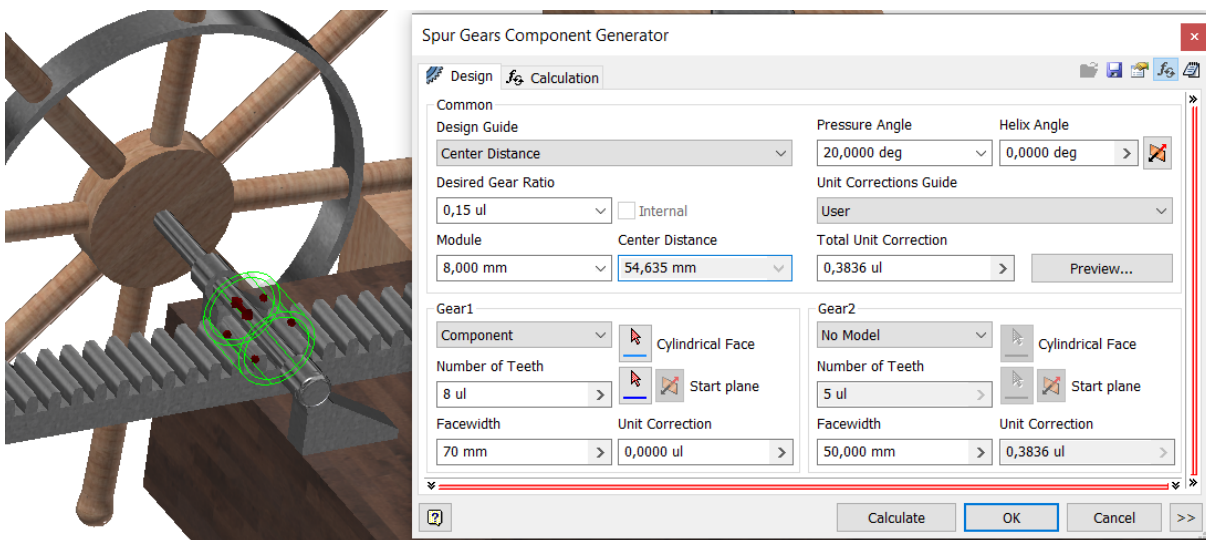


Ilustración 137. Generador de componentes engranaje horizontal.

### 3.1.2.1.13. Timón torneado interior

Para crear el timón de torneado interior se modela uno de los mangos y posteriormente, utilizando el comando de patrón circular, se crean al resto de mangos (Ilustración 138).

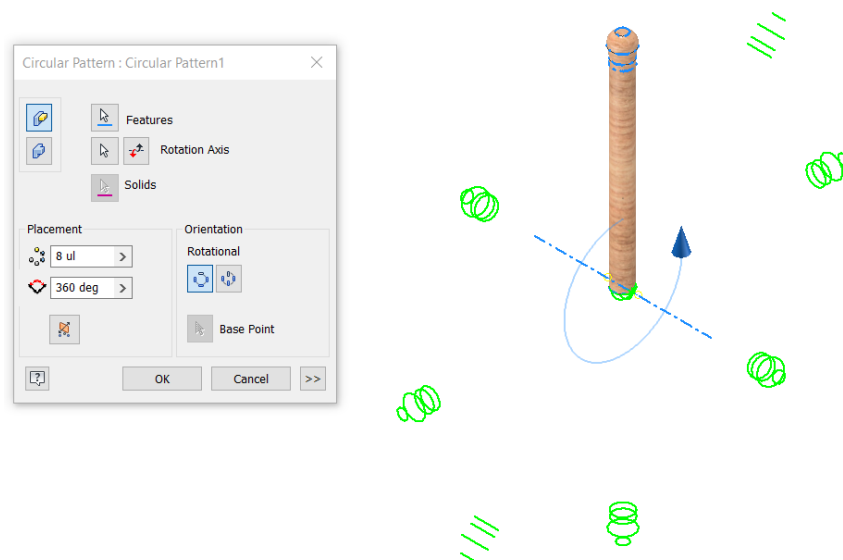


Ilustración 138. Patrón circular timón torneado interior.

Una vez creados los mangos, se extruye el dentro del timón y el refuerzo circular. En el centro del timón se realiza una extrusión de corte cuadrada (Ilustración 139).

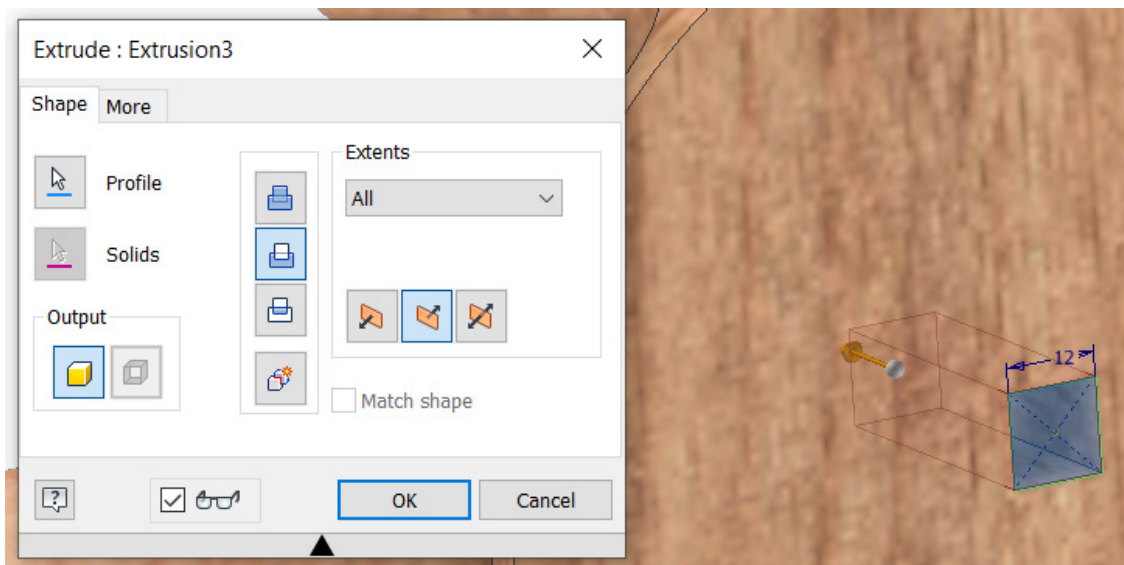


Ilustración 139. Corte timón torneado interior.

### 3.1.2.1.14. Soporte tabla torneado interior

El soporte de la tabla de torneado inferior se modela mediante una extrusión rectangular sobre el croquis de la Ilustración 140. Posteriormente, se realizan dos agujeros en los extremos del listón.

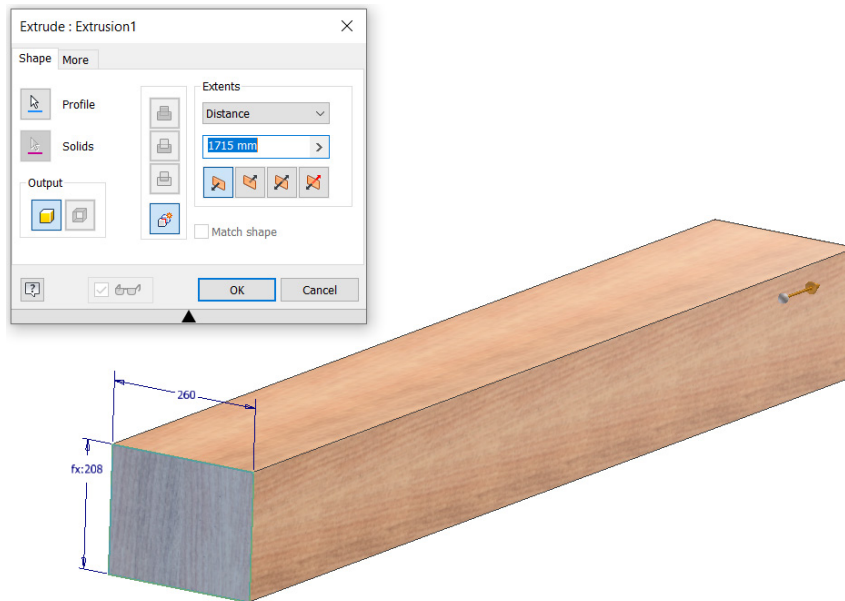


Ilustración 140. Extrusión soporte tabla torneado interior.

### 3.1.2.1.15. Base del listón de soporte

La base del listón de soporte se modela creando una extrusión sobre el croquis 2D de la Ilustración 141.

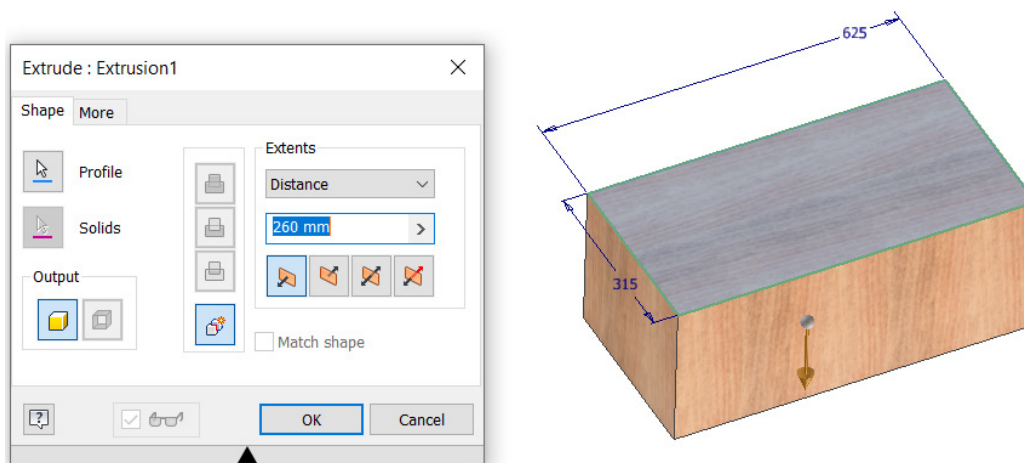


Ilustración 141. Extrusión base listón de soporte.

### 3.1.2.1.16. Base torneado interior

Para el modelado de la base de torneado interior primeramente se extruye el croquis 2D de la Ilustración 142 en forma de escuadra.

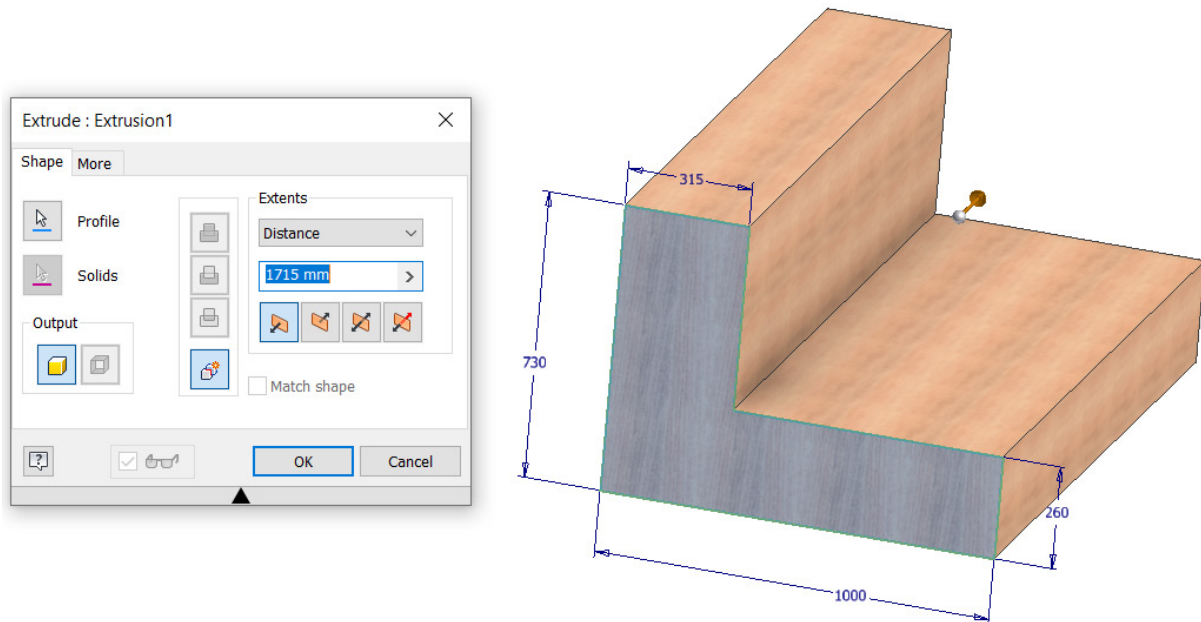


Ilustración 142. Extrusión base torneado interior.

Después de esto, se realiza una extrusión de corte sobre el centro de la base (Ilustración 143).

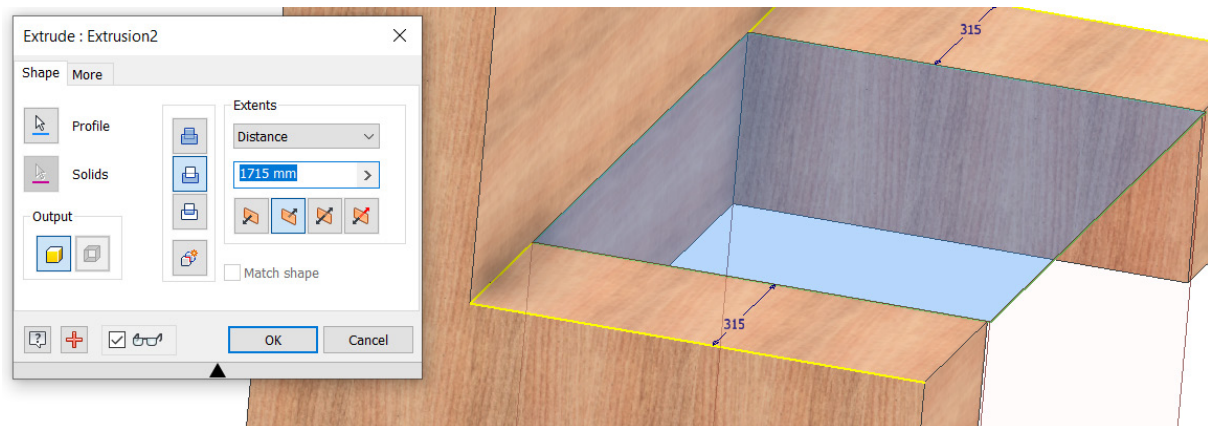


Ilustración 143. Corte base torneado interior.

Finalmente, se realizan dos extrusiones de corte sobre coquis circulares de diferente tamaño (Ilustración 144).

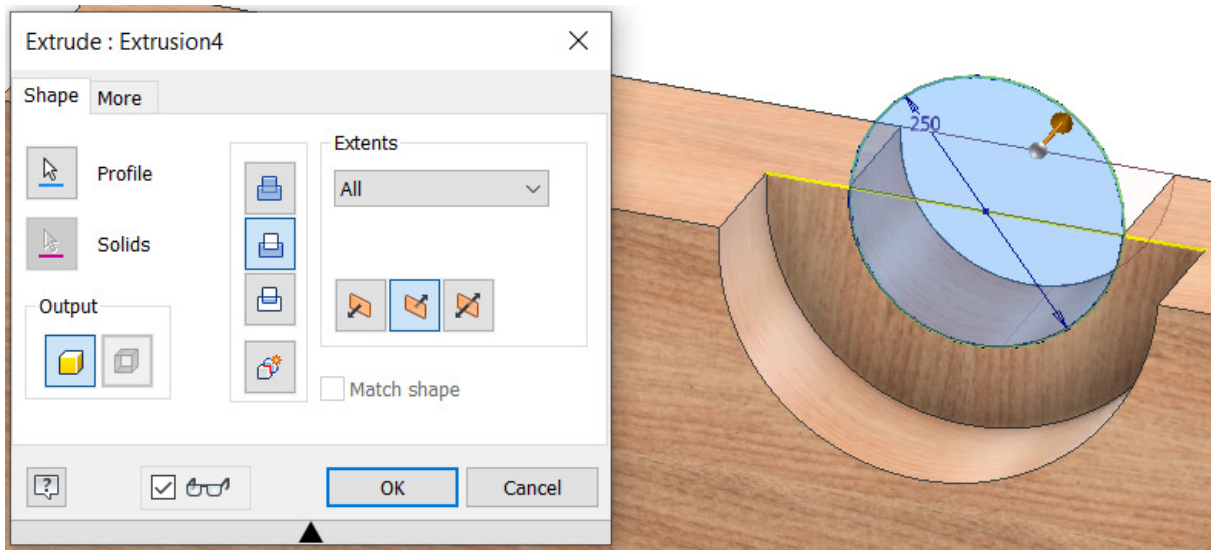


Ilustración 144. Taladrado base torneado interior.

### 3.1.2.1.17. Tabla torneado exterior

La tabla de tornado exterior se modela mediante una extrusión del croquis 2D de la Ilustración 145, creando un sólido en forma de tabla.

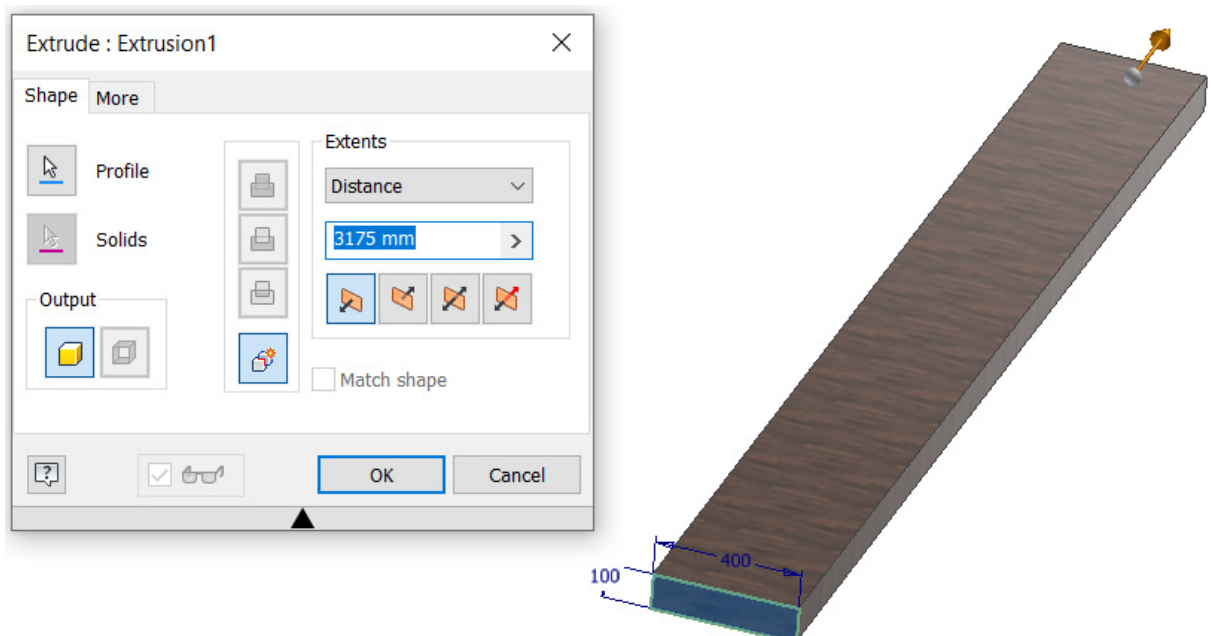


Ilustración 145. Extrusión tabla torneado exterior.

### 3.1.2.1.18. Base del torno

Para modelar la base del torno se crea un sólido base mediante el comando extrusión, al que posteriormente se le añade un refuerzo en forma de escuadra mediante una extrusión de un croquis triangular (Ilustración 146). Esta escuadra se duplica en el extremo contrario utilizando al comando de simetría. Por último, se realiza una extrusión de corte en el centro de la pieza sobre el croquis circular de la Ilustración 147.

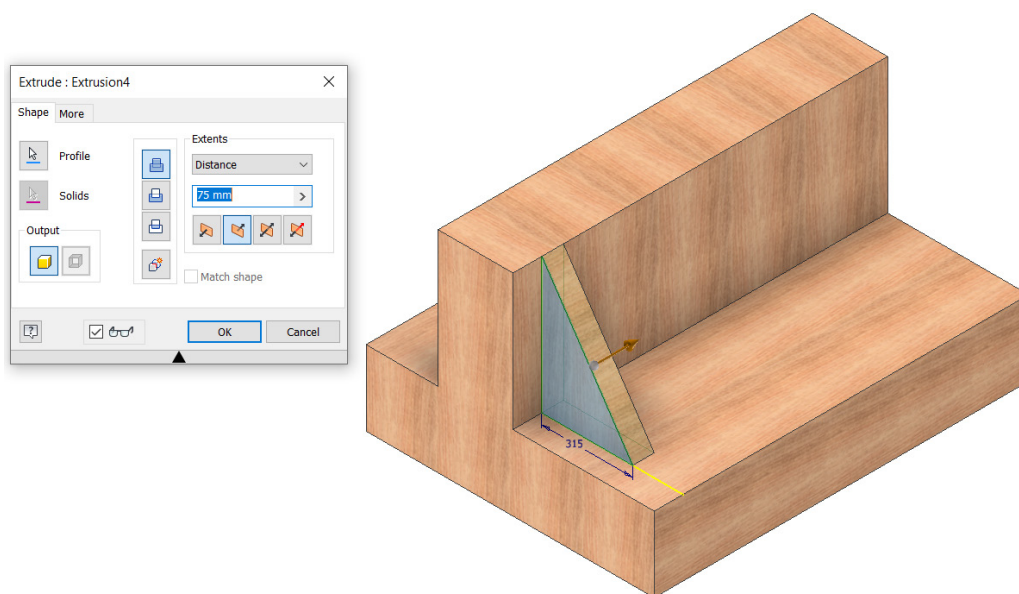


Ilustración 146. Extrusión base del torno.

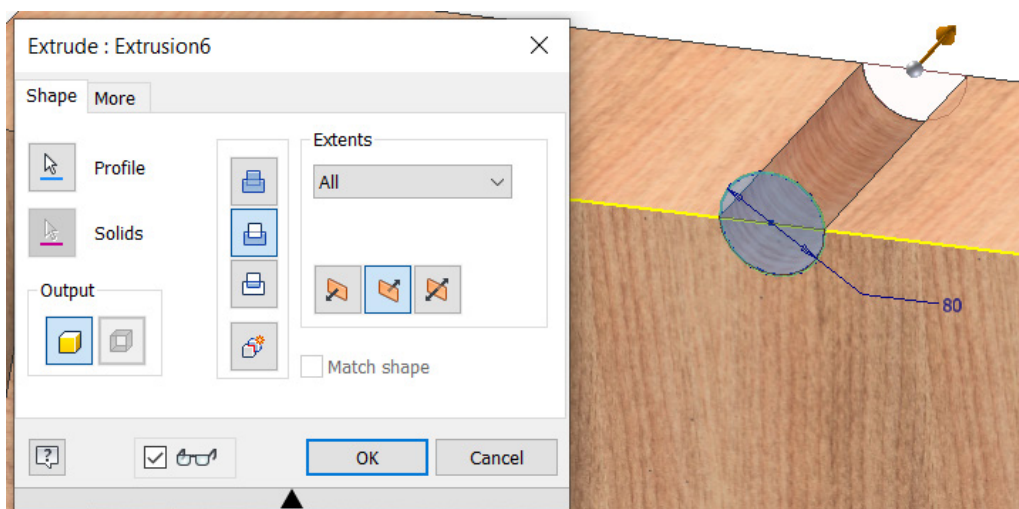


Ilustración 147. Corte base del torno.

### 3.1.2.1.19. Linterna del eje del torno

Para modelar la linterna del eje del torno primero se extruye una corona circular (Ilustración 148).

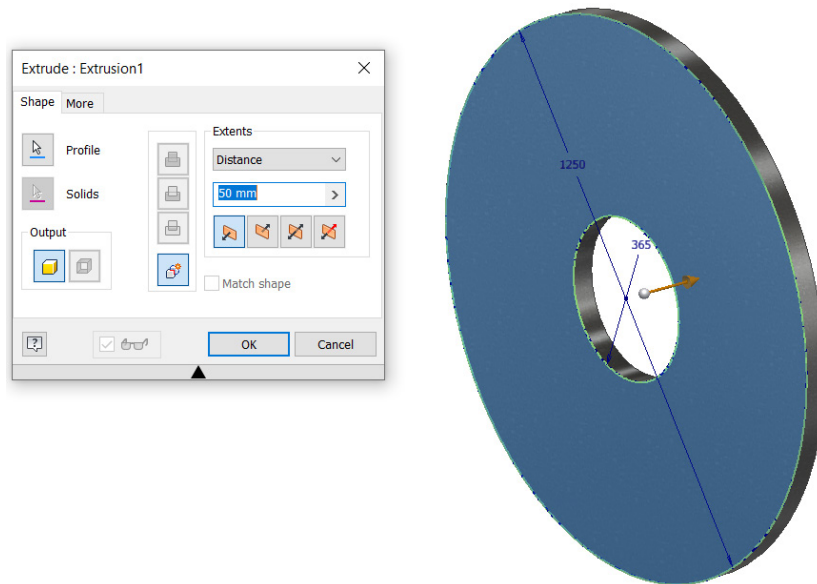


Ilustración 148. Extrusión interna del eje del torno.

Después de esto, se crea una barra cilíndrica y se utiliza el comando de patrón circular para multiplicar el número de barras (149).

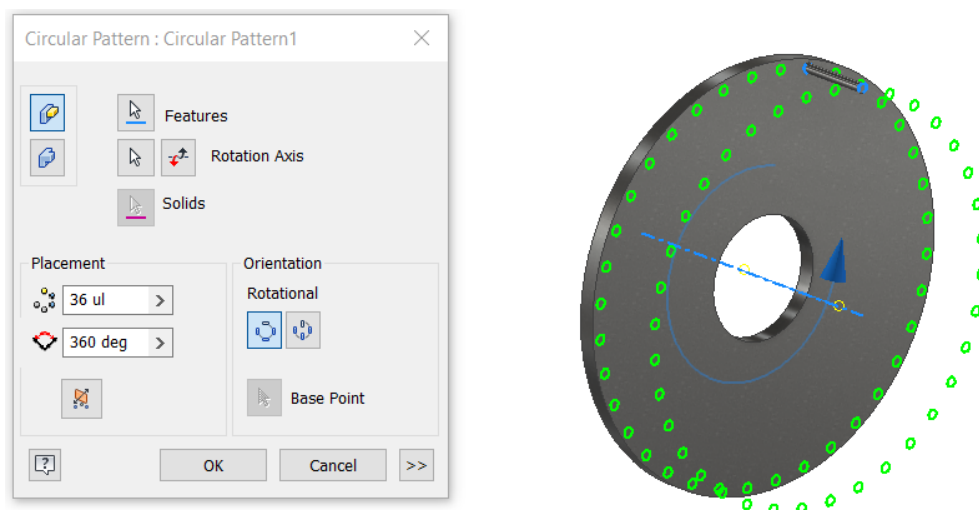


Ilustración 149. Patrón circular interna del eje del torno.

Finalmente, se suplica la primera extrusión mediante el comando de simetría respecto al plano medio.

### 3.1.2.1.20. Base principal

La base principal se modela creando una base sólida mediante una extrusión. Después de esto, se realiza una extrusión de corte en el centro de la base de forma circular (Ilustración 150).

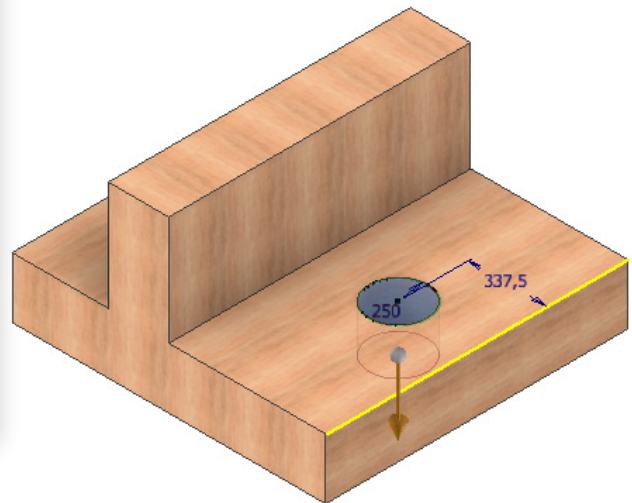
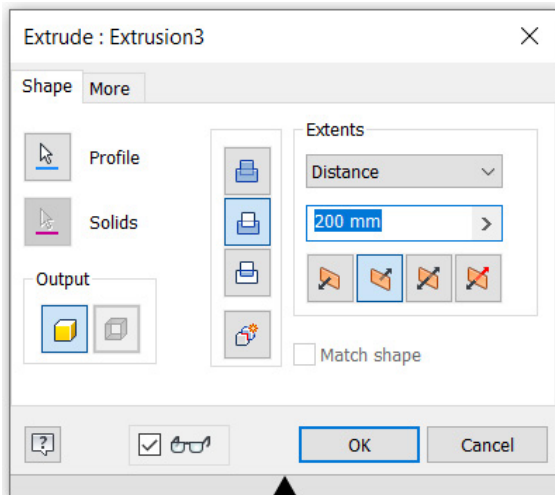


Ilustración 150. Corte base principal.

Posteriormente, se extruye un refuerzo en forma de escuadra triangular y se duplica utilizando el comando de simetría (Ilustración 151).

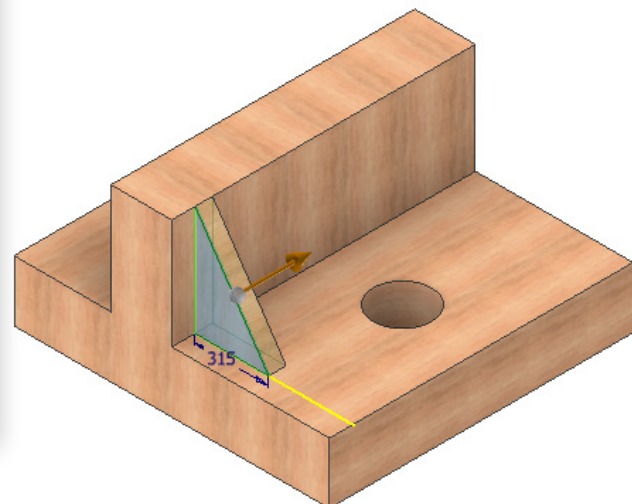
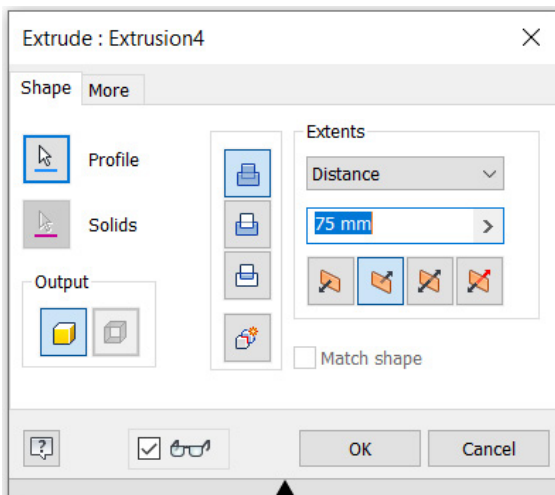


Ilustración 151. Extrusión base principal.

Finalmente, se realiza una extrusión de corte de forma circular donde se apoya el eje del torno (Ilustración 152).

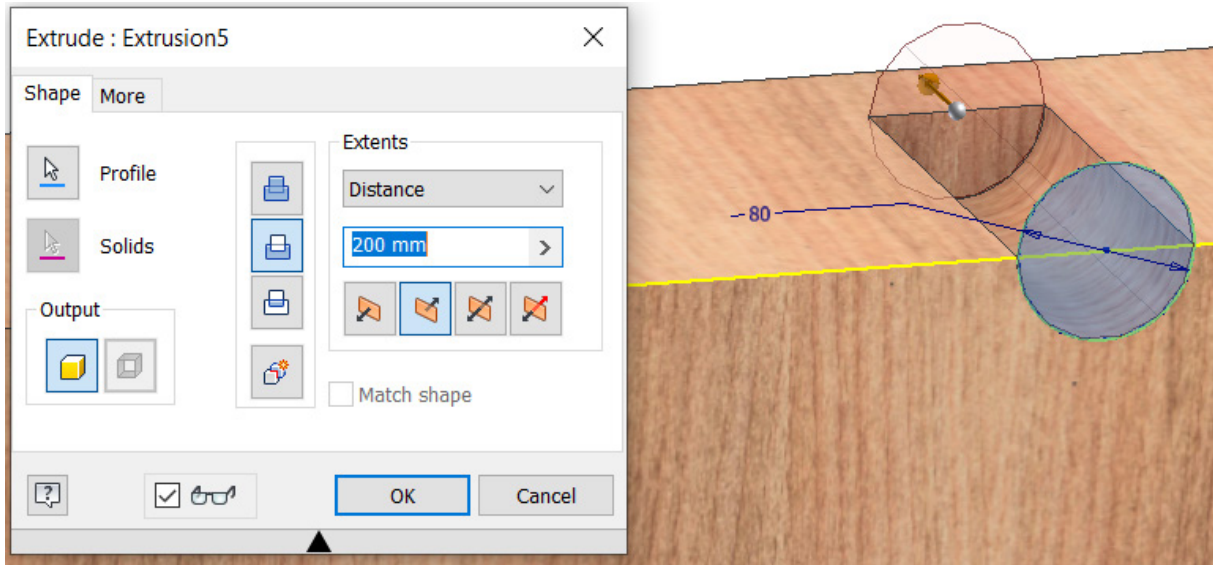


Ilustración 152. Taladrado base principal.

### 3.1.2.1.21. Soporte corona dentada

El soporte de la corona dentada se modela extruyendo el croquis 2D de la Ilustración 153 y posteriormente realizando chaflanes en los extremos exteriores (Ilustración 154).

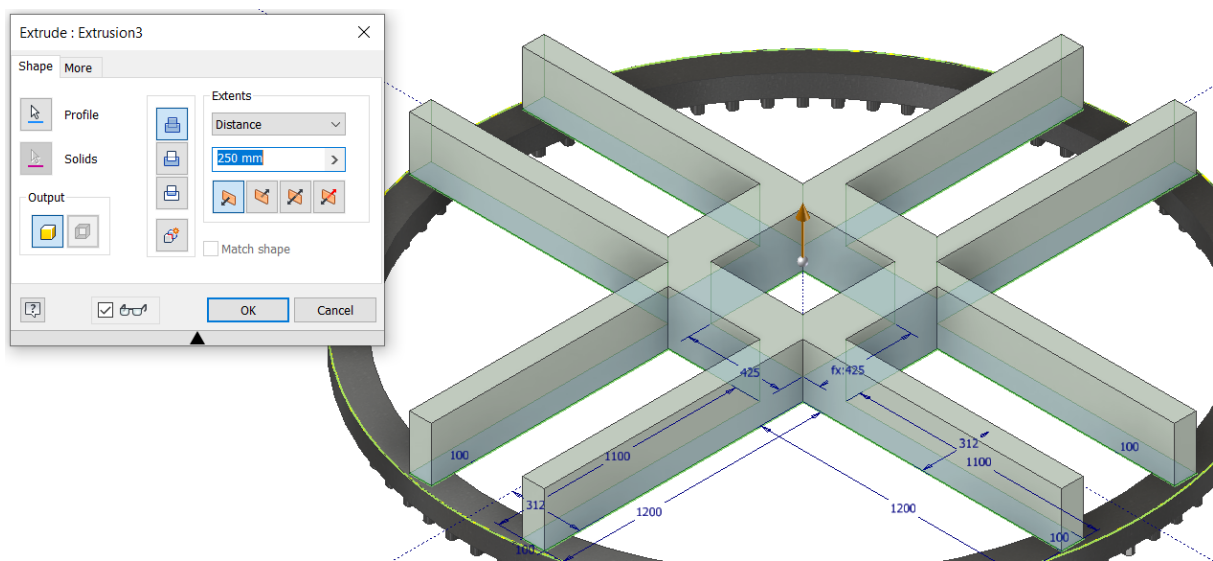


Ilustración 153. Extrusión soporte corona dentada.

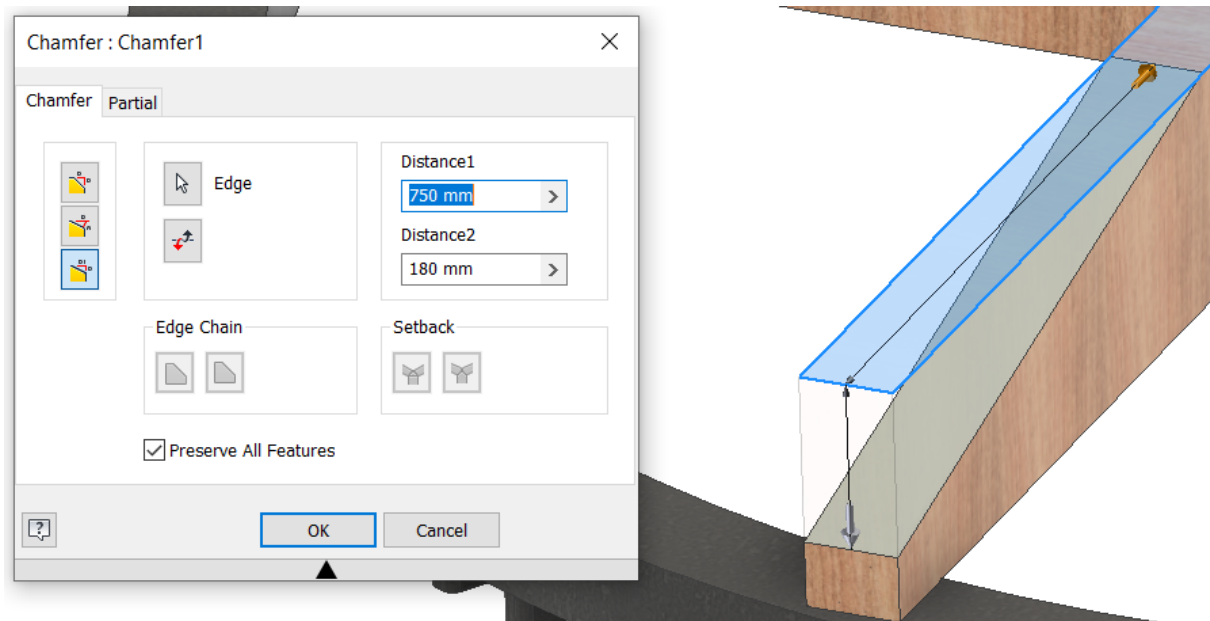


Ilustración 154. Chafán soporte corona dentada.

### 3.1.2.1.22. Listón de sujeción de la corona dentada

Esta pieza se modela mediante la extrusión del croquis 2D con ingletes en los extremos de la Ilustración 155.

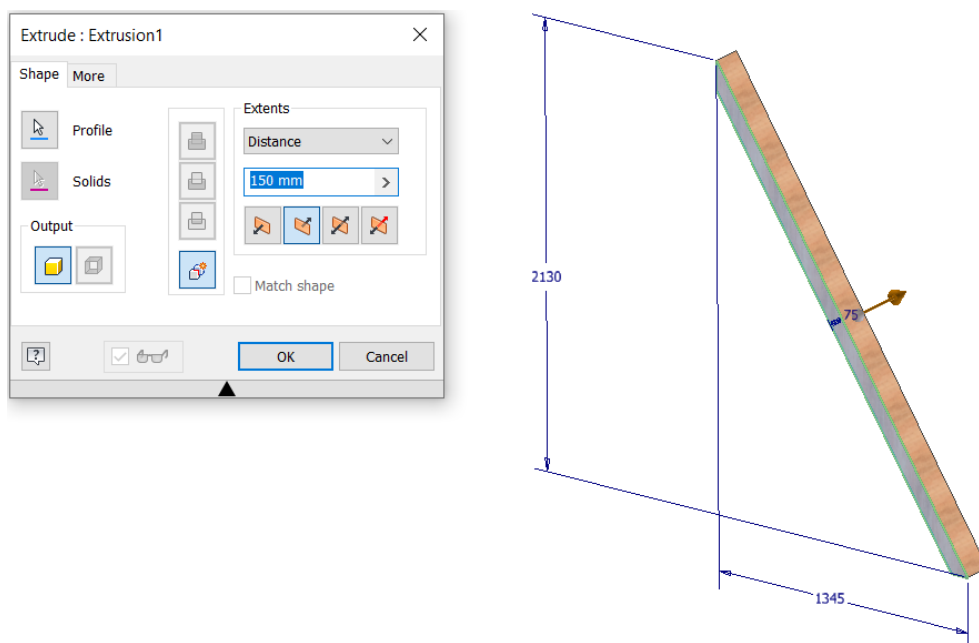


Ilustración 155. Extrusión listón de sujeción de la corona dentada.

### 3.1.2.2. Descripción del ensamblaje

La invención se ha ensamblado a partir de los componentes previamente modelados. A continuación, se explica el proceso de ensamblaje del conjunto.

Primeramente, insertamos el eje principal **(1)** en la base principal **(20)** mediante una restricción de tipo cilíndrica (Ilustración 156). La base principal se fija como “grounded” para mantenerla como referencia inicial en todo el ensamblaje.

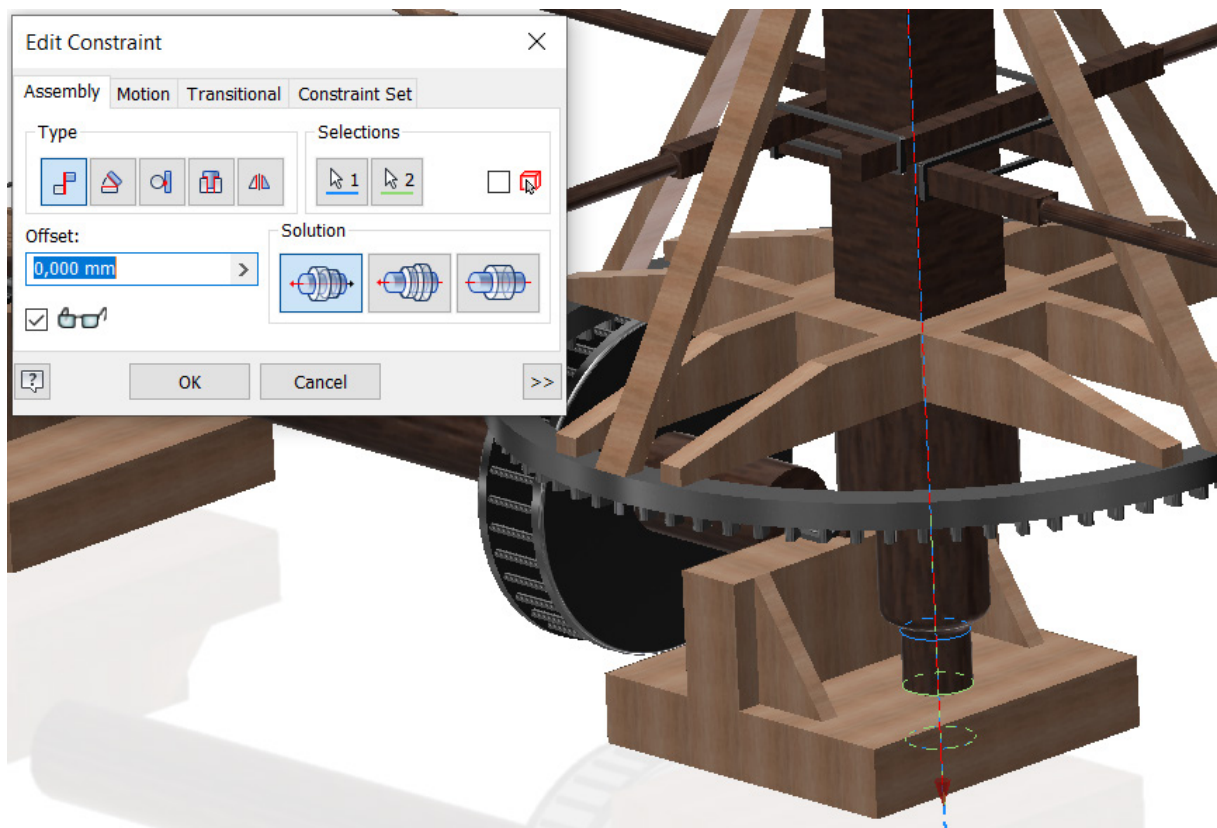


Ilustración 156. Restricción cilíndrica eje principal

Posteriormente, se crea una restricción tipo “mate” sobre las caras del eje principal **(1)** y los brazos de giro **(2)**. Esta misma operación se realiza sobre los listones de sujeción de la corona dentada **(22)** (Ilustración 157).

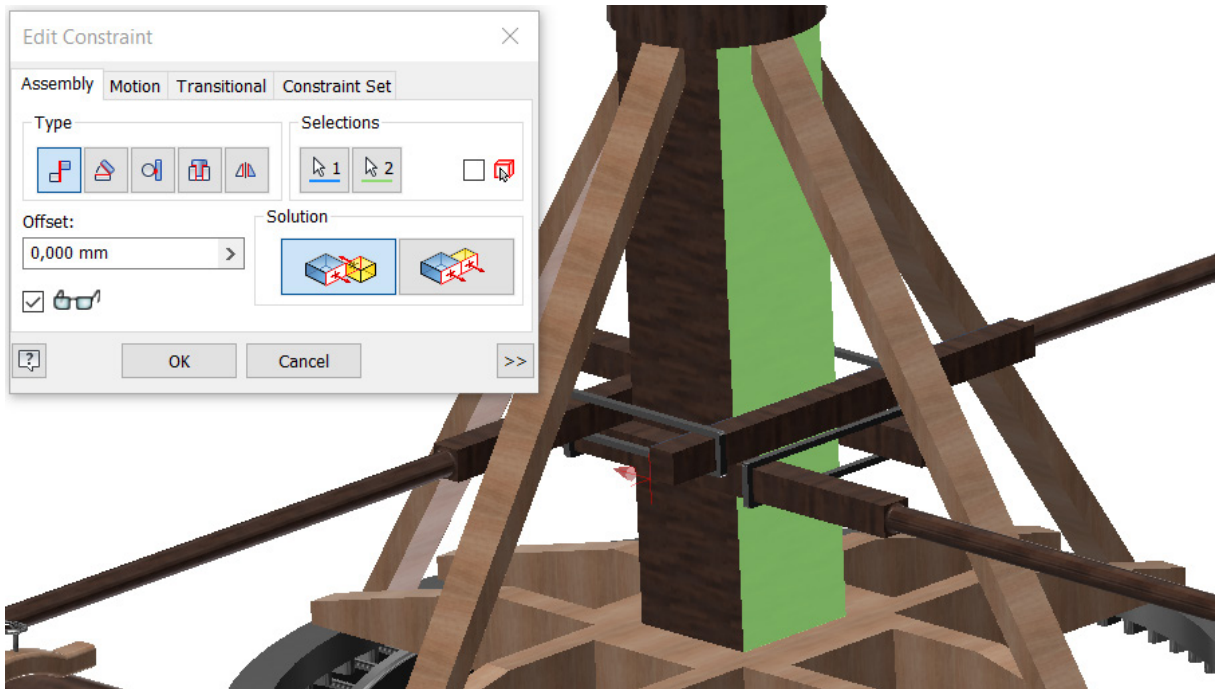


Ilustración 157. Restricción brazos de giro

El soporte de la corona (21) dentada se encuentra restringido mediante una restricción de plano de contacto con la corona dentada (3) (Ilustración 158).

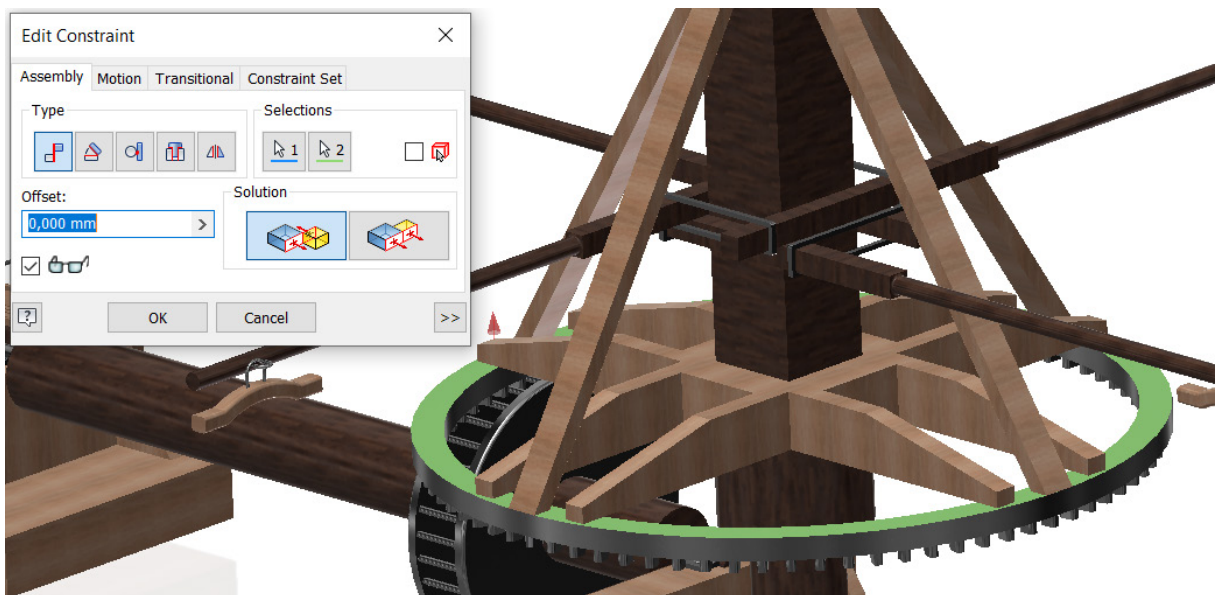


Ilustración 158. Restricción de plano de contacto corona dentada

A continuación, se crea una relación de restricción cilíndrica entre el eje del torno (4) y la base principal (20) (Ilustración 159). El mismo procedimiento se sigue para la inserción de la linterna (19) en el eje del torno (4).

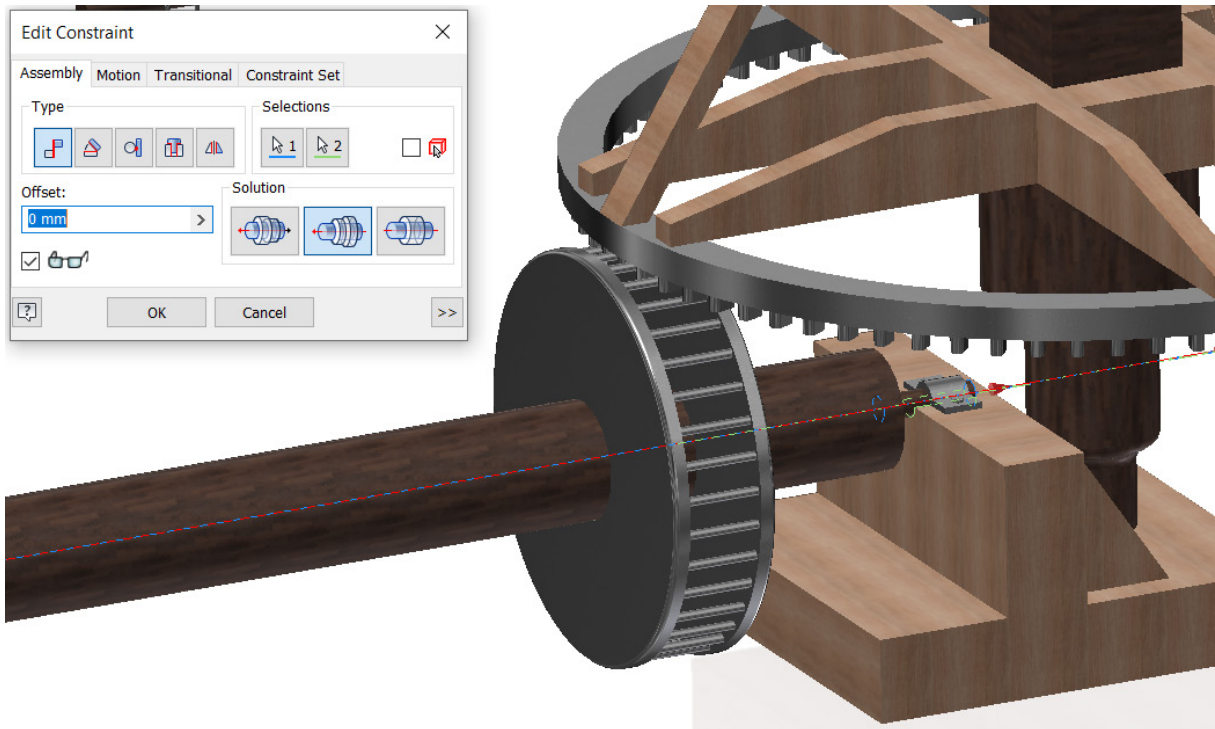


Ilustración 159. Restricción cilíndrica linterna eje del torno

Entre la corona dentada (3) y la linterna del eje del torno (19) se establece una relación de movimiento rotatorio de 2,2 revoluciones de la linterna por cada vuelta de la corona dentada (Ilustración 160).

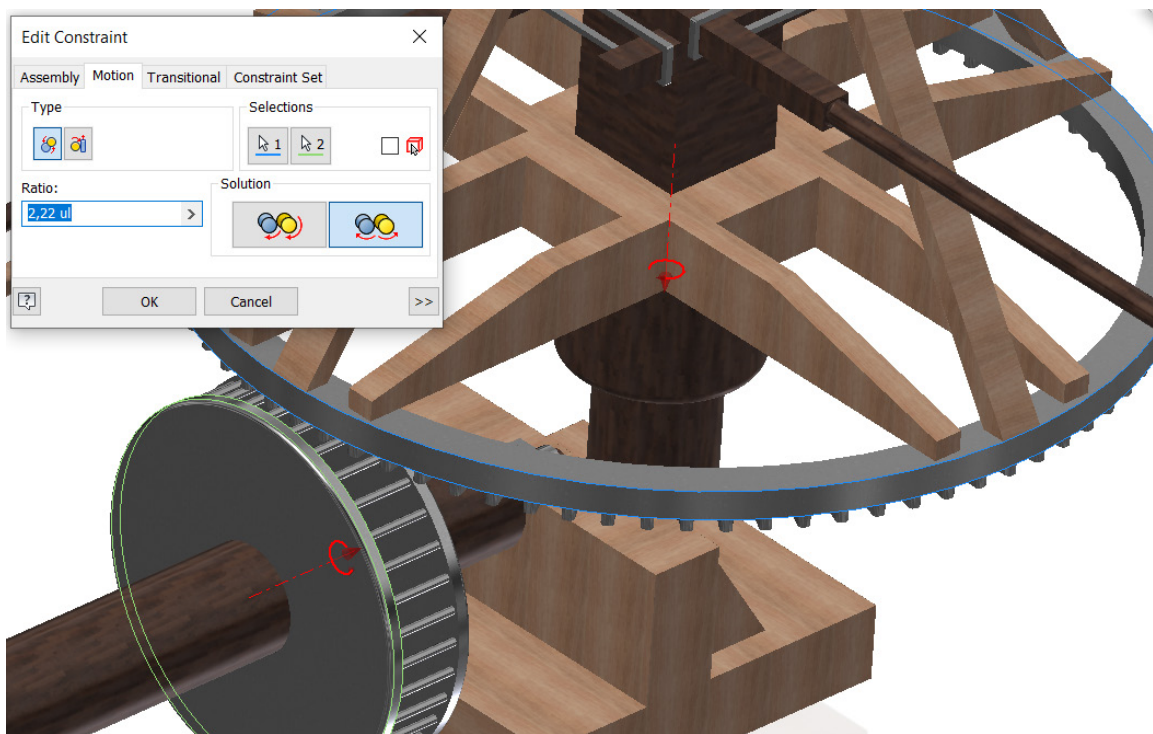


Ilustración 160. Restricción de movimiento linterna del eje del torno

La tabla de la herramienta de torneado exterior (17) es fijada a la bandeja de la herramienta de torneado exterior (8) mediante una restricción de plano de contacto (Ilustración 161).

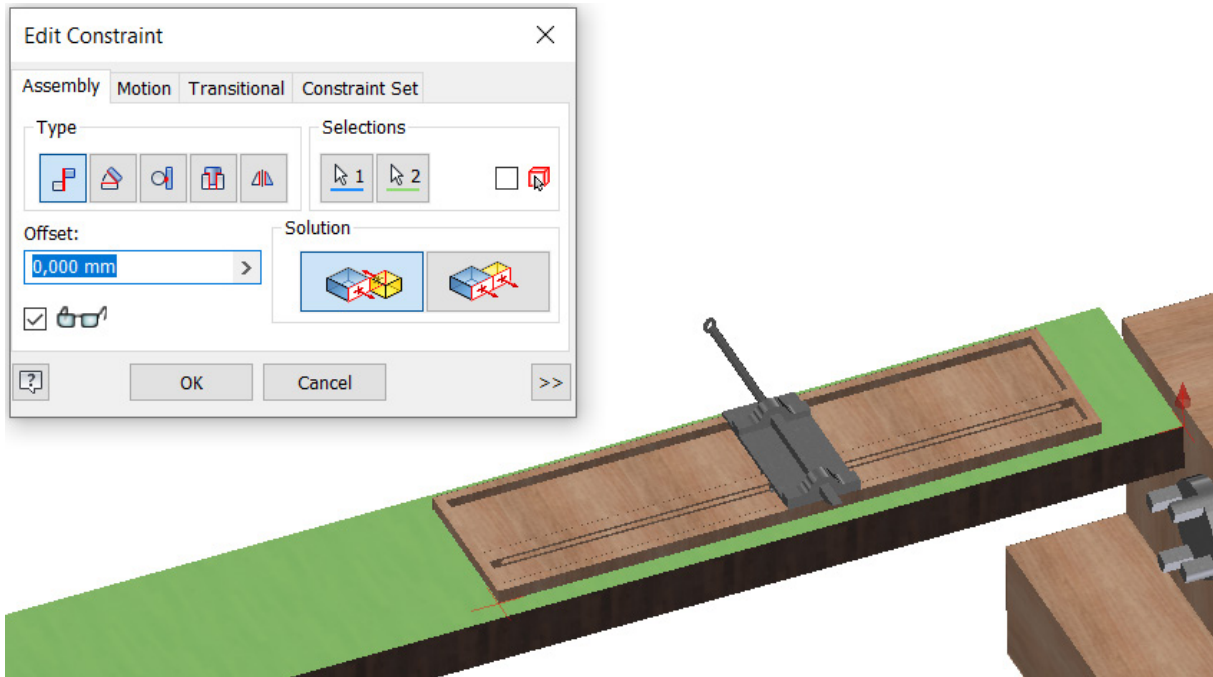


Ilustración 161. Restricción de plano de contacto herramienta de torneado exterior

El siguiente paso es establecer una restricción de contacto de la herramienta de torneado interior (9) y las abrazaderas de la herramienta de torneado interior (11) con la tabla de torneado interior (10) (Ilustración 162).

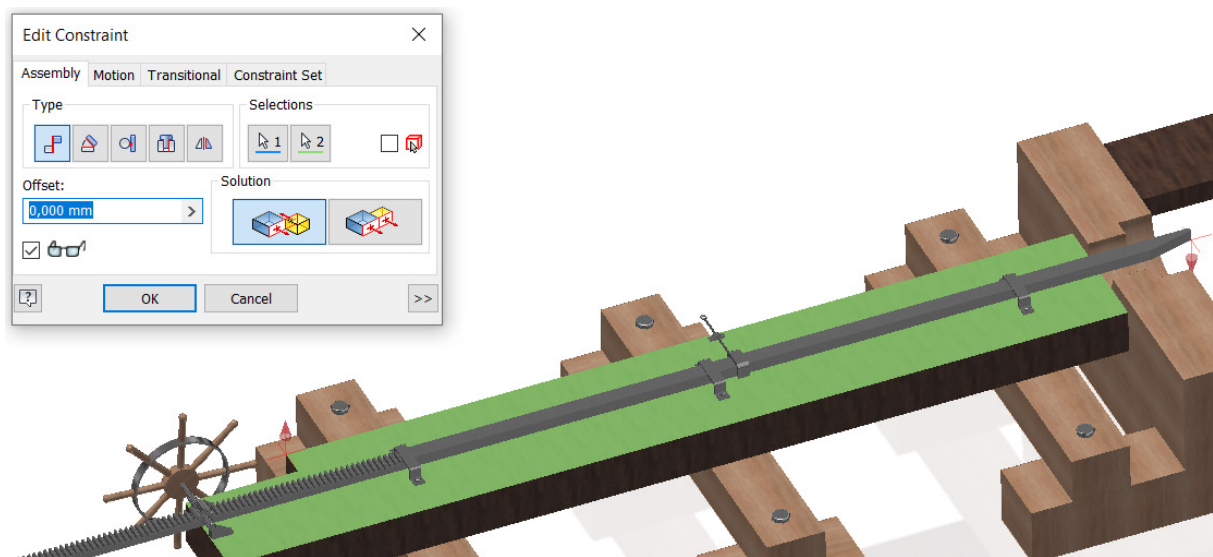


Ilustración 162. Restricción de contacto tabla de torneado interior

Para acotar el desplazamiento lateral de la herramienta de torneado interior (9) se crea una restricción planar avanzada, donde se establece un desplazamiento máximo y mínimo (Ilustración 163).

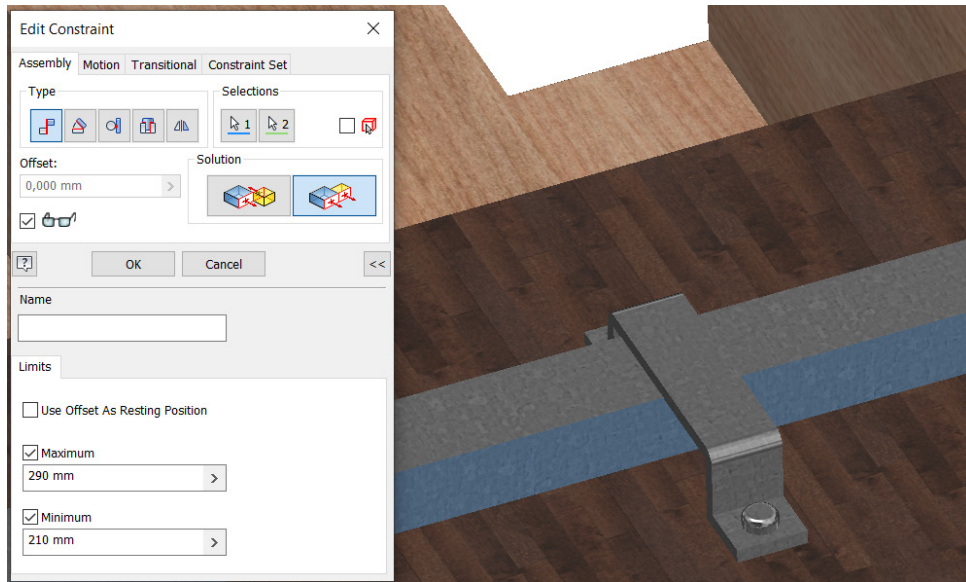


Ilustración 163. Restricción planar avanzada de la herramienta de torneado interior

Finalmente, entre el engranaje de desplazamiento horizontal (12) y la herramienta de torneado interior (9) se establece una relación de movimiento de tipo rotación y traslación (Ilustración 164). La relación establece que por cada revolución del engranaje la herramienta de desplaza 192 mm linealmente.

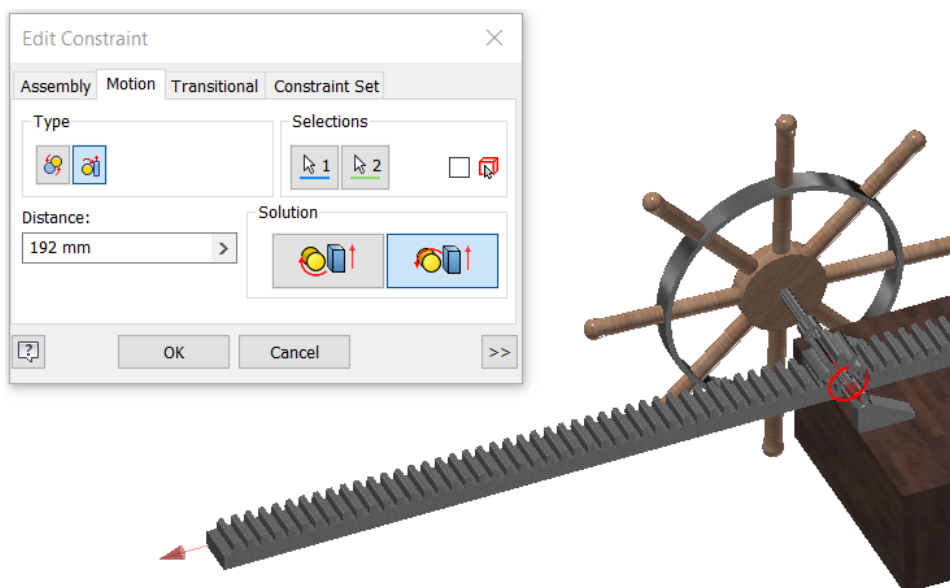


Ilustración 164. Relación de movimiento rotacional-traslacional herramienta de torneado interior.

### 3.2. INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR: ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS

En este apartado se aborda el análisis estático realizado con “Autodesk Nastran 2019”, para validar la resistencia a las cargas soportadas por la invención histórica.

Se ha decidido utilizar el software “Nastran”, ya que es un simulador más avanzado que el módulo de “Stress Analysis” de Autodesk Inventor Professional y, por lo tanto, ofrece resultados mucho más semejantes a la realidad. Este software permite la configuración avanzada del análisis, permitiendo ajustar las cargas y los contactos con más detalle.

Antes de realizar un análisis estático se procede a realizar un análisis modal para asegurarse que dicha invención no funcionaba como mecanismo (algún componente en movimiento), ya que la matriz de rigidez presentaría valores tendiendo a cero en su diagonal, y no sería invertible a la hora de resolver los cálculos.

#### 3.2.1. Cabriolé doble

Se asignan los materiales a las respectivas geometrías con las características mecánicas mostradas en las Ilustraciones 165 y 166.

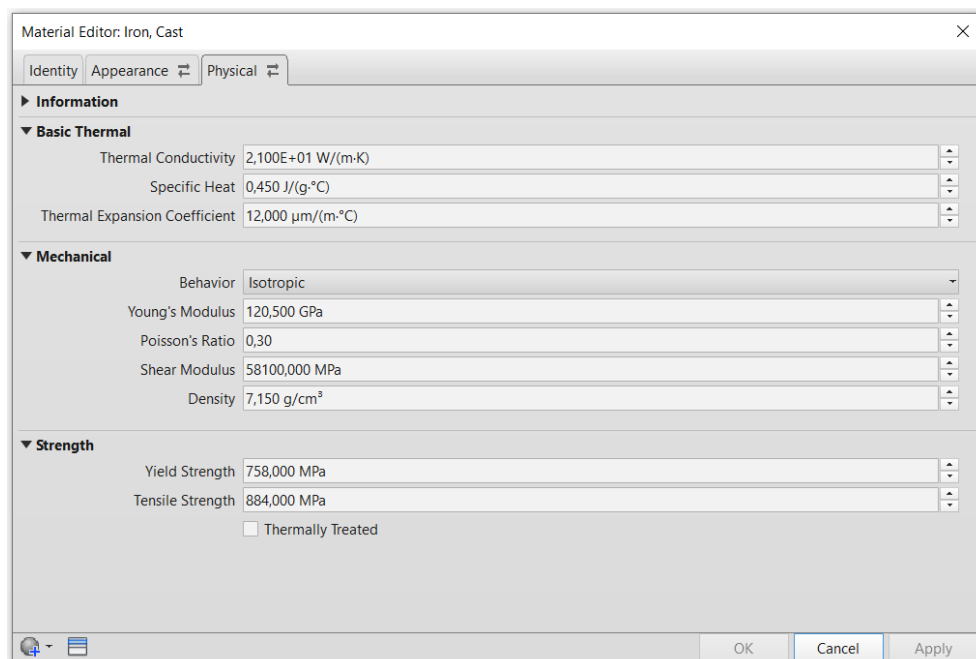


Ilustración 165. Propiedades físicas del hierro fundido.

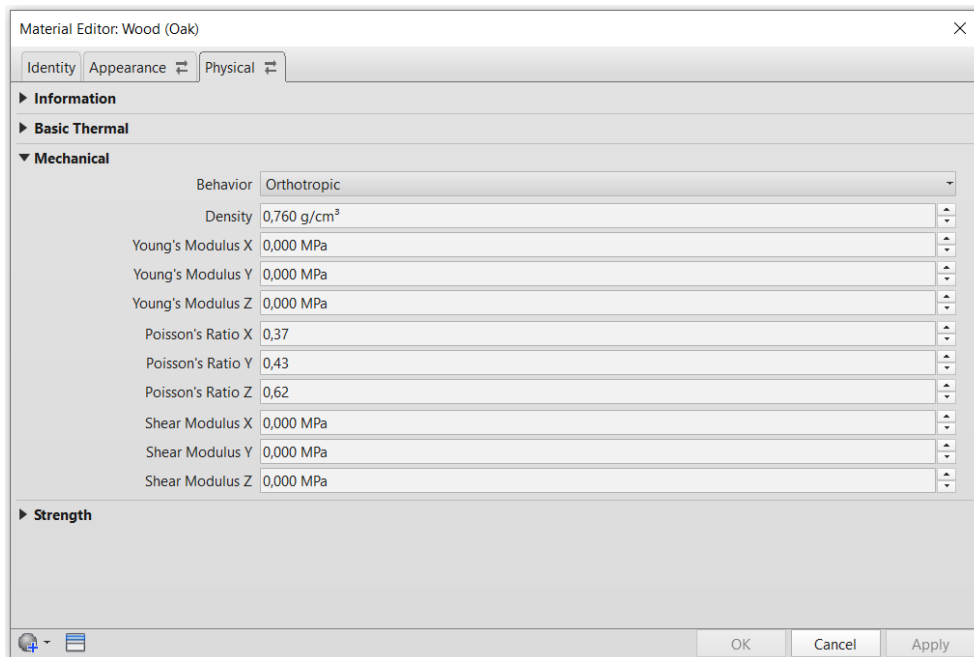


Ilustración 166. Propiedades físicas de la madera de roble.

Para generar el mallado se utiliza un tamaño de elemento de 100 mm, observando que el resultado no varía significativamente si se reduce el tamaño de la malla. Finalmente, se aplica su correspondiente material a cada elemento del ensamblaje (Ilustración 167).

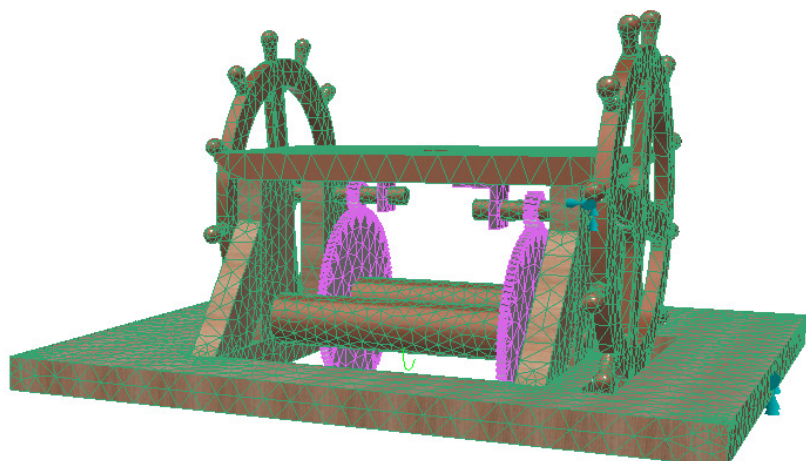
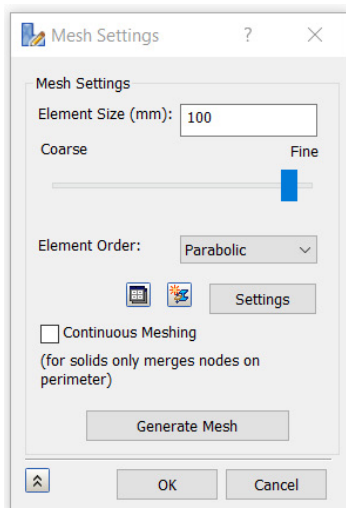


Ilustración 167. Tamaño de malla y materiales.

Seguidamente, se aplica una carga en forma de momento en el eje Z de magnitud  $5 \text{ e}+6 \text{ Nmm}$  (Ilustración 168), simulando el caso más desfavorable. Analizando principalmente el sistema de engranajes, ya que es el elemento que soporta más tensión y sería el primer elemento en sobrepasar el límite elástico.

Se ha supuesto una masa a levantar de 4.700 Kg en el extremo de la polea, siendo el radio del cilindro recogedor de cuerda (5) de 108 mm. Al utilizar un sistema de poleas, la tensión de cada extremo de cuerda es de 46.107 N, generando un momento de fuerza de valor aproximado  $5 \text{ e}+6 \text{ Nmm}$  sobre el rodillo.

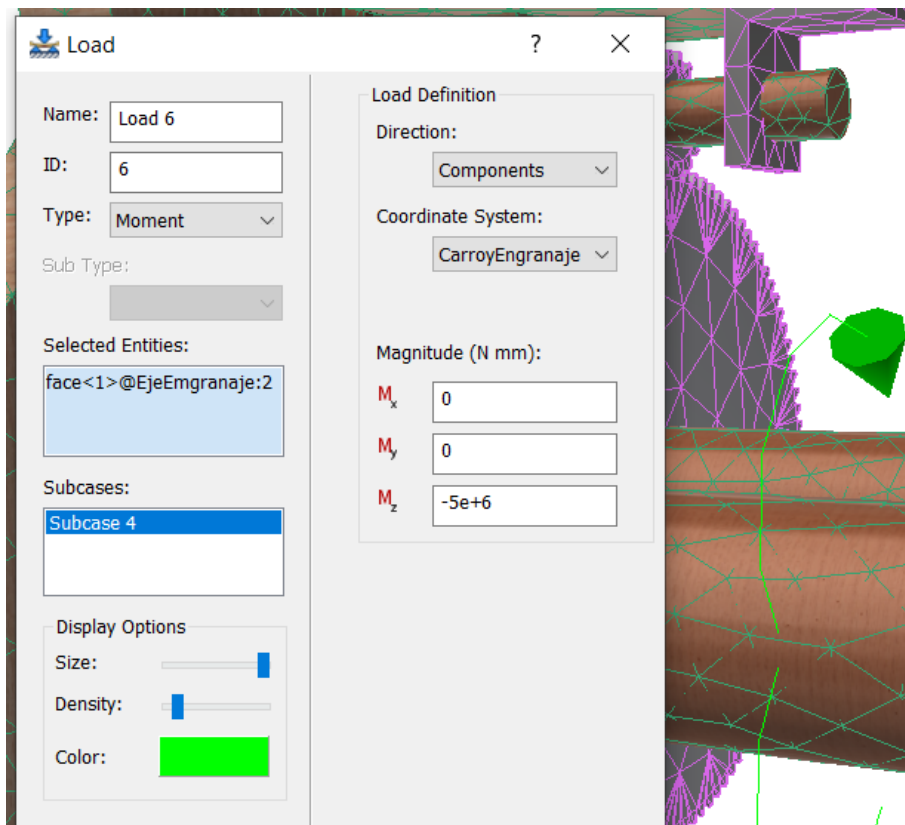


Ilustración 168. Momento aplicado.

Asimismo, en la Ilustración 169 se puede observar que ninguna de las diez primeras frecuencias del análisis modal presenta valores cercanos a ceros, lo que indica que la invención no se comporta como un mecanismo y los cálculos pueden ser resueltos sin problema.

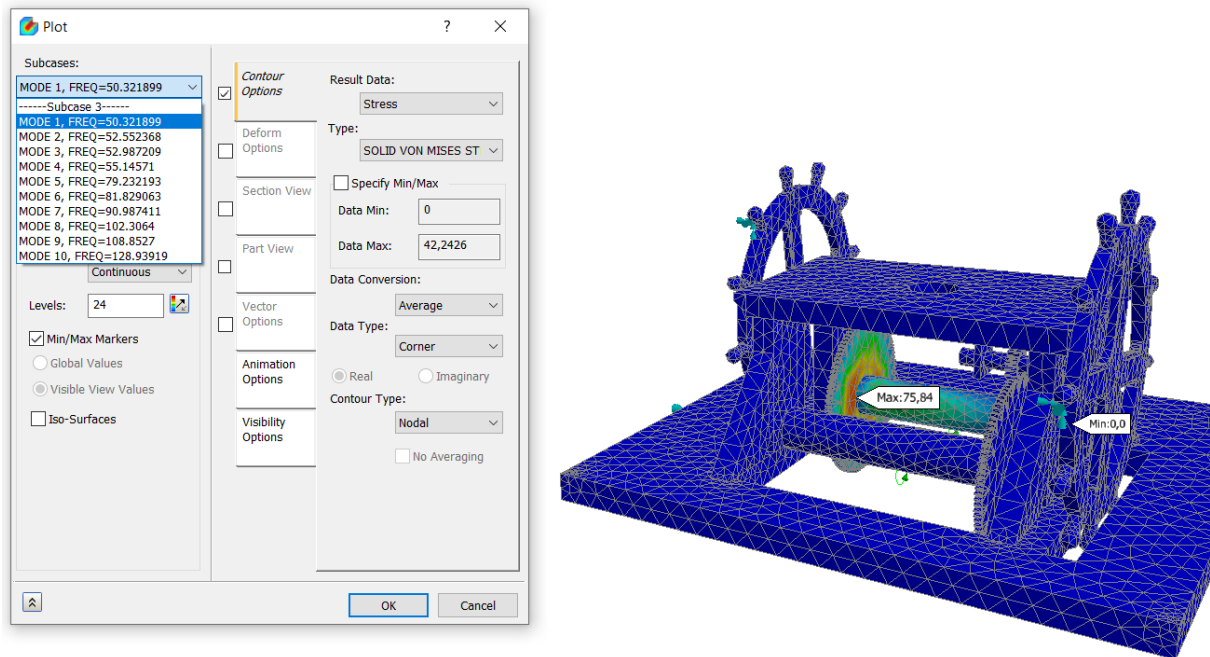


Ilustración 169. Resultados del análisis modal.

Una vez resuelto el análisis estático, se visualizan los resultados de la máxima tensión de Von Mises (Ilustraciones 170 y 171), observándose que el área de mayor tensión se ubica en el contacto del sistema de engranajes, obteniendo un valor máximo de 23,1 MPa. Este valor no supera el límite elástico de ninguno de los materiales empleados y, por lo tanto, se puede concluir afirmando que la máquina no falla por resistencia a la tensión.

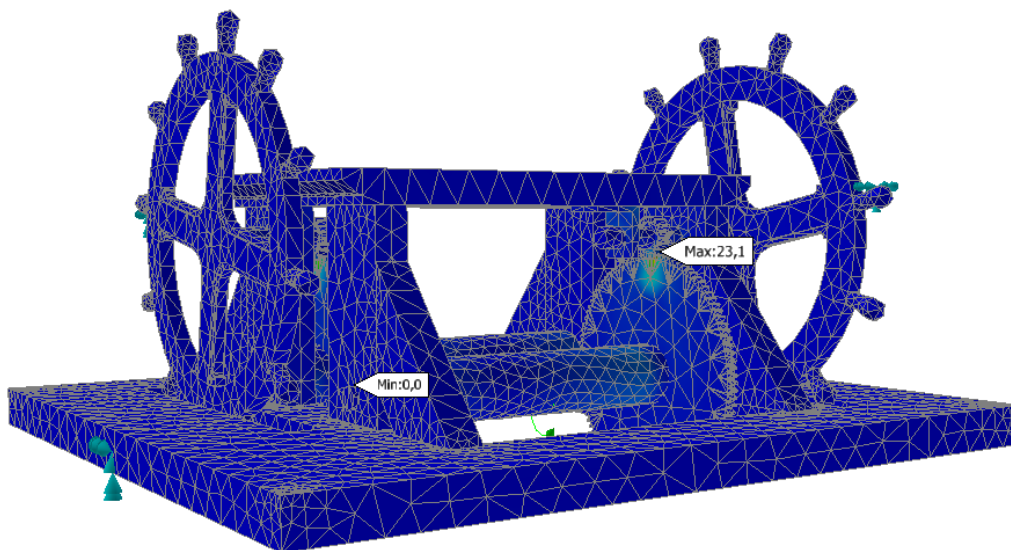


Ilustración 170. Distribución de tensiones de Von Mises.

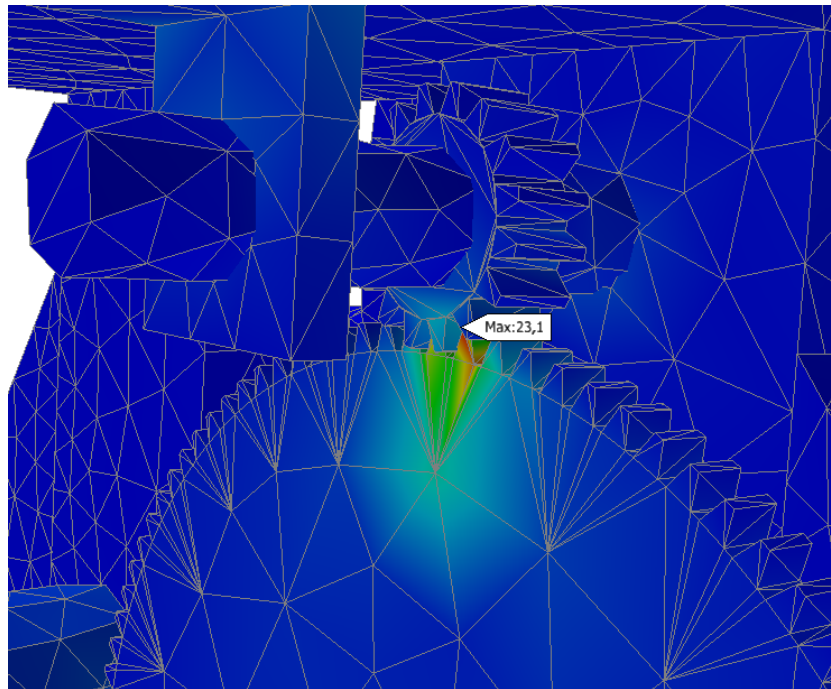


Ilustración 171. Localización del punto de máxima tensión de Von Mises.

En la Ilustración 172 se muestra el resultado de desplazamiento por cargas aplicadas. Se puede observar que el máximo desplazamiento es de 0,1307 mm, ubicado en el rodillo recogedor de la cuerda (5). Este desplazamiento es despreciable con respecto a la magnitud de la invención, por lo que se concluye que no se produce colapso por desplazamiento.

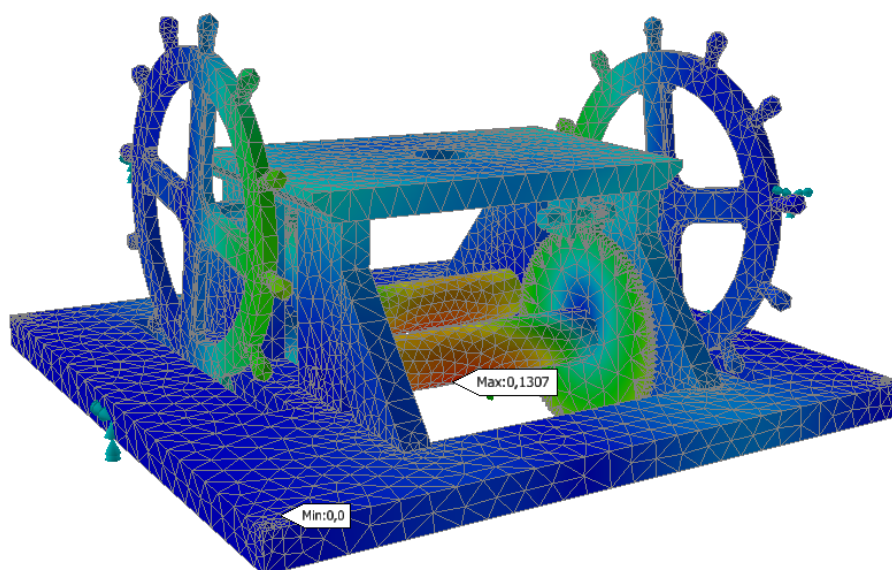


Ilustración 172. Distribución de desplazamientos.

Los resultados anteriores son los esenciales para determinar si una máquina soporta las cargas aplicadas. Adicionalmente, en las Ilustraciones 173 y 174 se incluyen los resultados donde se muestra la rotación y el error en la convergencia de la malla.

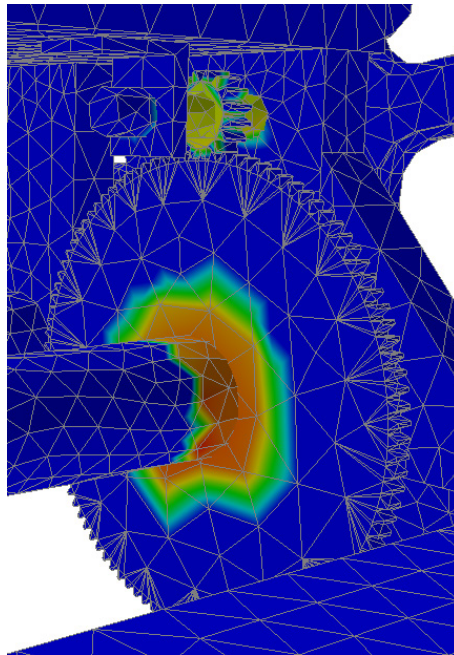


Ilustración 173. Resultado de rotación.

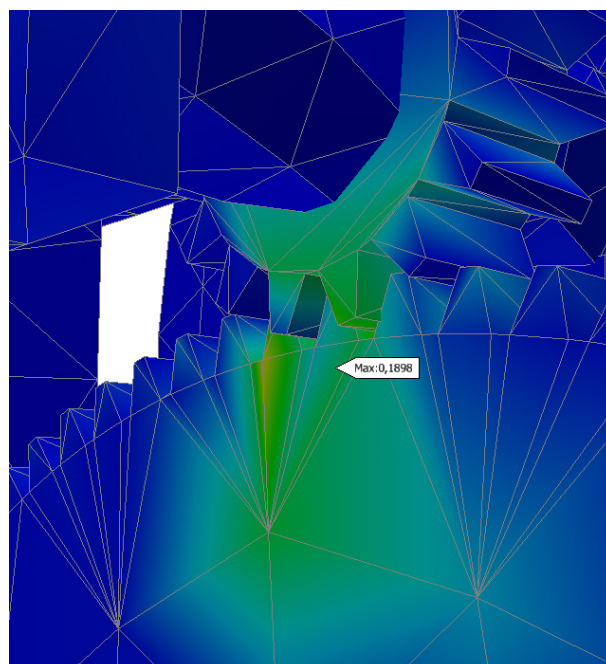


Ilustración 174. Resultado del error en la convergencia de la malla.

Por lo tanto, se puede afirmar que la invención resiste a las cargas aplicadas sin traspasar el límite elástico de ninguno de los materiales, ni presentar desplazamientos significativos.

### 3.2.2. Máquina de barrenar y torneear los cañones

Los materiales asignados en la simulación son los mismos que en la simulación del cabriolé doble, ya que las invenciones pertenecen a la misma época.

En primer lugar, se define el material asignado a cada elemento del ensamblaje y se crea el mallado (Ilustración 175). El mallado se realiza con un tamaño de elemento de 50 mm.

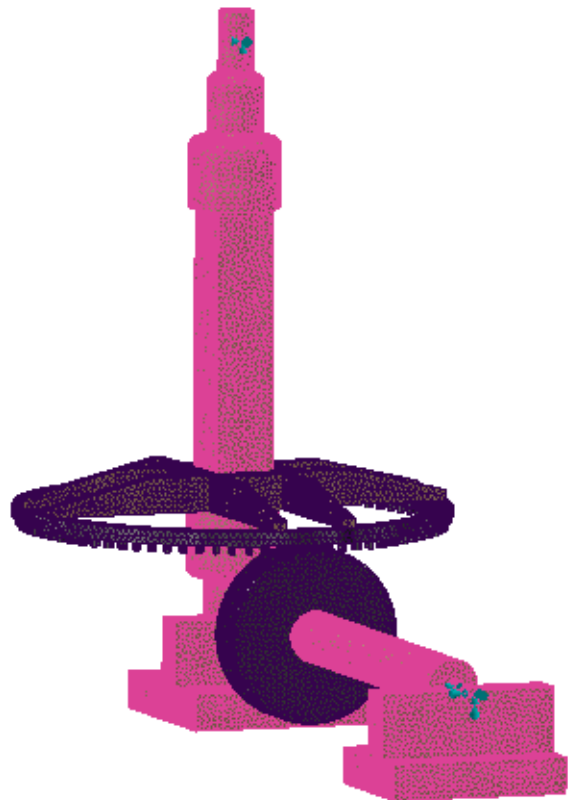
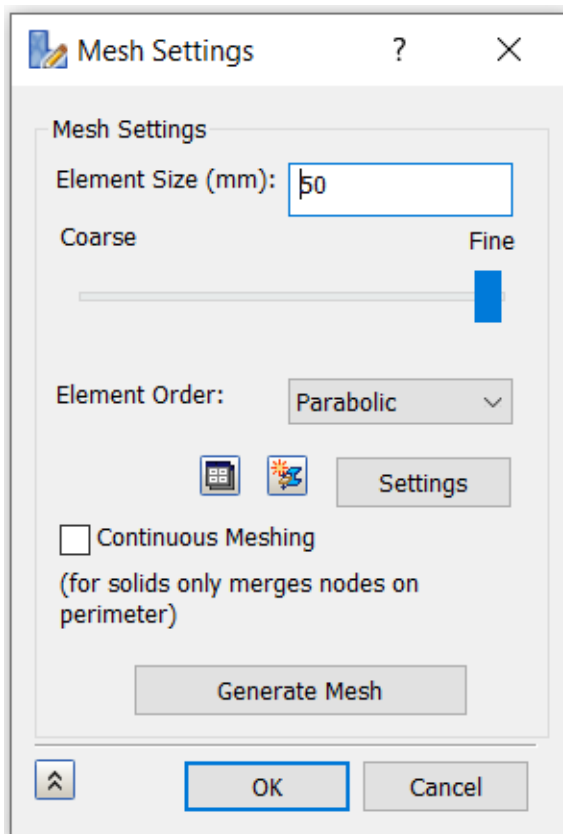


Ilustración 175. Opciones del mallado.

Se crea un contacto manual de tipo “Bonded” entre un diente de la corona dentada (3) y la linterna (19) (Ilustración 176).

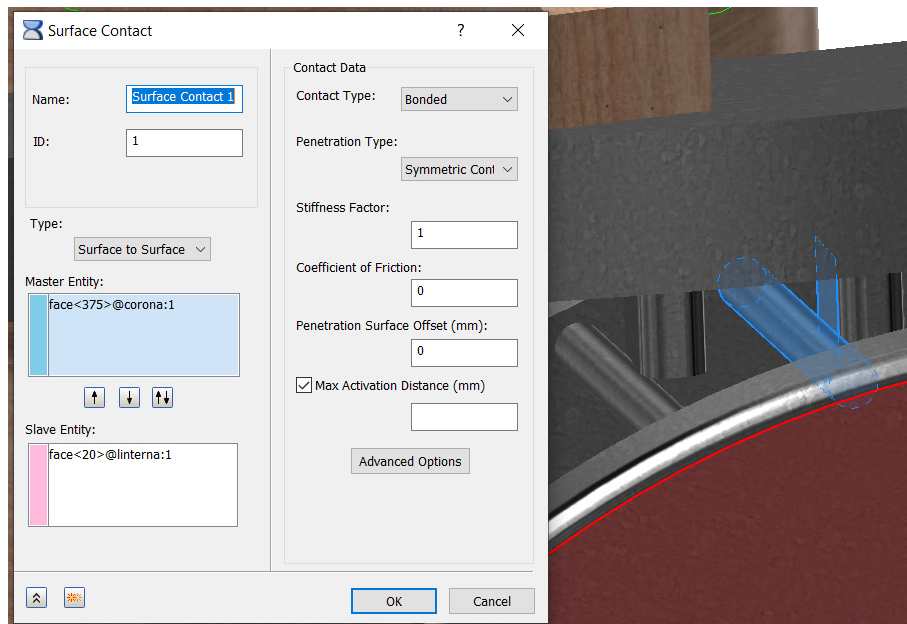


Ilustración 176. Configuración de contacto manual tipo 'Bonded'.

Posteriormente, se procede a configurar las cargas aplicadas. Se crea un momento en el eje principal **(1)** de magnitud  $-8e+7$ , suponiendo una fuerza de 7,3 kN sobre cada brazo de giro **(2)**. Al haber cuatro brazos de giro el momento se cuadruplica, siendo la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza 2,7 m (Ilustración 177).

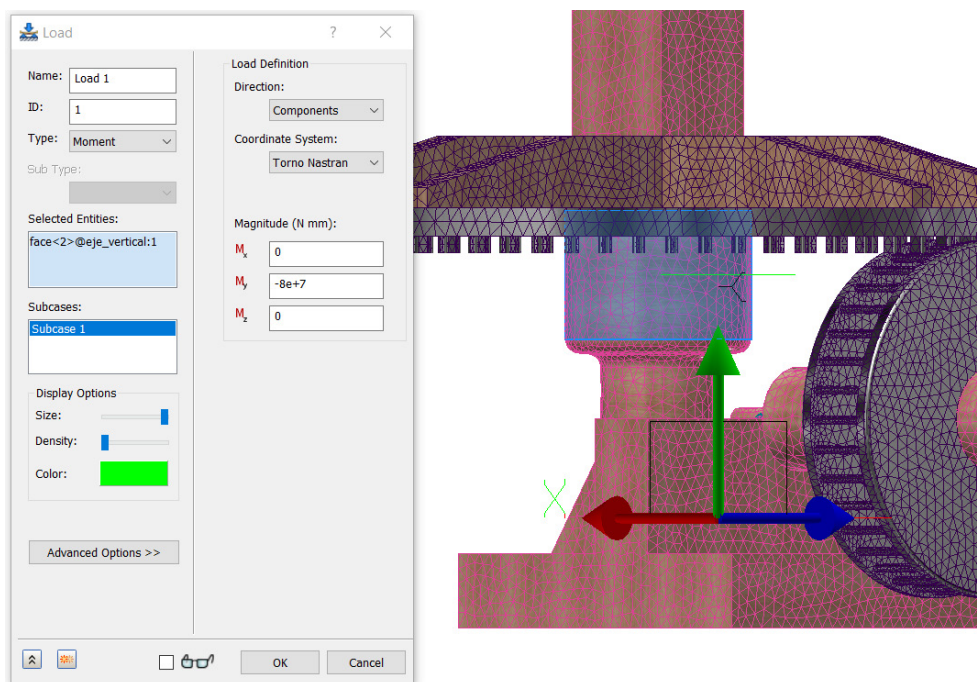


Ilustración 177. Momento aplicado.

Por otro lado, se observa el resultado del análisis modal realizado a la invención (Ilustración 178), donde ninguna de las frecuencias presenta valores cercanos a cero. Esto indica que el ensamblaje no se comporta como un mecanismo y no tiene ninguna parte sin restringir.

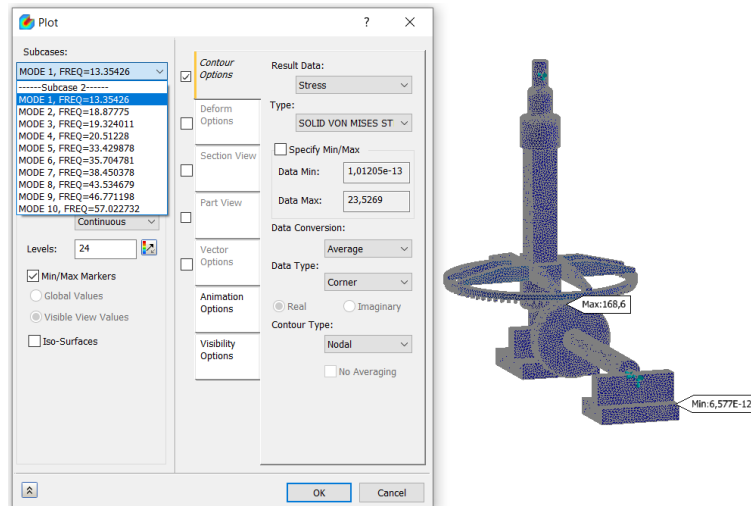


Ilustración 178. Resultados del análisis modal.

Una vez configurados los parámetros anteriores se resuelve el análisis estático lineal. En las Ilustraciones 179 y 180, se puede observar los resultados sobre la tensión de Von Mises (con un valor máximo de 175,6 MPa). El valor máximo de tensión no supera el límite elástico del material por lo que no se deforma plásticamente.

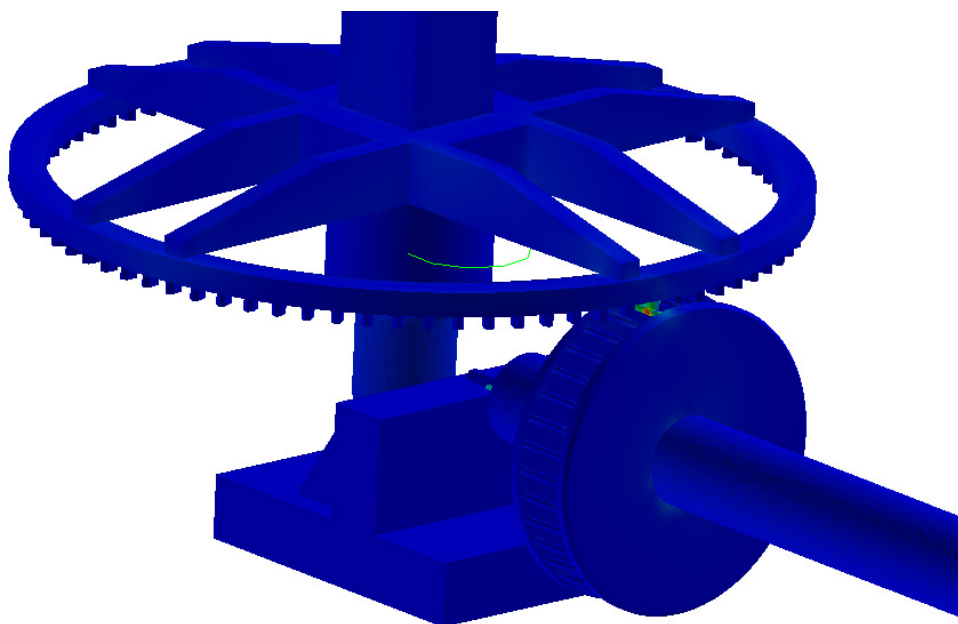


Ilustración 179. Distribución de la tensión de Von Mises.

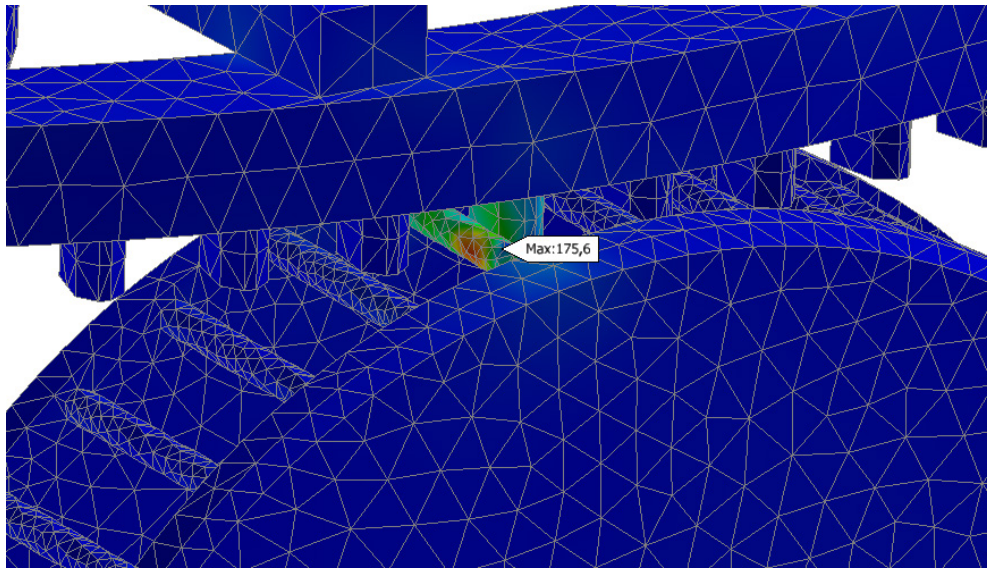


Ilustración 180. Localización del máximo valor de la tensión de Von Mises.

Por otro lado, en la Ilustración 181 se muestra la distribución de desplazamientos de la invención. El valor máximo se encuentra en la parte posterior de la corona dentada (3) con una magnitud de 4,218 mm. Es un valor de desplazamiento considerable, pero teniendo en cuenta el tamaño de la máquina no es relevante este desplazamiento.

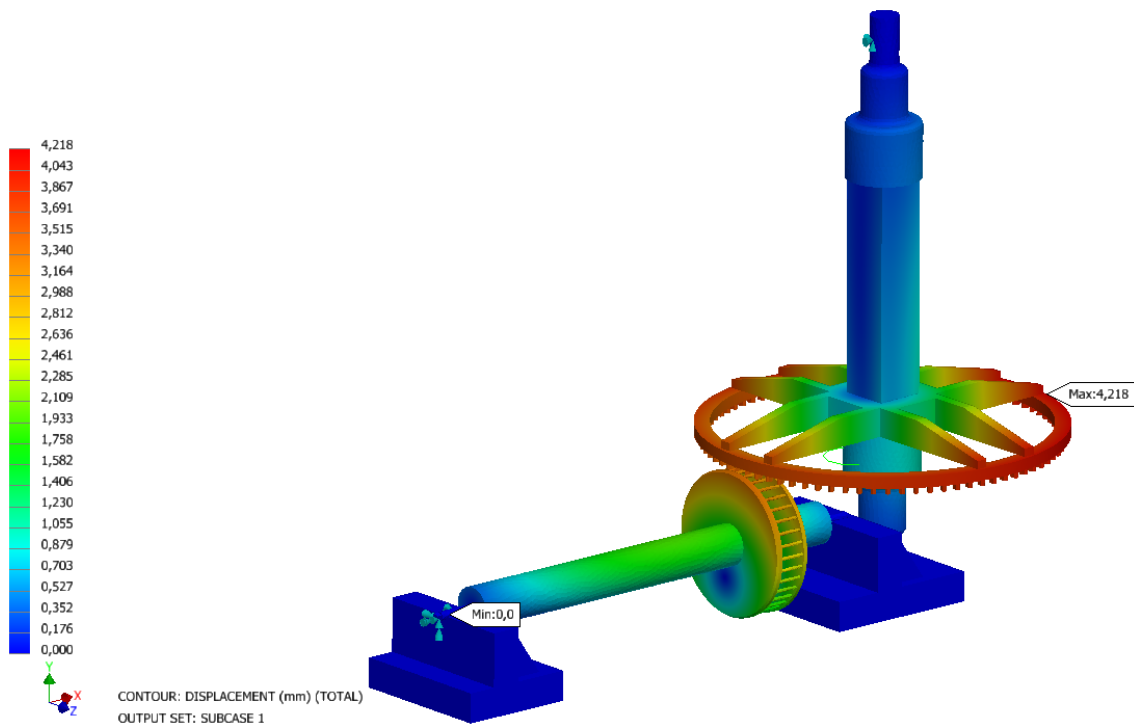
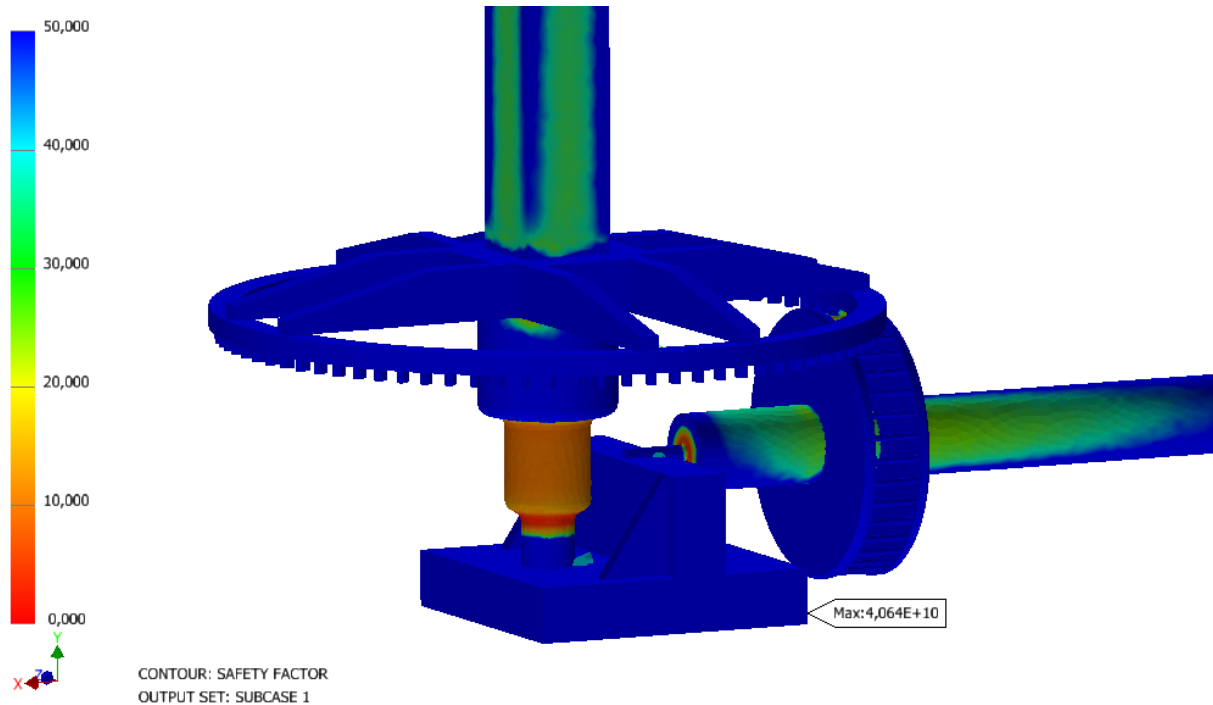


Ilustración 181. Distribución de desplazamientos.

Por último, se representa el factor de seguridad sobre la invención, siendo en todo caso menor de 5 (Ilustración 182).



**Ilustración 182. Distribución de factores de seguridad.**

Por todo lo cual, se puede concluir afirmando que la invención resiste a las cargas aplicadas sin daños considerables.

### 3.3. RECREACIÓN VIRTUAL

En este apartado se aborda el último objetivo del TFG, es decir, obtener una recreación virtual de las invenciones históricas en las que se muestre su funcionamiento. Para ello, como se mencionó anteriormente, se hará uso del entorno de Inventor Studio de Autodesk Inventor Professional 2019.

#### 3.3.1. Cabriolé doble

En primer lugar, se procede a configurar las opciones de animación (Ilustración 183), estableciendo un porcentaje de velocidad de reproducción en el inicio y fin de la animación, así como el tiempo de duración.

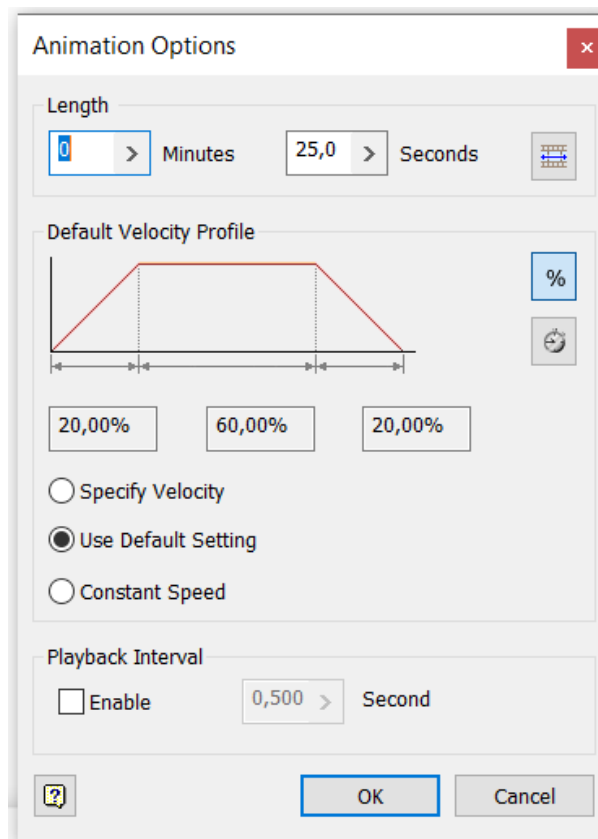


Ilustración 183. Opciones de animación.

Posteriormente se configura la iluminación de fondo, eligiendo el escenario, intensidad y calidez de la luz. Las opciones a elegir se muestran en la (Ilustración 184).

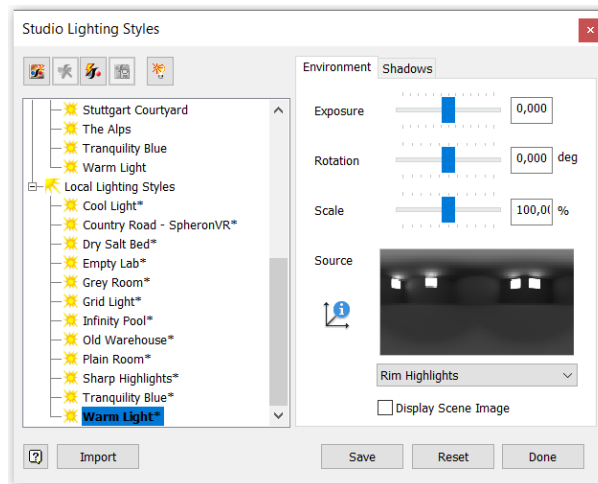


Ilustración 184. Opciones de configuración de la iluminación.

Seguidamente, se establecen las diferentes posiciones de las cámaras y el tipo de transición (Ilustraciones 185 y 186). En estas ilustraciones se especifica el espacio temporal en el que se produce la transición de la vista de la cámara.

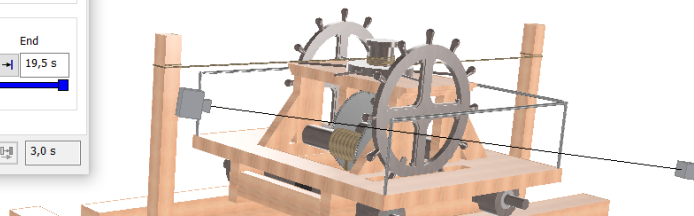
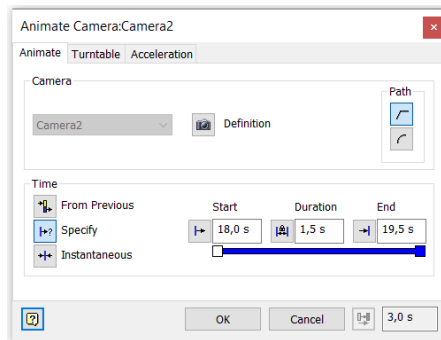


Ilustración 185. Configuración de la cámara 1.

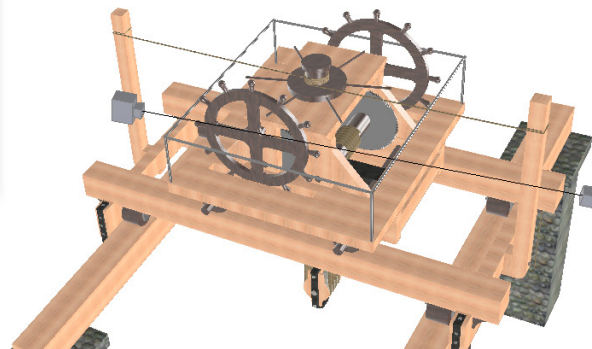
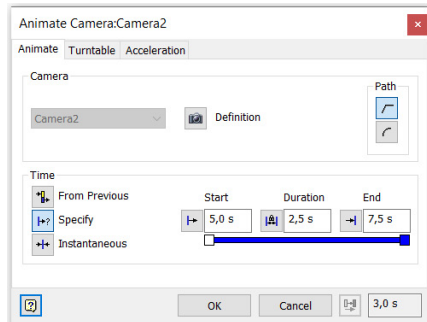


Ilustración 186. Configuración de la cámara 2.

Una vez creado el recorrido de la cámara, se procede a animar restricciones para simular el movimiento de la máquina. Se anima el ángulo de giro entre planos de los ejes (Ilustraciones 187 y 188), estableciendo un giro de  $180^\circ$  en un tiempo de 25 s. Asimismo, se anima la restricción de distancia entre las poleas verticales para crear un descenso de la polea inferior y el movimiento de la cuerda, variando la distancia entre poleas de 1000 mm a 2000 mm en un intervalo de 25 s (Ilustración 189).

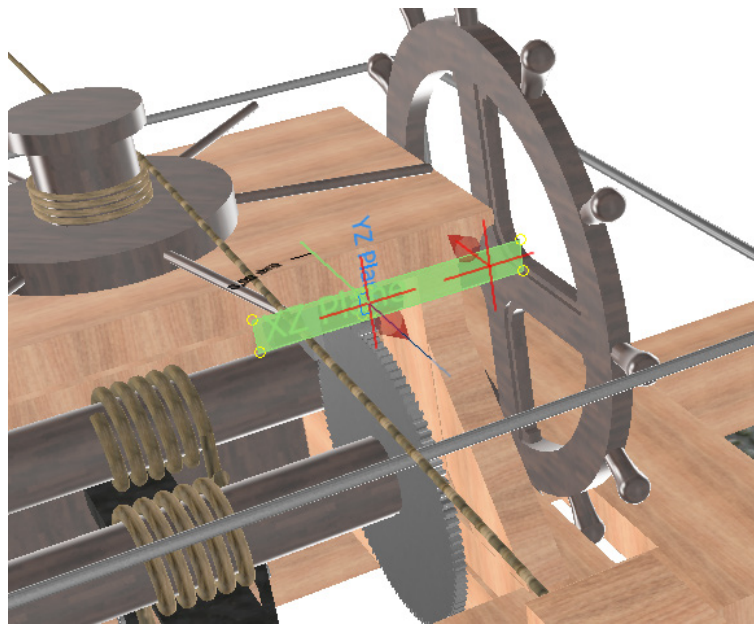


Ilustración 187. Ángulo de giro entre planos de los ejes.

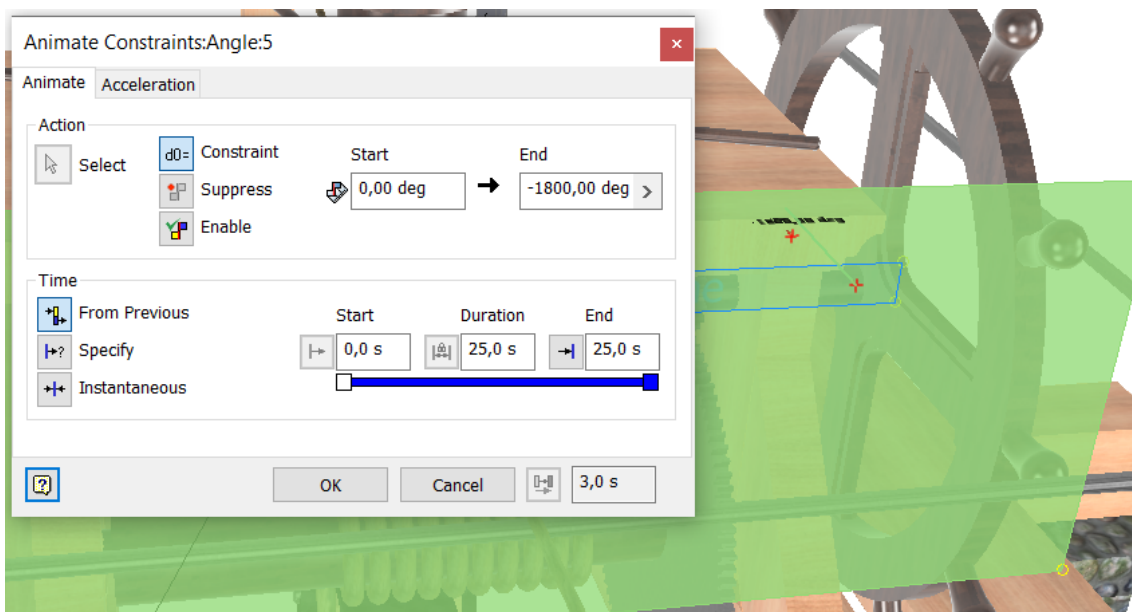


Ilustración 188. Animación del ángulo de giro.

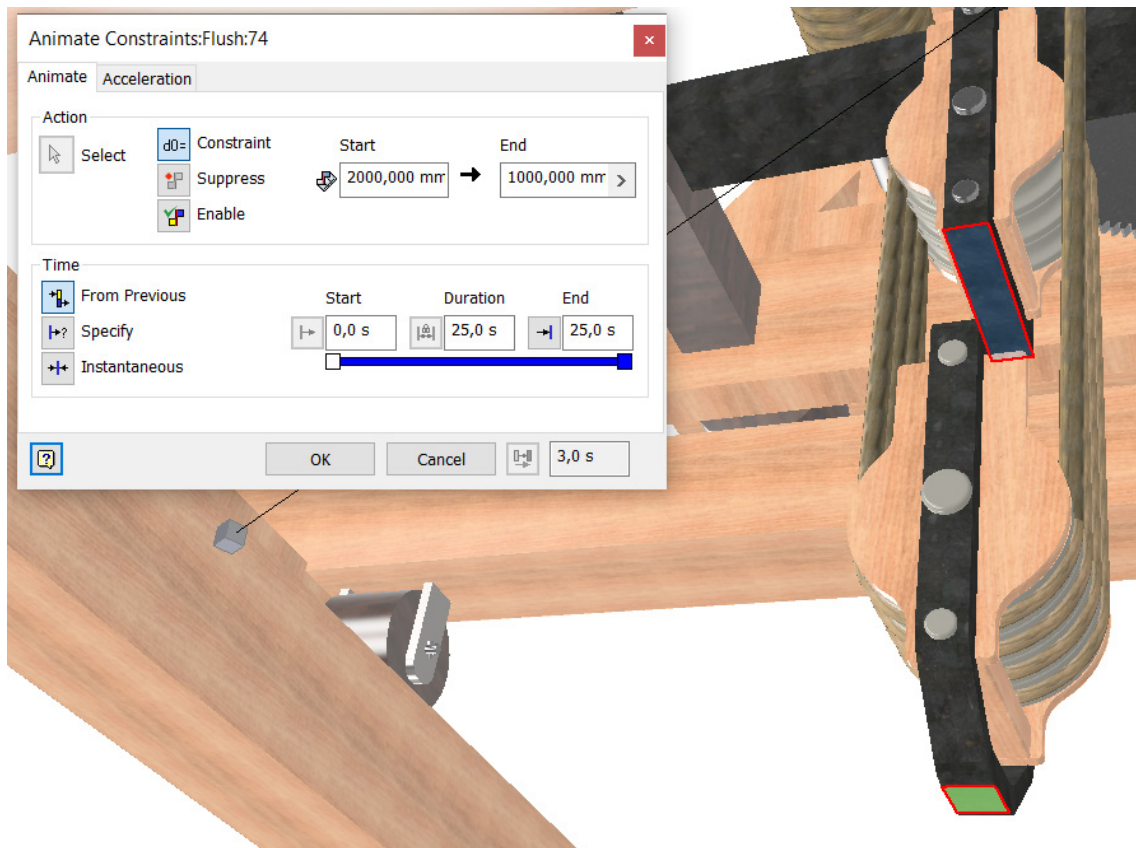


Ilustración 189. Animación de la distancia entre poleas.

Sin embargo, existen algunos elementos que interfieren en la visibilidad del funcionamiento. Este problema se soluciona creando animaciones de transparencia en estos elementos (Ilustración 190).

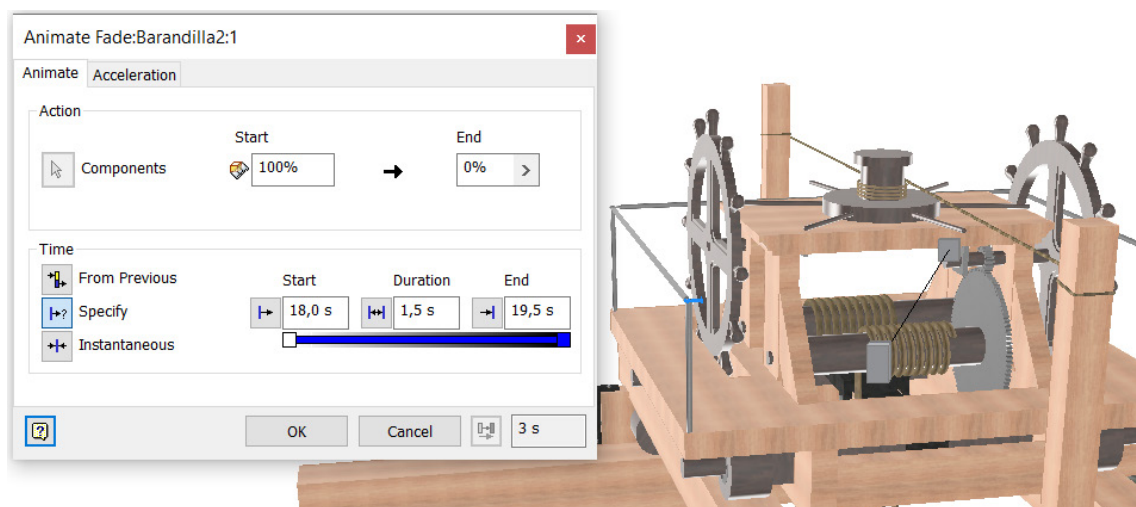


Ilustración 190. Animación de transparencia.

En la Ilustración 191, se muestra el cuadro "Timeline", donde se resumen todas las operaciones realizadas en la animación y su duración.

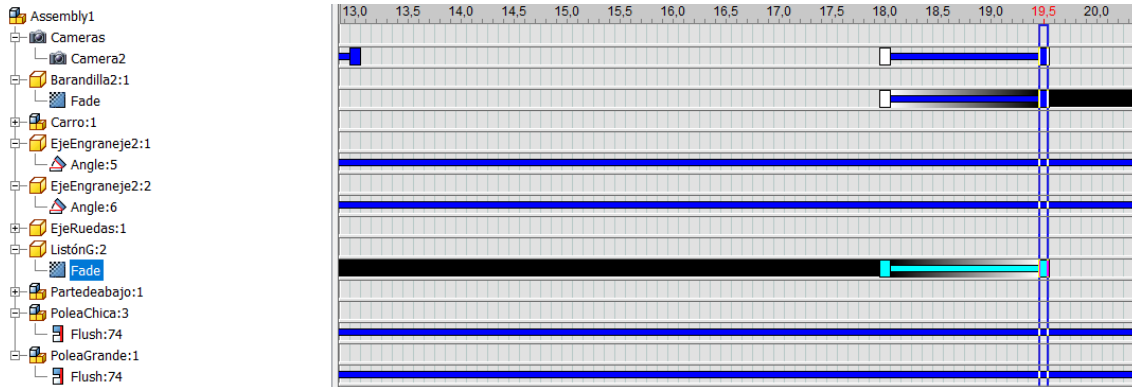


Ilustración 191. Cuadro "Timeline".

Finalmente, se procede a crear un video renderizado de la animación. Los parámetros ajustables (Ilustración 192) modifican la resolución del video, siendo mayor el número de píxeles cuanto mayor es el tamaño de resolución. En la Ilustración 193 se observa que el parámetro más importante es "Frame rate", siendo mayor la fluidez del video cuanto mayor sea el número de frames, y en la Ilustración 194, se muestra el número de iteraciones de renderización, así como la precisión y el tipo de método utilizado para la renderización.

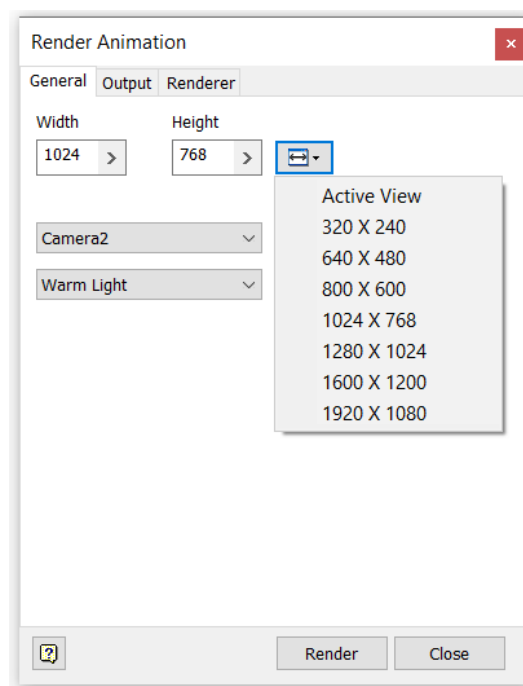


Ilustración 192. Pestaña 'General' de la ventana 'Render Animation'.

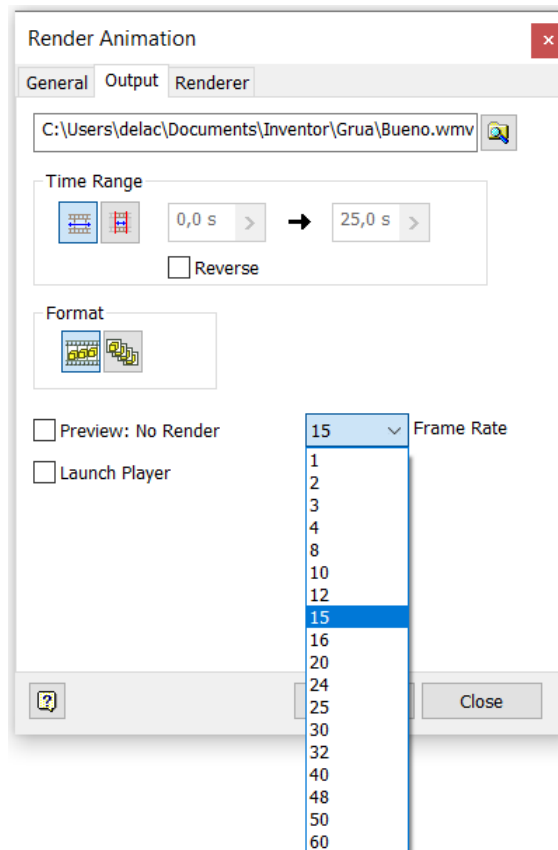


Ilustración 193. Pestaña 'Output' de la ventana 'Render Animation'.

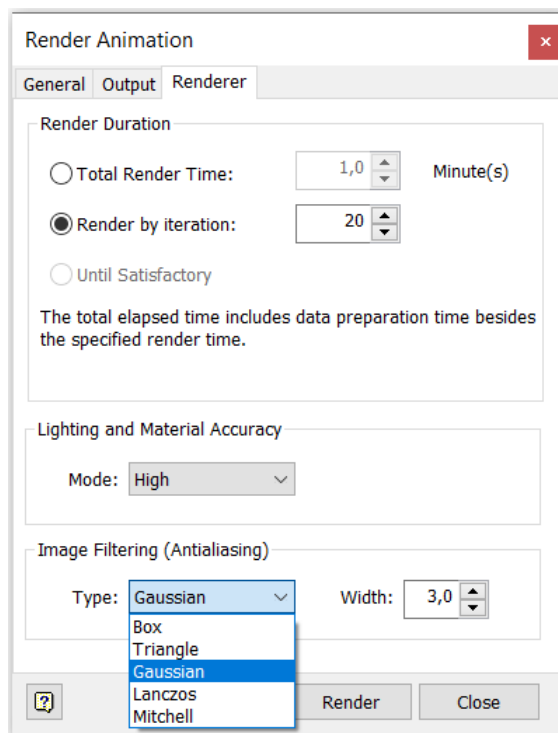


Ilustración 194. Pestaña 'Renderer' de la ventana 'Render Animation'.

### 3.3.2. Máquina de barrenar y tornear los cañones

En primer lugar, se procede a configurar el escenario de luces, eligiendo para este caso el tipo de luces “Old Warehouse” (Ilustración 195).

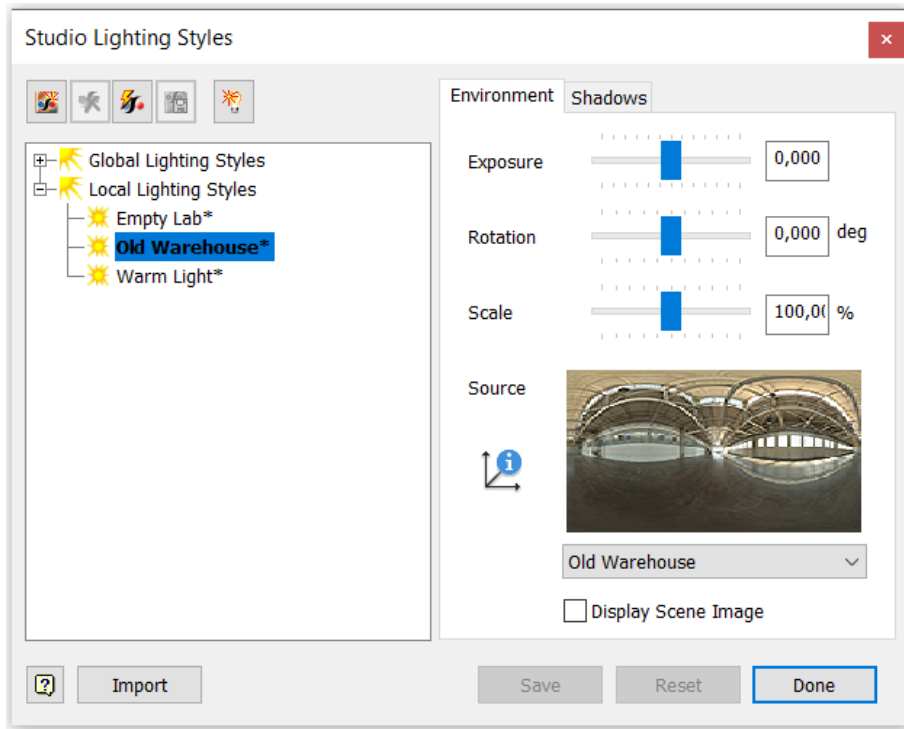


Ilustración 195. Escenario de luces.

A continuación, se establecen las distintas posiciones de la cámara y el recorrido que se va a realizar en la animación (Ilustración 196).

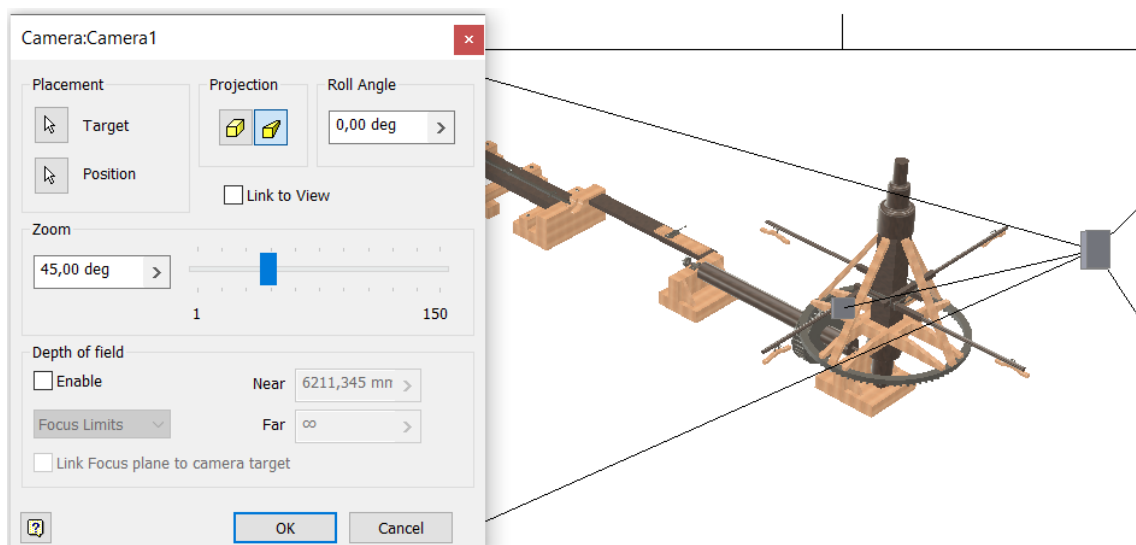
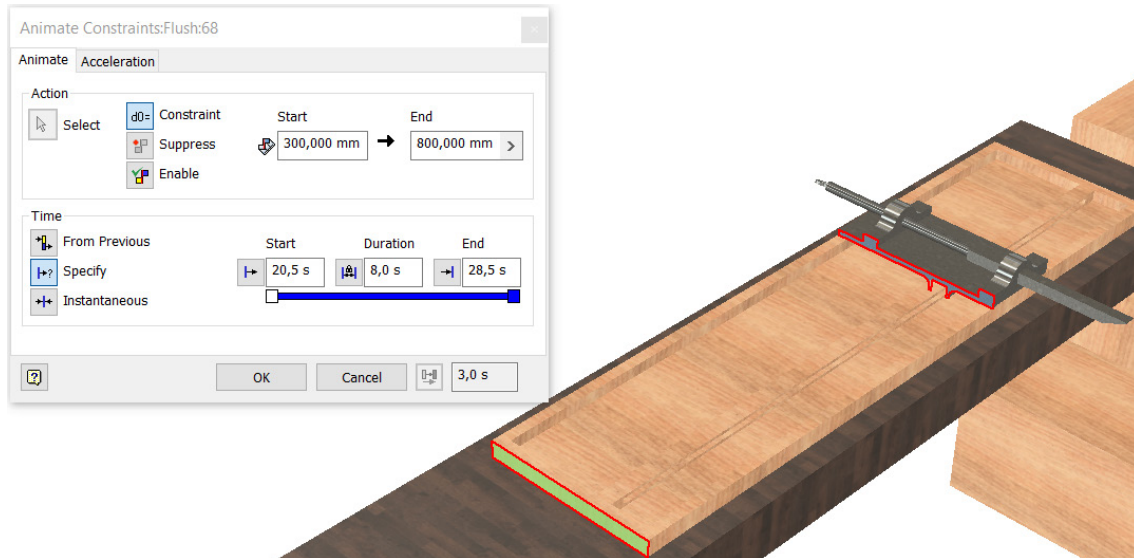
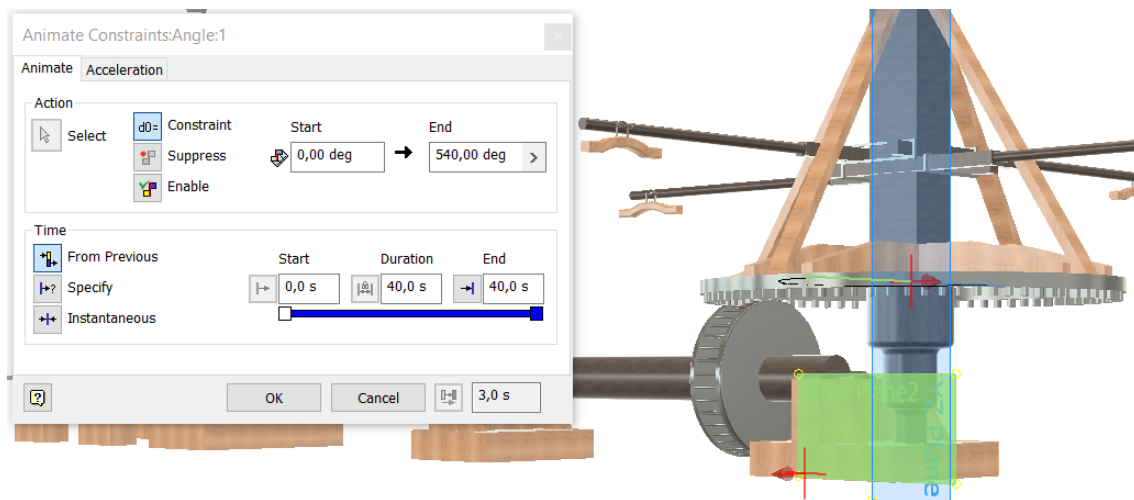


Ilustración 196. Posición y recorrido de la cámara.

Posteriormente, se animan las correspondientes restricciones para realizar los movimientos que se desean sobre la invención (Ilustraciones 197 y 198).



**Ilustración 197. Animación de la restricción de la herramienta de torneado exterior.**



**Ilustración 198. Animación de la restricción del eje principal.**

Finalmente, se configura la calidad de renderizado del video, estableciendo la resolución especificada (Ilustración 199). Se establecen 20 iteraciones de renderizado por cada frame con un filtro de imagen tipo Gaussian (Ilustración 200) y un frame ratio de 10 (Ilustración 201).

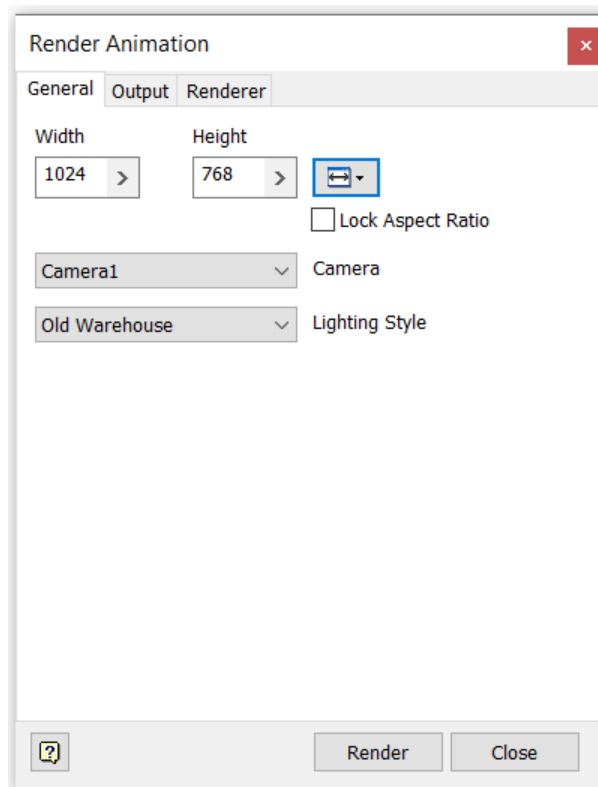


Ilustración 199. Pestaña 'General' de la Ventana 'Render Animation'.

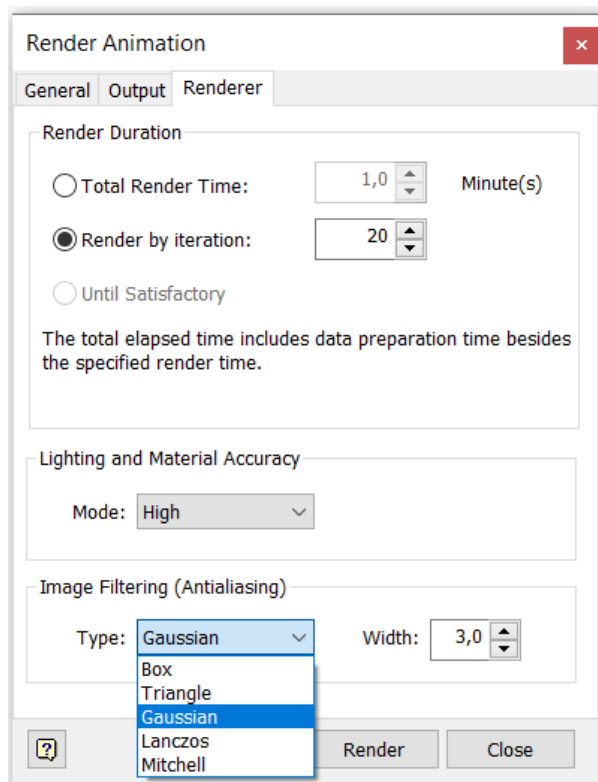


Ilustración 200. Pestaña 'Renderer' de la ventana 'Render Animation'.

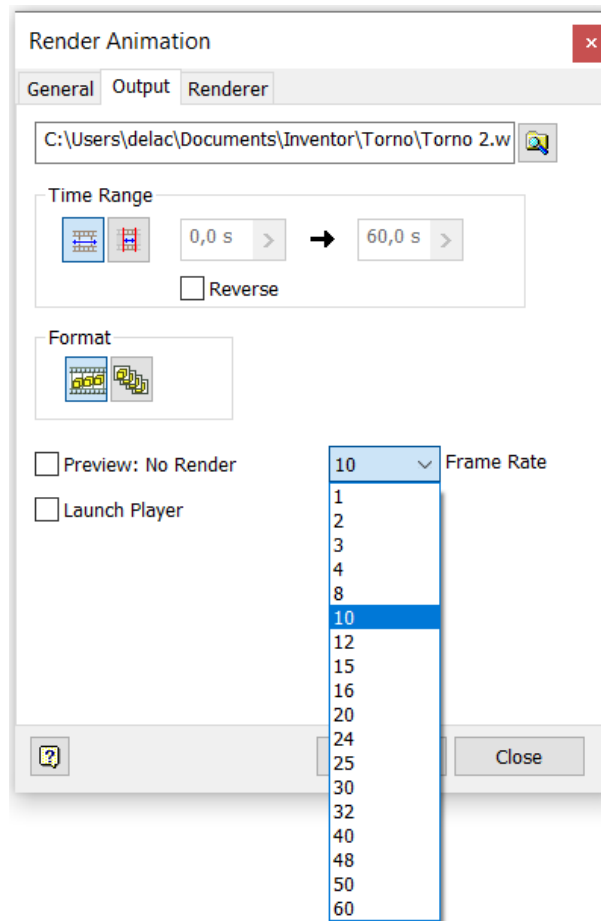


Ilustración 201. Pestaña 'Output' de la ventana 'Render Animation'.

#### 4. CONCLUSIONES

Respecto a la documentación geométrica obtenida, hay que decir que ambas invenciones se han modelizado detalladamente, utilizando para ello los respectivos planos originales como referencia y el software de diseño paramétrico Autodesk Inventor Professional. Así pues, se ha obtenido un modelo CAD 3D lo más fidedigno al modelo proyectado de cada una de las invenciones, es decir, con la mayor exactitud y semejanza posible.

Asimismo, se ha realizado un análisis estático por elementos finitos mediante el software Autodesk Nastran, asumiendo el caso más desfavorable de cargas aplicadas sobre cada invención.

Con relación al análisis estático, y bajo las hipótesis de cargas más desfavorables posibles que se han añadido, se ha comprobado que el cabriolé doble aguanta correctamente los esfuerzos, estando muy lejos de alcanzar su límite elástico. La tensión de Von Mises máxima, ejercida sobre el engranaje de la polea vertical (4), es de 23,1 MPa, un valor bastante lejano del límite elástico de 758 MPa, y el desplazamiento máximo alcanza un valor de 0,13 mm, lo que es despreciable en relación al tamaño de la invención.

Respecto a la máquina para barrenar y torneear las piezas de artillería se ha seguido el mismo criterio, aplicando las cargas más desfavorables posibles, dando lugar a una tensión de Von Mises máxima de 175,6 MPa, ejercida en la linterna del eje del torno (19), muy lejos también del límite elástico del material. Asimismo, el desplazamiento máximo es de 4,218 mm, que a primera vista puede parecer significativo, pero en comparación con el gran tamaño de la máquina es despreciable.

Respecto al factor de seguridad cabe decir que es muy elevado en ambas invenciones debido al gran margen existente entre la tensión máxima de Von Mises y el límite elástico. Esto quiere decir que el diseño está bastante sobredimensionado en ambas máquinas, debido a las limitaciones científicas y tecnológicas para un cálculo avanzado de resistencia de materiales de la época.

Asimismo, se han obtenidos diversas recreaciones virtuales que muestran tanto el funcionamiento de la invención como un desplazamiento dinámico con el fin de mostrar los detalles ocultos a simple vista, incluso variando la opacidad de los sólidos para poder observar el interior correctamente.

Como conclusión final, decir que los resultados tanto del análisis modal como estático de ambas invenciones, indican que resisten perfectamente las solicitaciones a las que se ven sometidas. Finalmente, se comprueba que, a pesar de la falta de tecnología de la época, se consiguió realizar un diseño funcional con los materiales existentes en la misma cumpliendo los criterios de resistencia.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Wikipedia. Tomás de Morla y Pacheco.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tom%C3%A1s\\_de\\_Morla\\_y\\_Pacheco](https://es.wikipedia.org/wiki/Tom%C3%A1s_de_Morla_y_Pacheco).

[2] Morla, T. (1803). Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del Real Cuerpo de Artillería. Tomo I. 2ª edición corregida por D. Martín García y Loygorri (1812). Segovia: Imprenta de Josef Espinosa.

[3] Morla, T. (1803). Láminas pertenecientes al Tratado de Artillería que se enseña en el Real Colegio Militar de Segovia. Tomo IV. Madrid: Imprenta Real.

## **6. ANEXO: PLANOS**

### **CABRIOLÉ DOBLE**

Plano 1: Plano de conjunto

Plano 2: Plano de detalle de la marca 1: Bastidor principal

Plano 3: Plano de detalle de la marca 2: Bastidor secundario

Plano 4: Plano de detalle de la marca 3: Viga R

Plano 5: Plano de detalle de la marca 4: Engranaje polea vertical

Plano 6: Plano de detalle de la marca 5: Rodillo recogedor de cuerda

Plano 7: Plano de detalle de la marca 6: Columna apoyo

Plano 8: Plano de detalle de la marca 7: Eje bastidor principal

Plano 9: Plano de detalle de la marca 8: Timón Z

Plano 10: Plano de detalle de la marca 9: Timón L

Plano 11: Plano de detalle de la marca 10: Baranda

Plano 12: Plano de detalle de la marca 11: Sujeción cuerda al bastidor

Plano 13: Plano de detalle de la marca 12: Polea vertical secundaria

Plano 14: Plano de detalle de la marca 13: Rueda T

Plano 15: Plano de detalle de la marca 14: Rueda A

Plano 16: Plano de detalle de la marca 15: Polea K

Plano 17: Plano de detalle de la marca 16: Polea desplazamiento horizontal

JUAN ALFONSO  
DE LA CHICA MORAL

INGENIERÍA GRÁFICA E INGENIERÍA ASISTIDA POR  
ORDENADOR DE INVENCIONES HISTÓRICAS DEL  
TRATADO DE ARTILLERÍA DE TOMÁS DE MORLA  
RELATIVAS A LA FUNDICIÓN DE ARTILLERÍA

Plano 18: Plano de detalle de la marca 17: Escuadra bastidor secundario

Plano 19: Plano de detalle de la marca 18: Poste G

Plano 20: Plano de detalle de la marca 19: Rueda corredera lateral

Plano 21: Perspectiva estallada

## **MÁQUINA PARA BARRENAR Y TORNEAR LAS PIEZAS DE ARTILLERÍA**

Plano 1: Plano de conjunto

Plano 2: Plano de detalle de la marca 1: Eje principal

Plano 3: Plano de detalle de la marca 2: Brazo de giro

Plano 4: Plano de detalle de la marca 3: Corona dentada

Plano 5: Plano de detalle de la marca 4: Eje del torno

Plano 6: Plano de detalle de la marca 5: Abrazadera del eje del torno

Plano 7: Plano de detalle de la marca 6: Agarre del torno

Plano 8: Plano de detalle de la marca 7: Herramienta de torneado exterior

Plano 9: Plano de detalle de la marca 8: Bandeja de torneado exterior

Plano 10: Plano de detalle de la marca 9: Herramienta torneado interior

Plano 11: Plano de detalle de la marca 10: Tabla torneado interior

Plano 12: Plano de detalle de la marca 11: Abrazadera torneado interior

Plano 13: Plano de detalle de la marca 12: Engranaje desplazamiento horizontal

Plano 14: Plano de detalle de la marca 13: Timón torneado interior

Plano 15: Plano de detalle de la marca 14: Soporte tabla torneado interior

Plano 16: Plano de detalle de la marca 15: Base de listón de soporte

Plano 17: Plano de detalle de la marca 16: Base torneado interior

Plano 18: Plano de detalle de la marca 17: Tabla torneado exterior

Plano 19: Plano de detalle de la marca 18: Base del torno

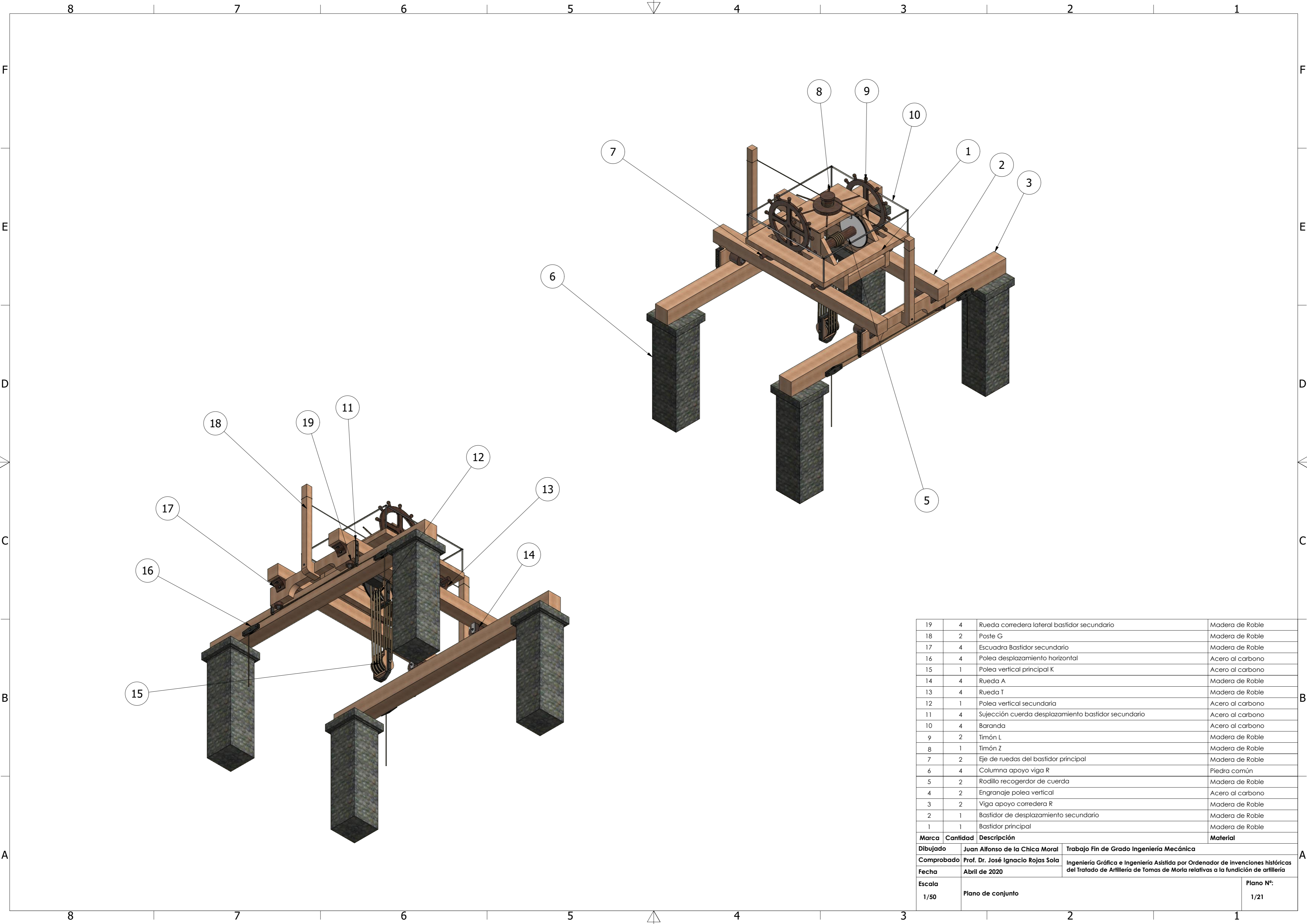
Plano 20: Plano de detalle de la marca 19: Linterna del eje del torno

Plano 21: Plano de detalle de la marca 20: Base principal

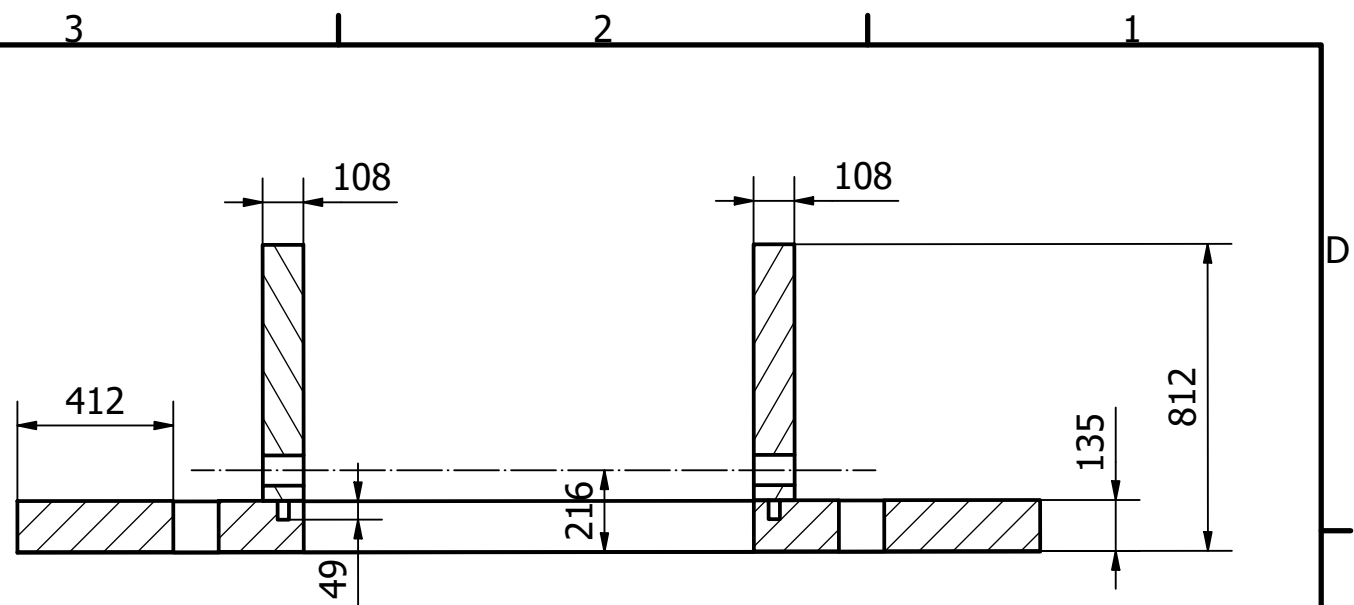
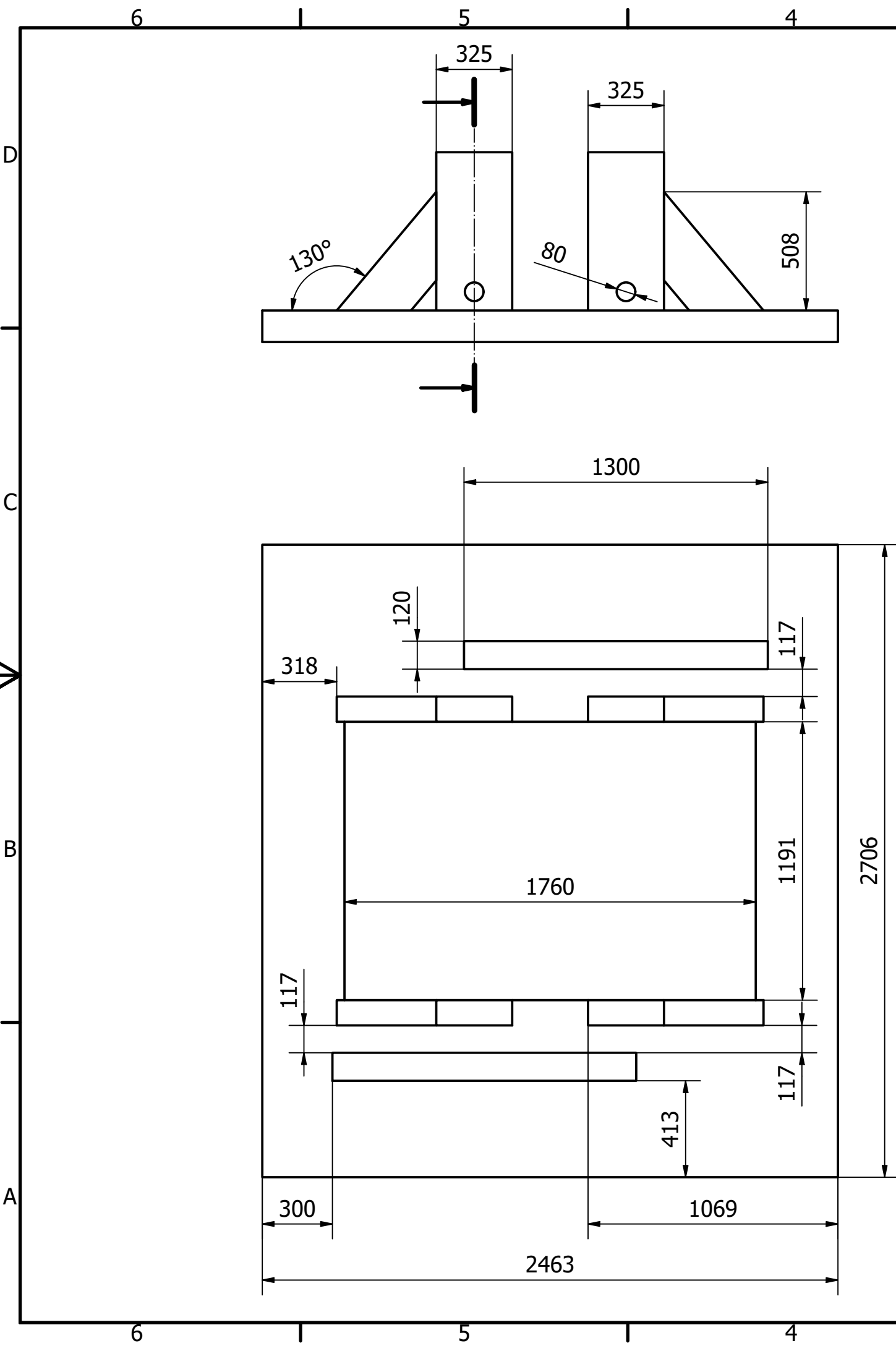
Plano 22: Plano de detalle de la marca 21: Soporte corona dentada

Plano 23: Plano de detalle de la marca 22: Listón de sujeción corona dentada

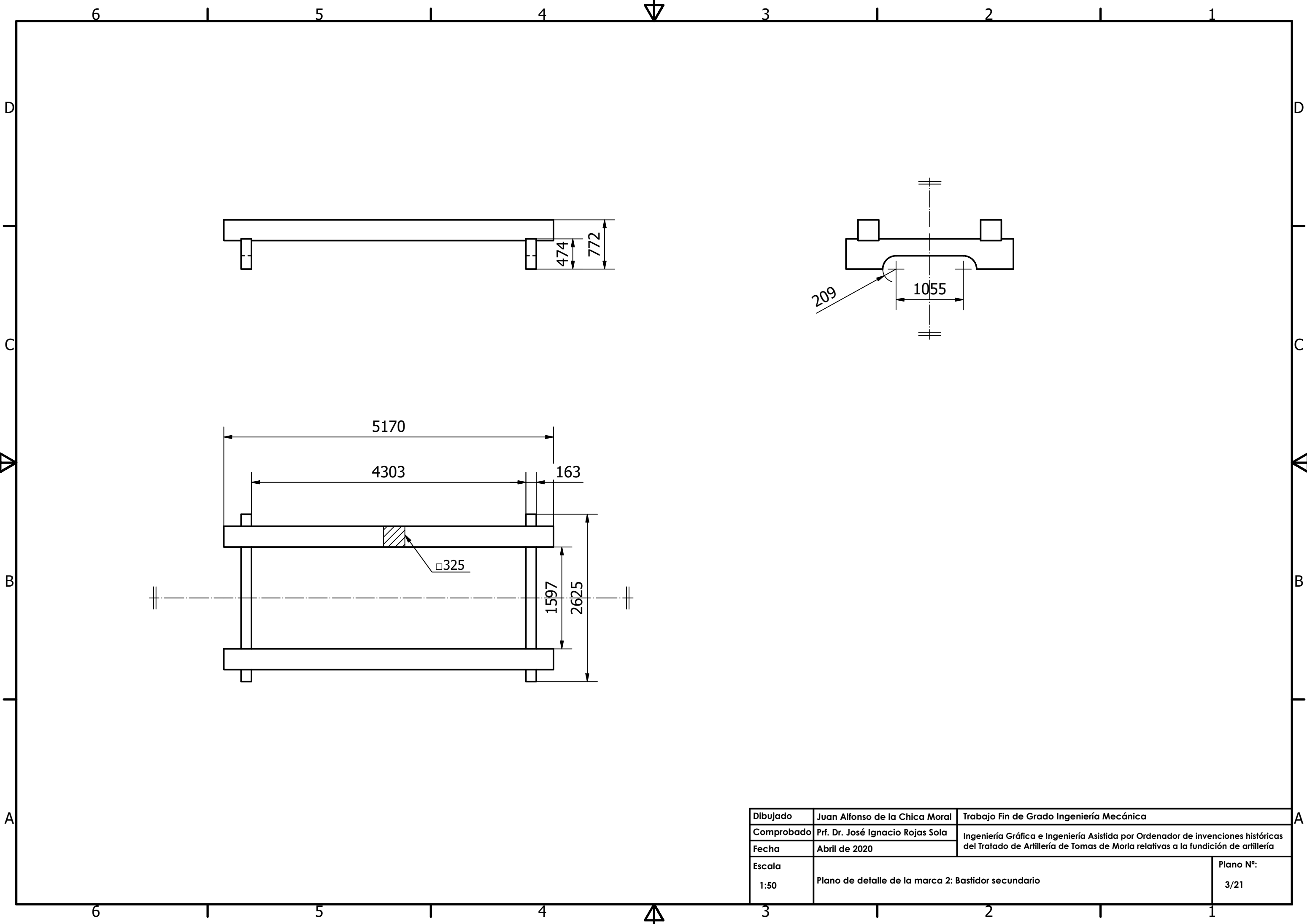
Plano 24: Perspectiva estallada



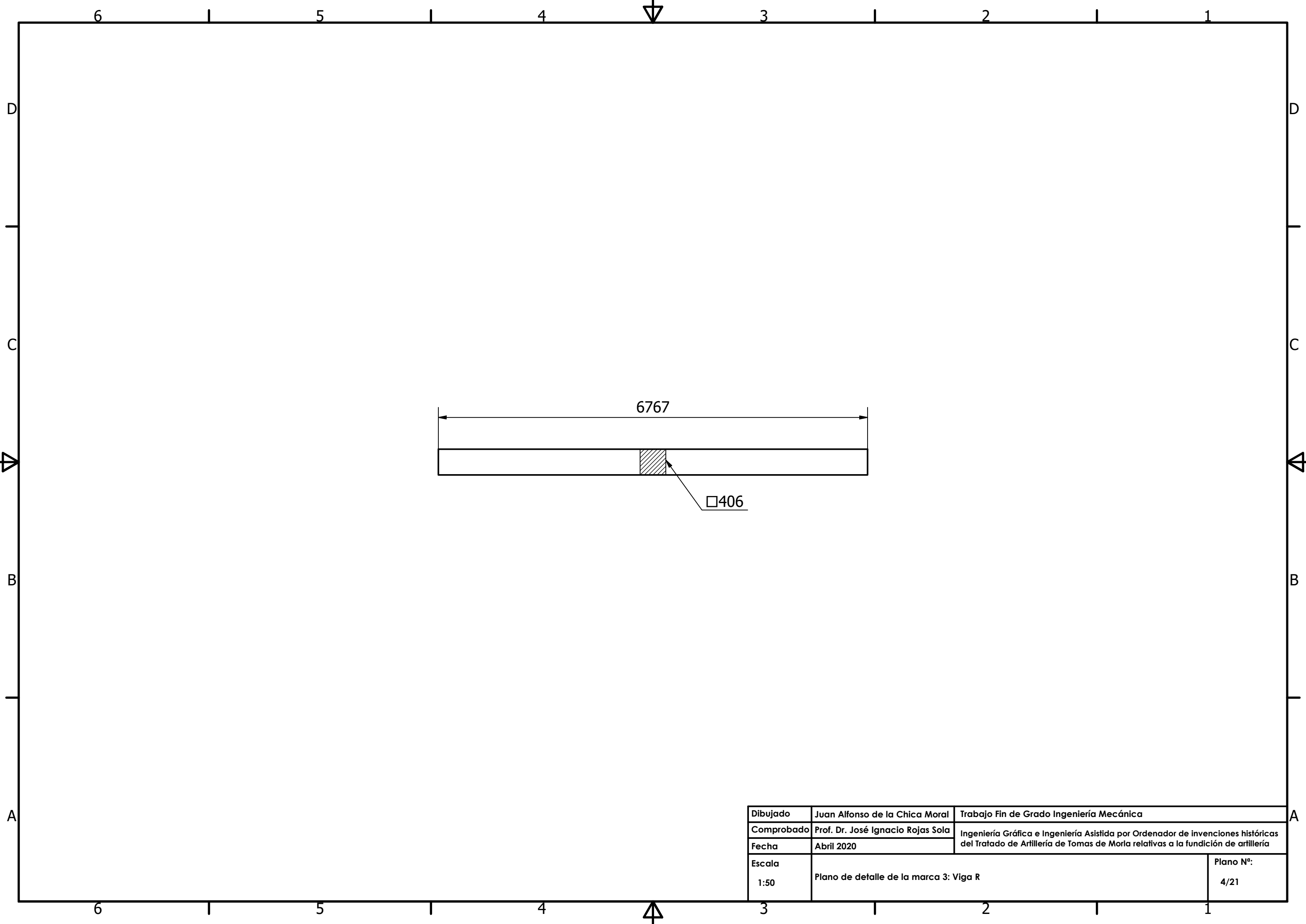
19	4	Rueda corredera lateral bastidor secundario	Madera de Roble
18	2	Poste G	Madera de Roble
17	4	Escuadra Bastidor secundario	Madera de Roble
16	4	Polea desplazamiento horizontal	Acero al carbono
15	1	Polea vertical principal K	Acero al carbono
14	4	Rueda A	Madera de Roble
13	4	Rueda T	Madera de Roble
12	1	Polea vertical secundaria	Acero al carbono
11	4	Sujección cuerda desplazamiento bastidor secundario	Acero al carbono
10	4	Baranda	Acero al carbono
9	2	Timón L	Madera de Roble
8	1	Timón Z	Madera de Roble
7	2	Eje de ruedas del bastidor principal	Madera de Roble
6	4	Columna apoyo viga R	Piedra común
5	2	Rodillo recogedor de cuerda	Madera de Roble
4	2	Engranaje polea vertical	Acero al carbono
3	2	Viga apoyo corredera R	Madera de Roble
2	1	Bastidor de desplazamiento secundario	Madera de Roble
1	1	Bastidor principal	Madera de Roble
<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Material</b>
<b>Dibujado</b>	Juan Alfonso de la Chica Moral		Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica
<b>Comprobado</b>	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola		Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de Inventiones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería
<b>Fecha</b>	Abril de 2020		
<b>Escala</b>	1/50		<b>Plano N°:</b> 1/21
	Plano de conjunto		



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:20		Plano N°: 2/21

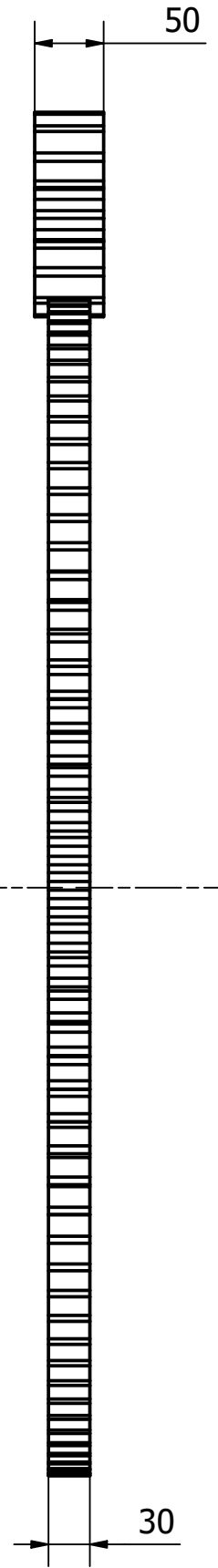
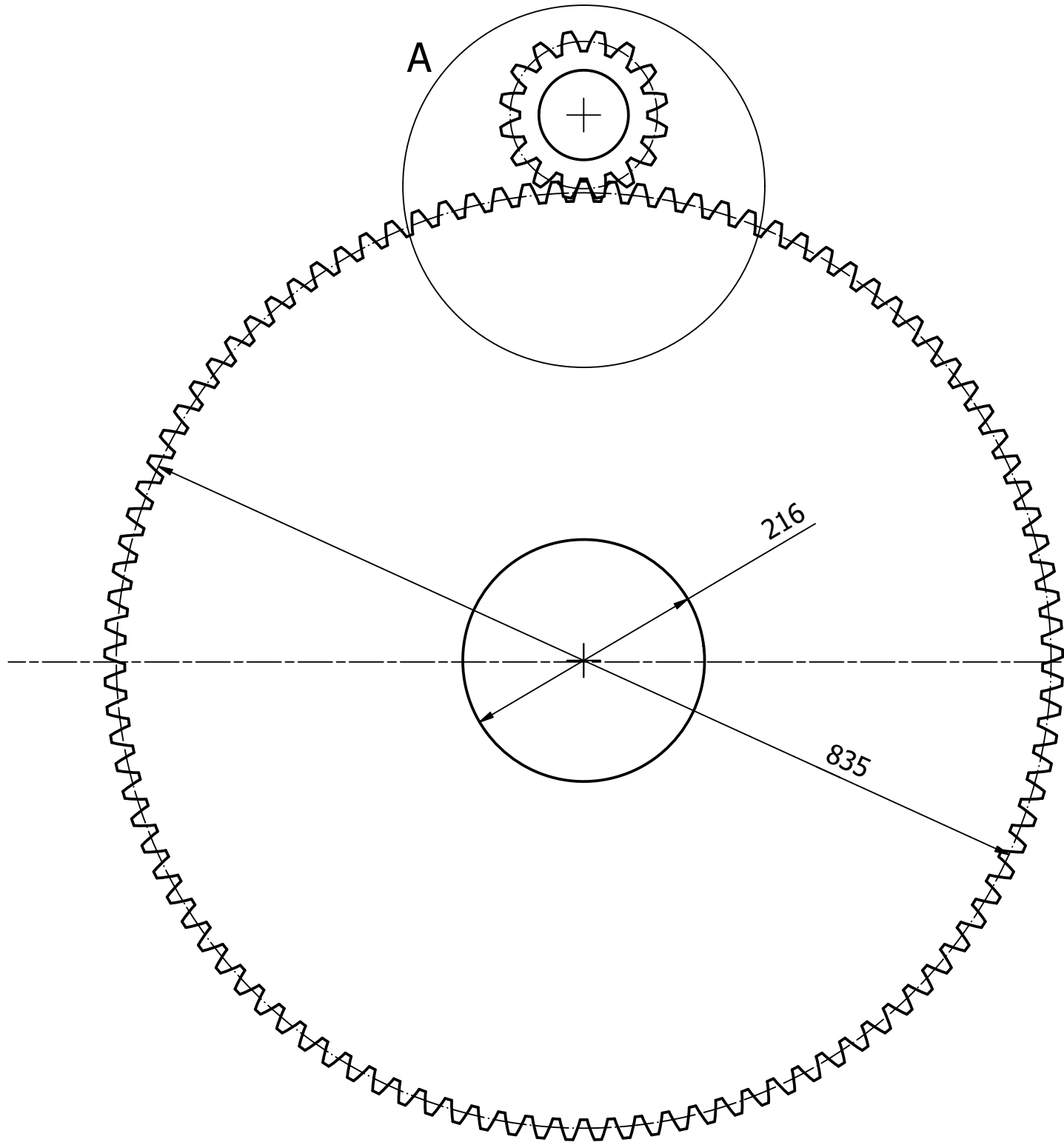
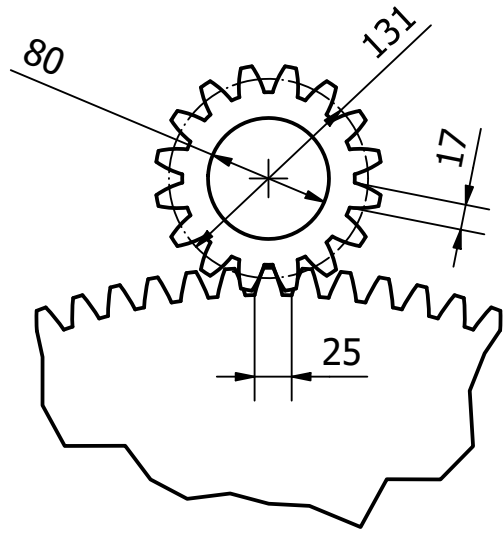


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prf. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 2: Bastidor secundario		Plano N°:
1:50			3/21

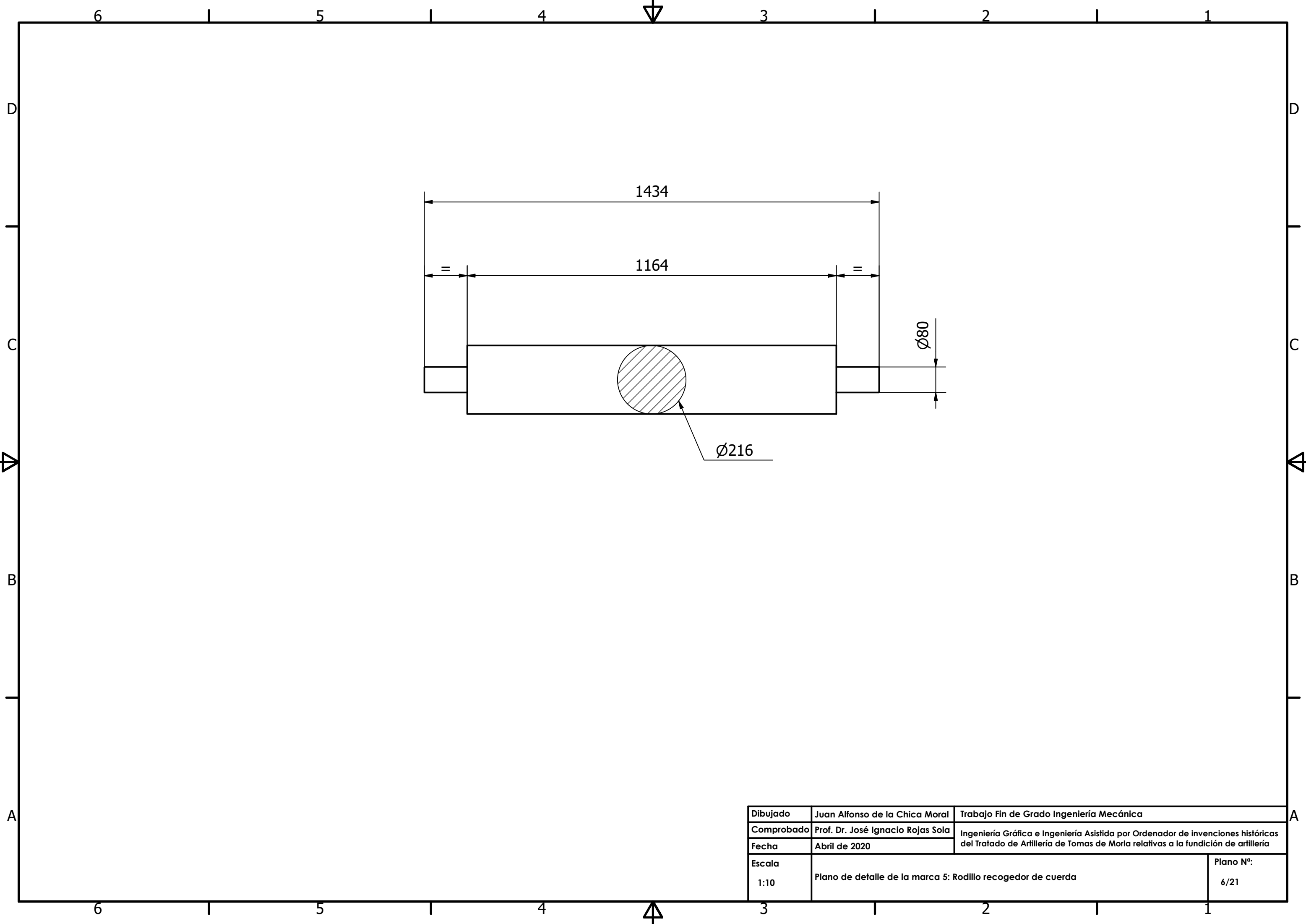


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 3: Viga R		Plano N°:
1:50			4/21

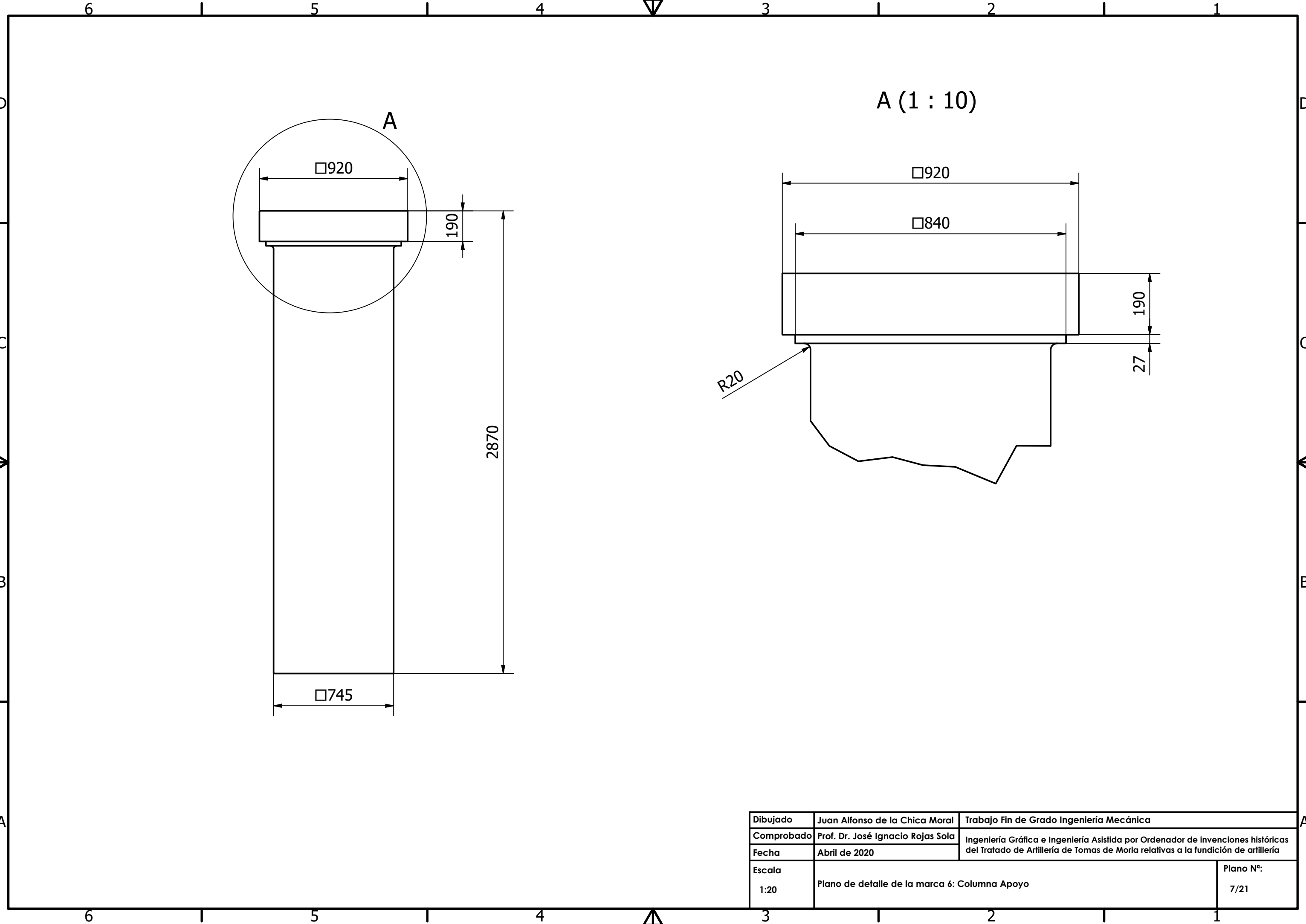
A (1 : 5)



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:5		Plano N°:
	Plano de detalle de la marca 4: Engranaje polea vertical		5/21

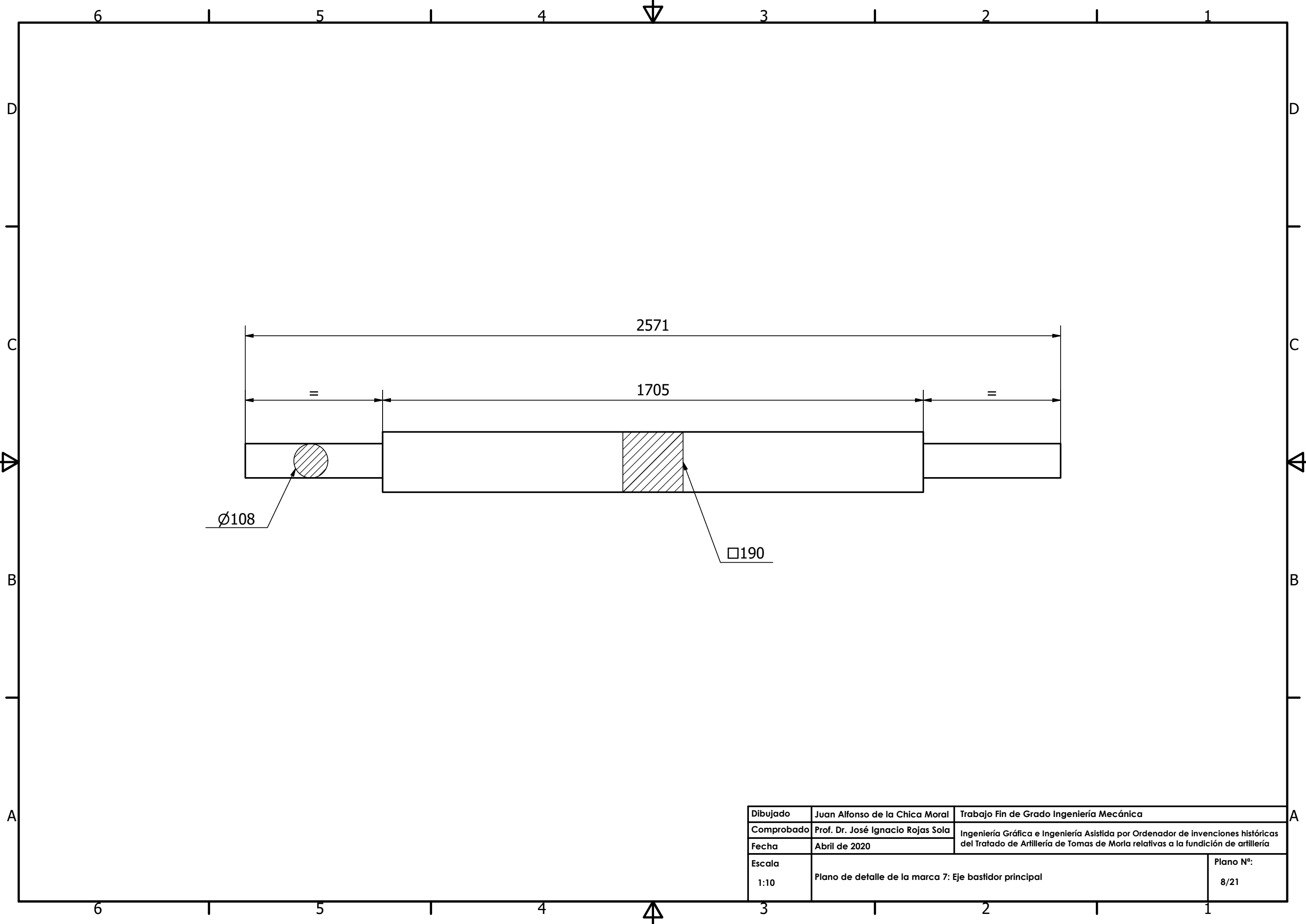


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 5: Rodillo recogedor de cuerda		Plano N°:
1:10			6/21

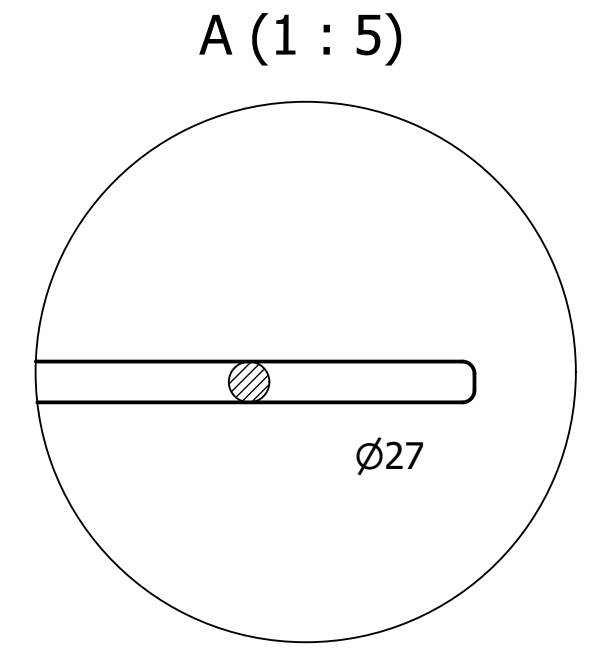
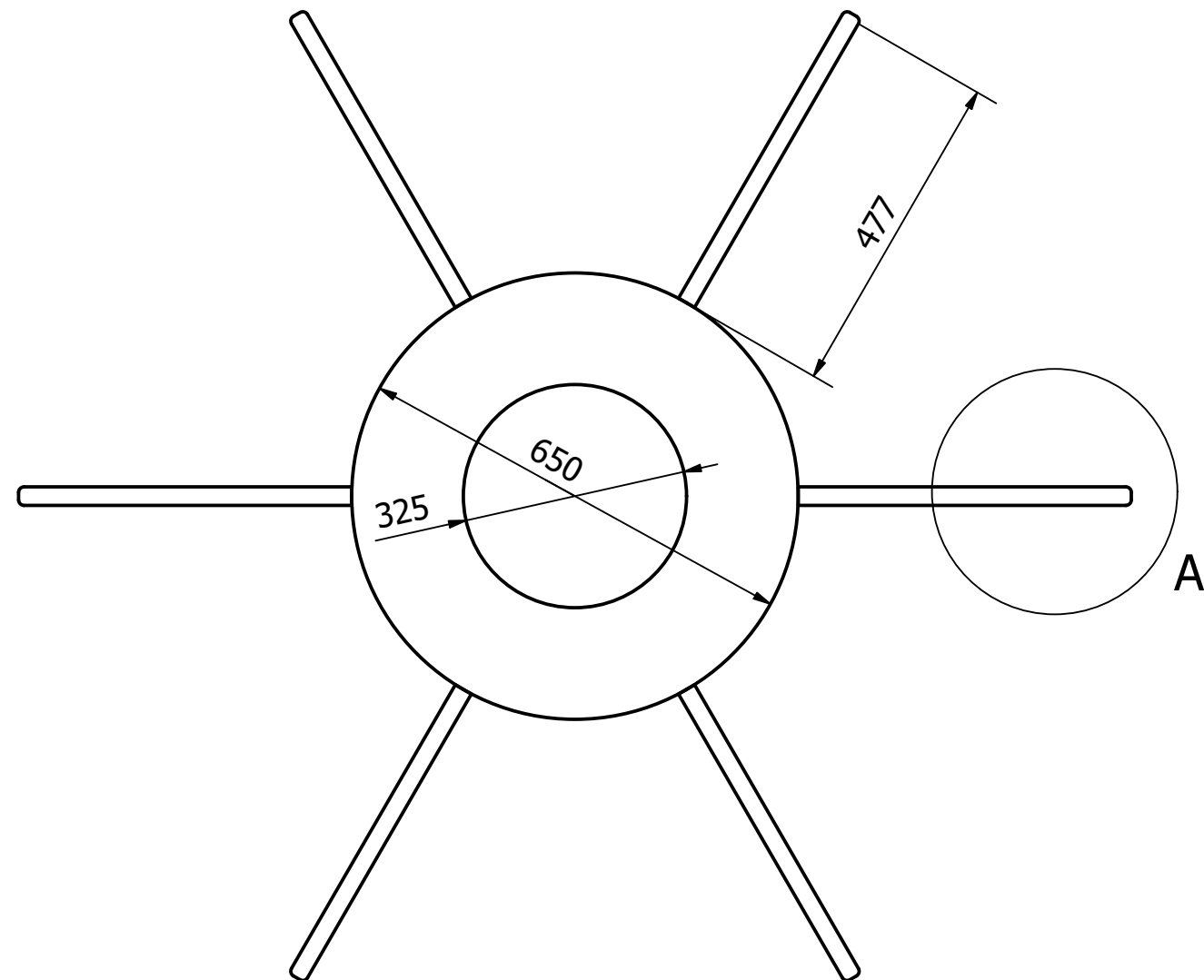
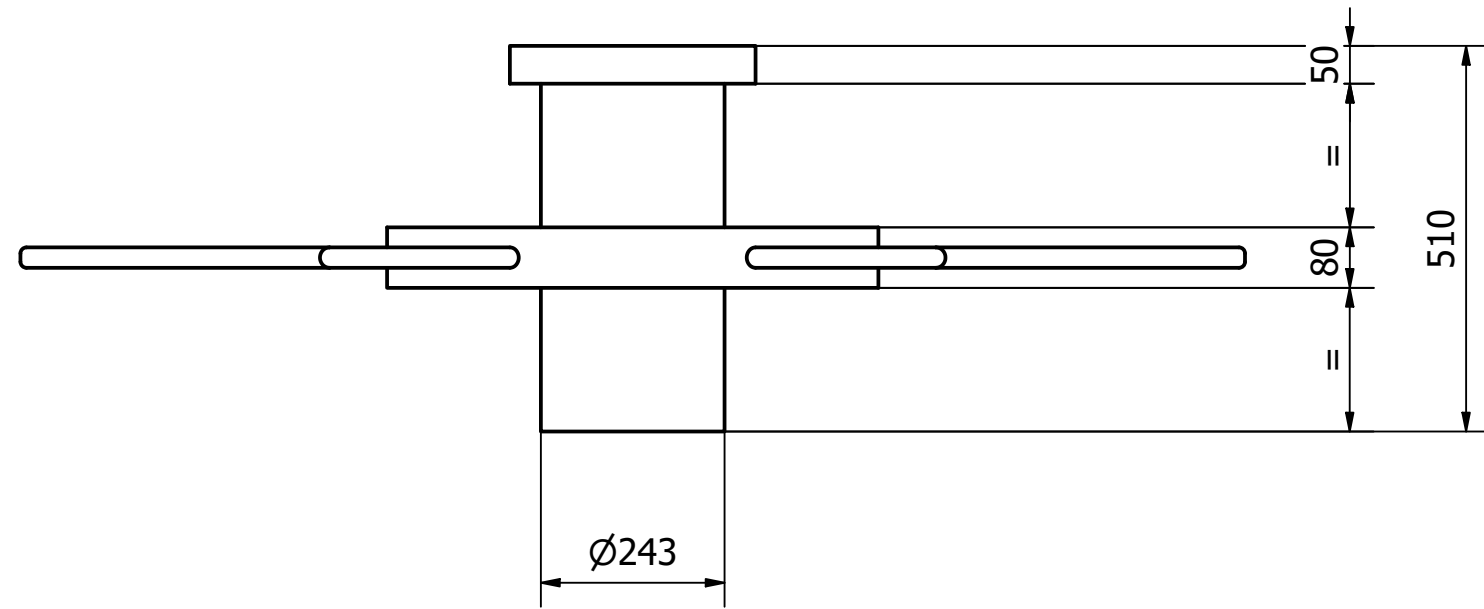


A (1 : 10)

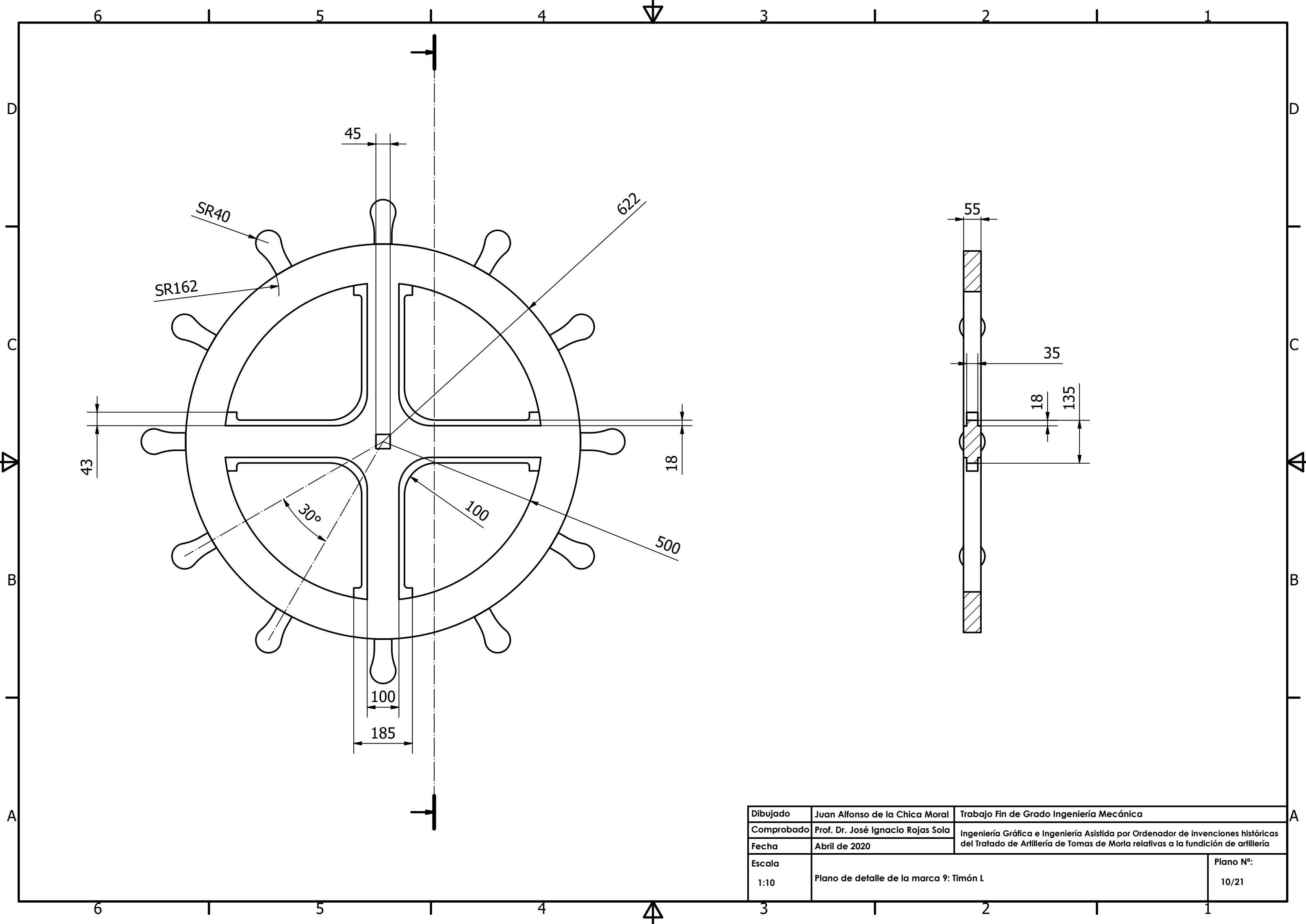
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 6: Columna Apoyo		Plano N°: 7/21



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:10		Plano N°:
	Plano de detalle de la marca 7: Eje bastidor principal		8/21



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof.Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:10	Plano de detalle de la marca 8: Timón Z	Plano N°: 9/21

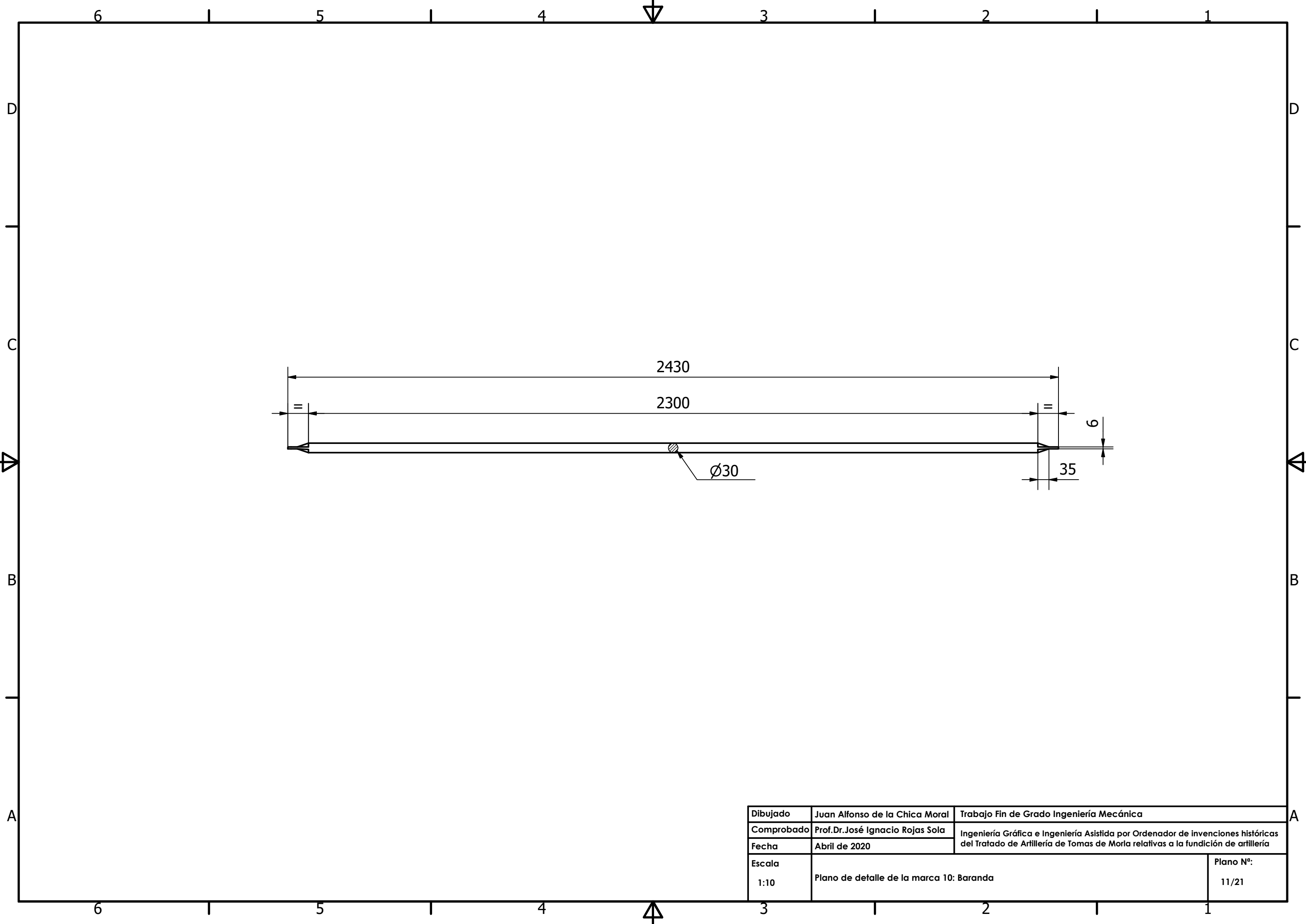


SR40  
SR162

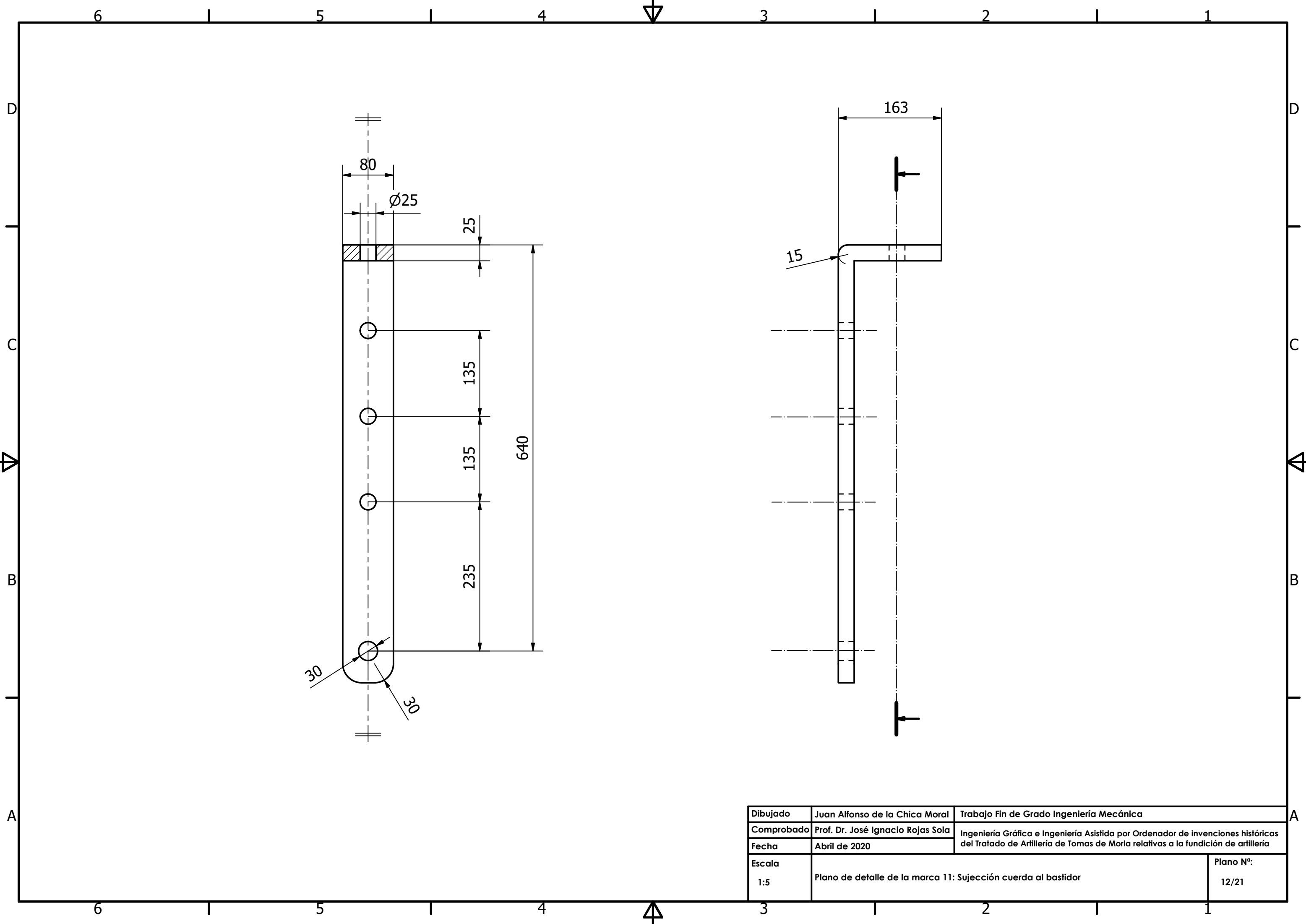
45  
622  
18  
43  
30°  
100  
500  
100  
185

55  
35  
18  
135

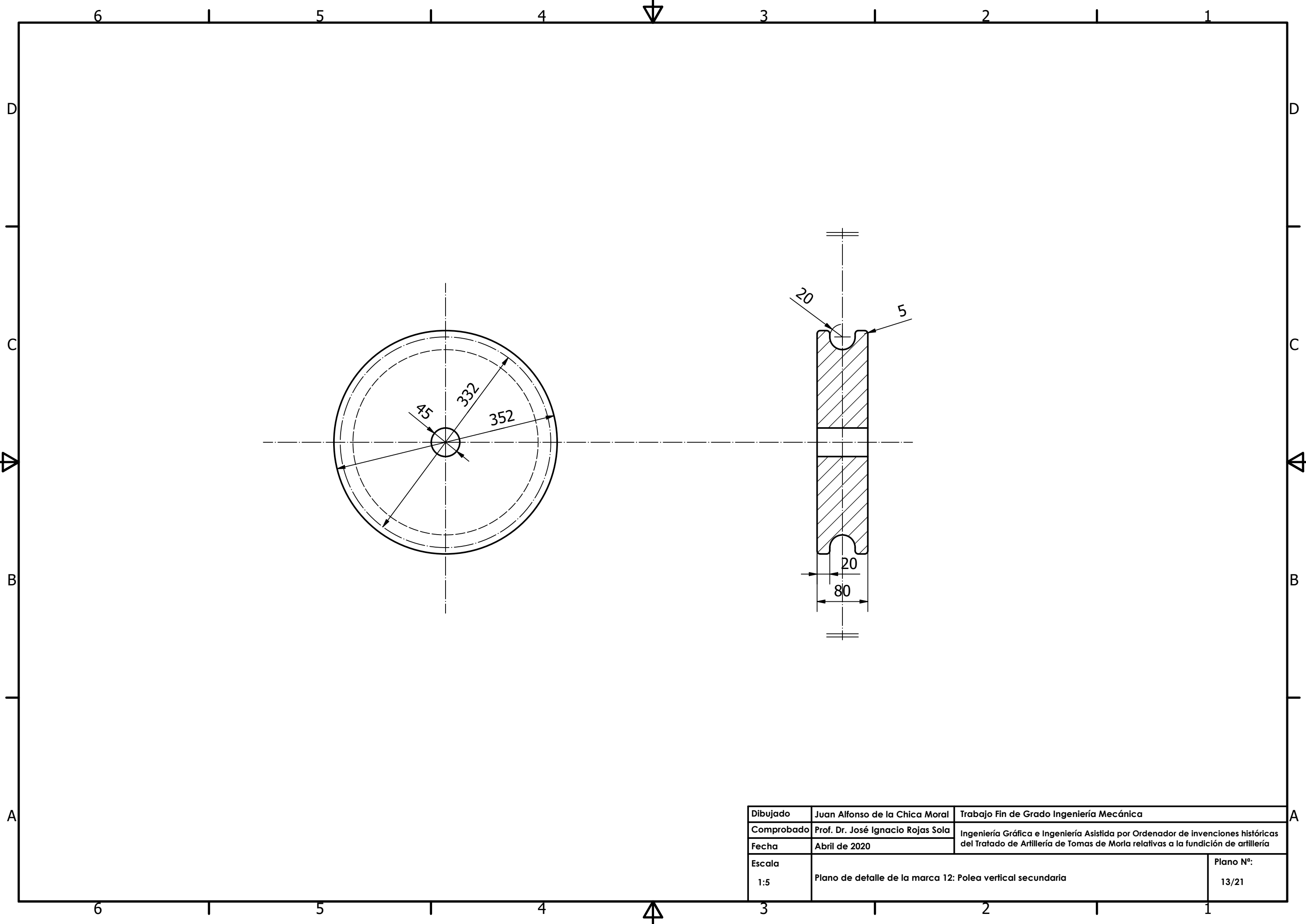
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:10		Plano N°: 10/21



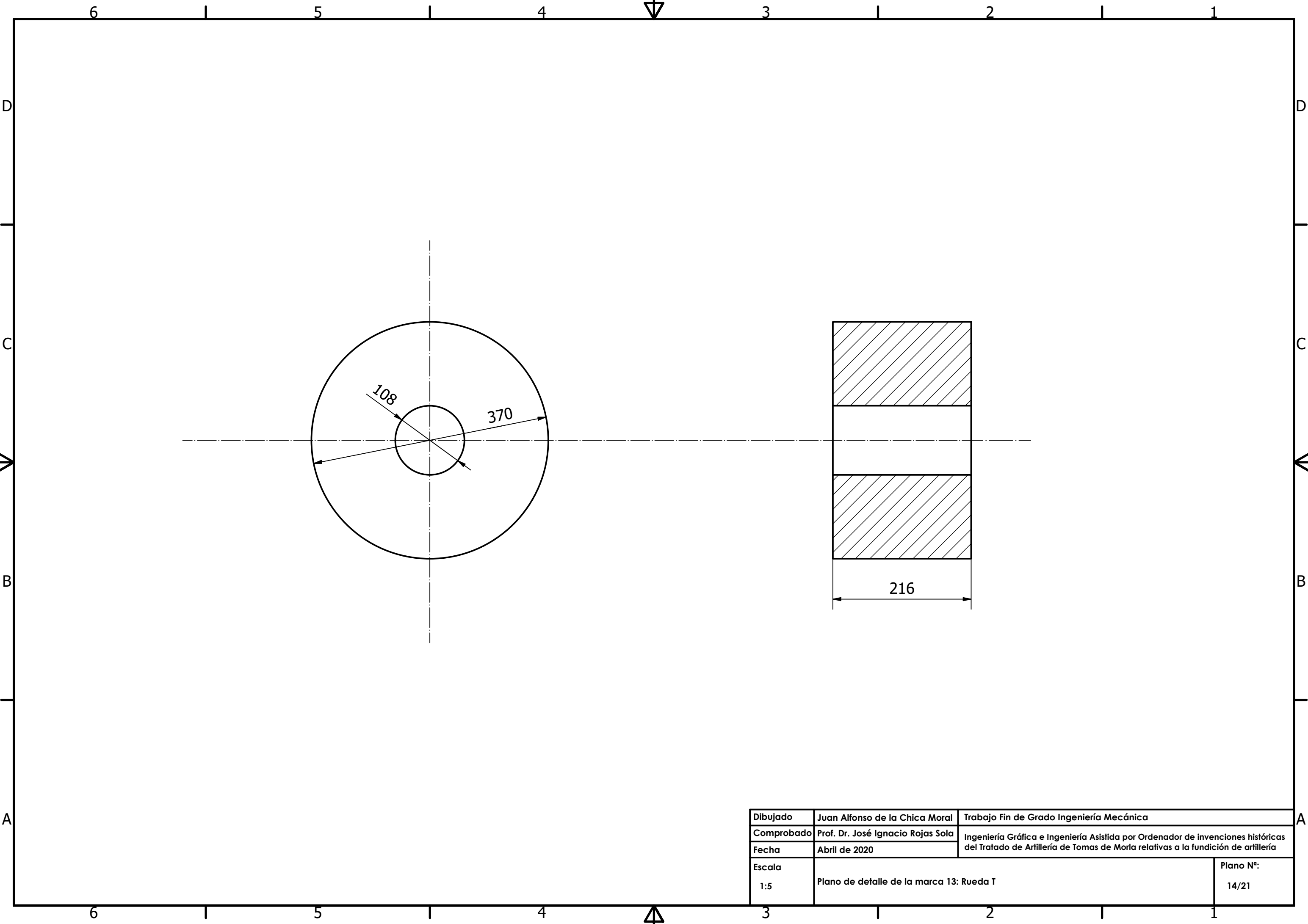
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof.Dr.José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 10: Baranda		Plano N°:
1:10			11/21



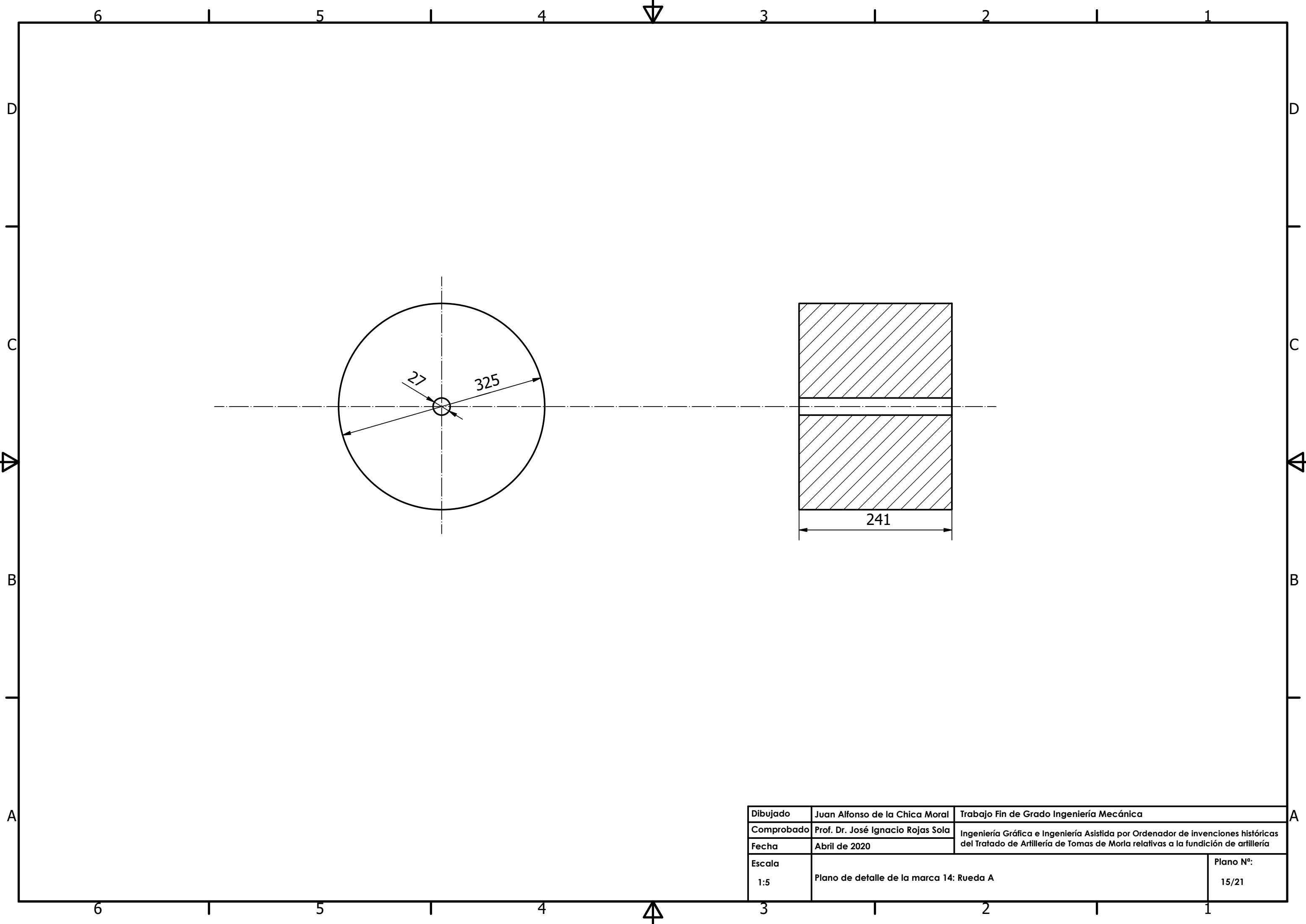
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 11: Sujeción cuerda al bastidor		Plano N°:
1:5			12/21



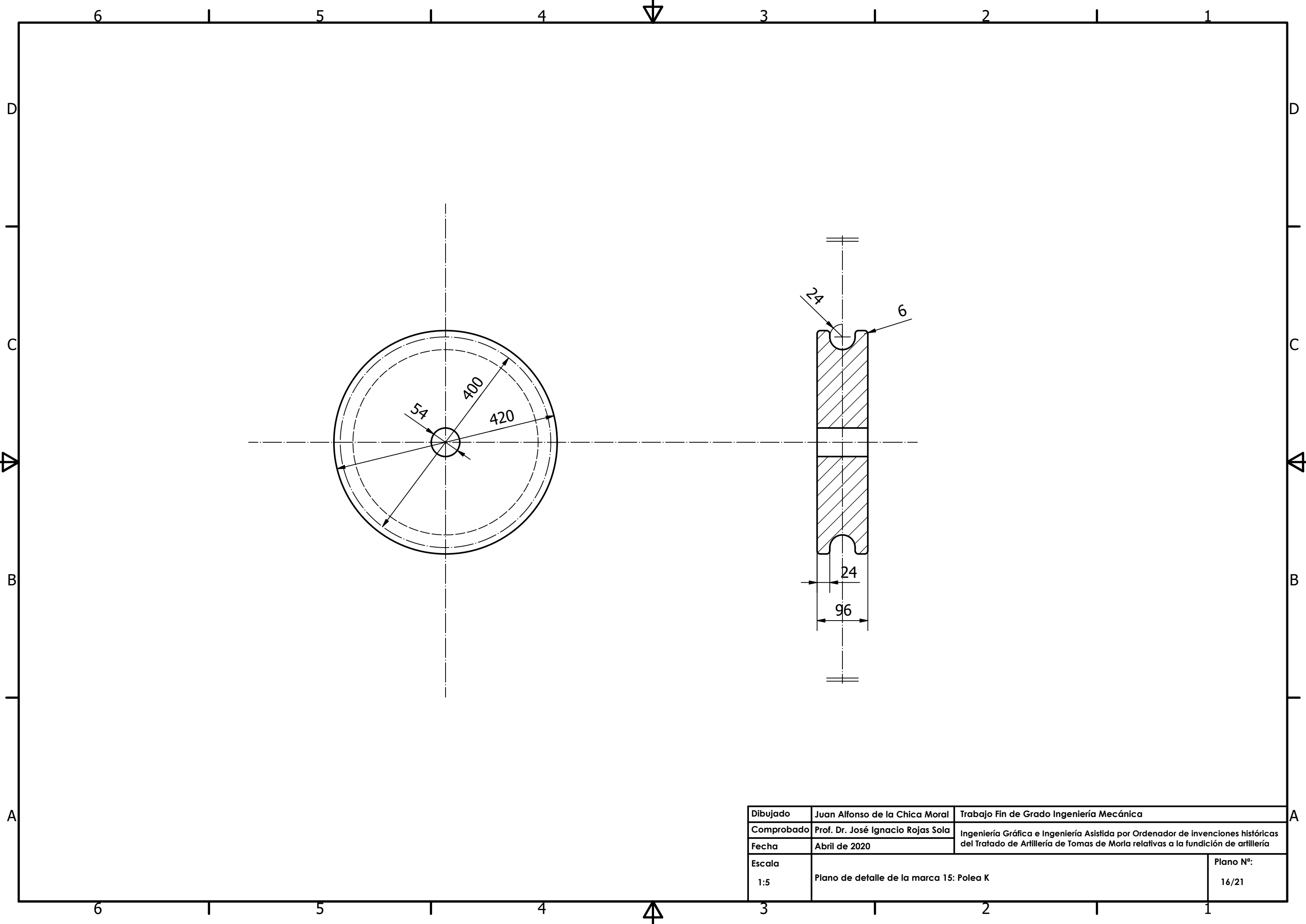
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 12: Polea vertical secundaria		Plano N°: 13/21



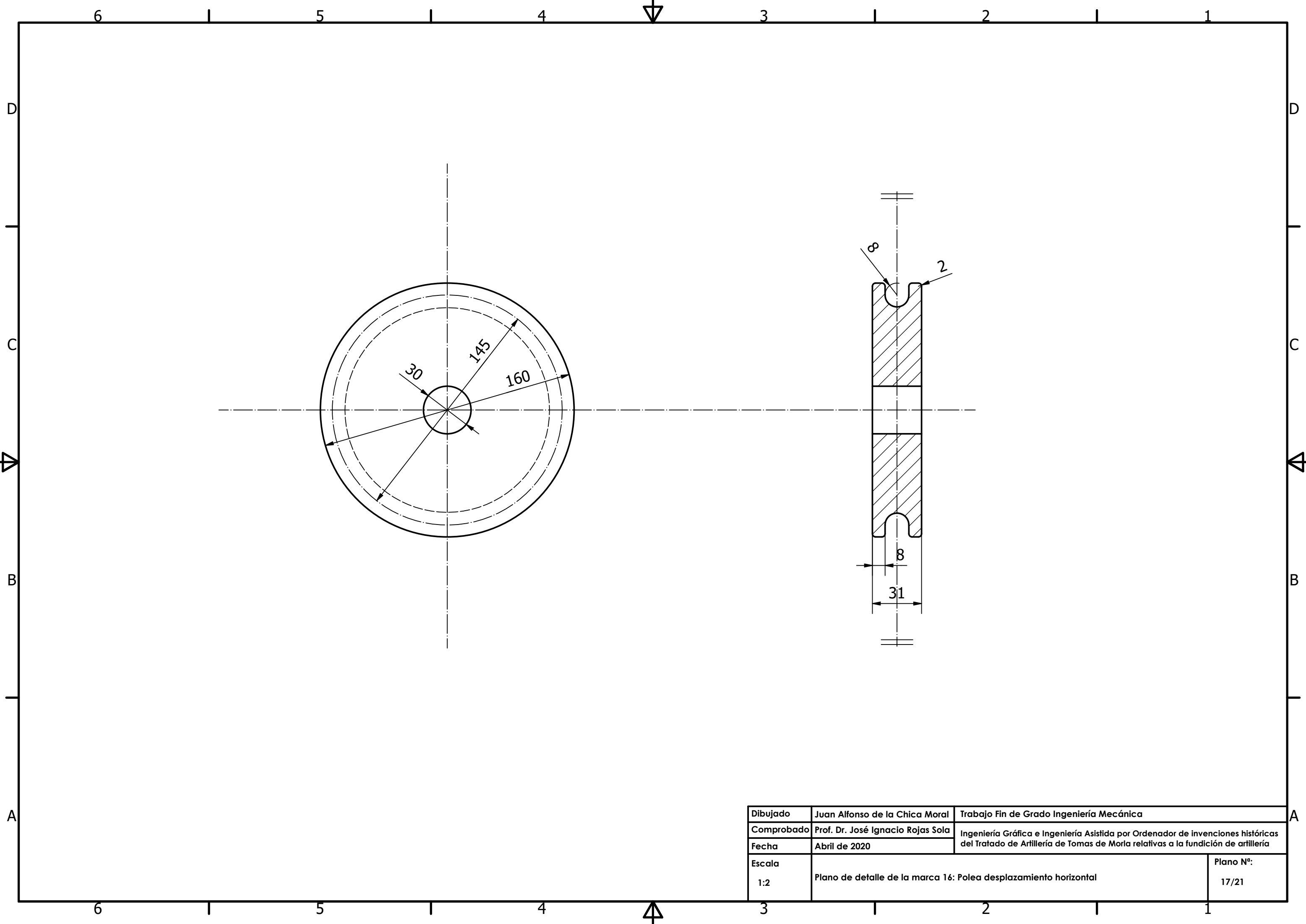
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 13: Rueda T		Plano N°:
1:5			14/21



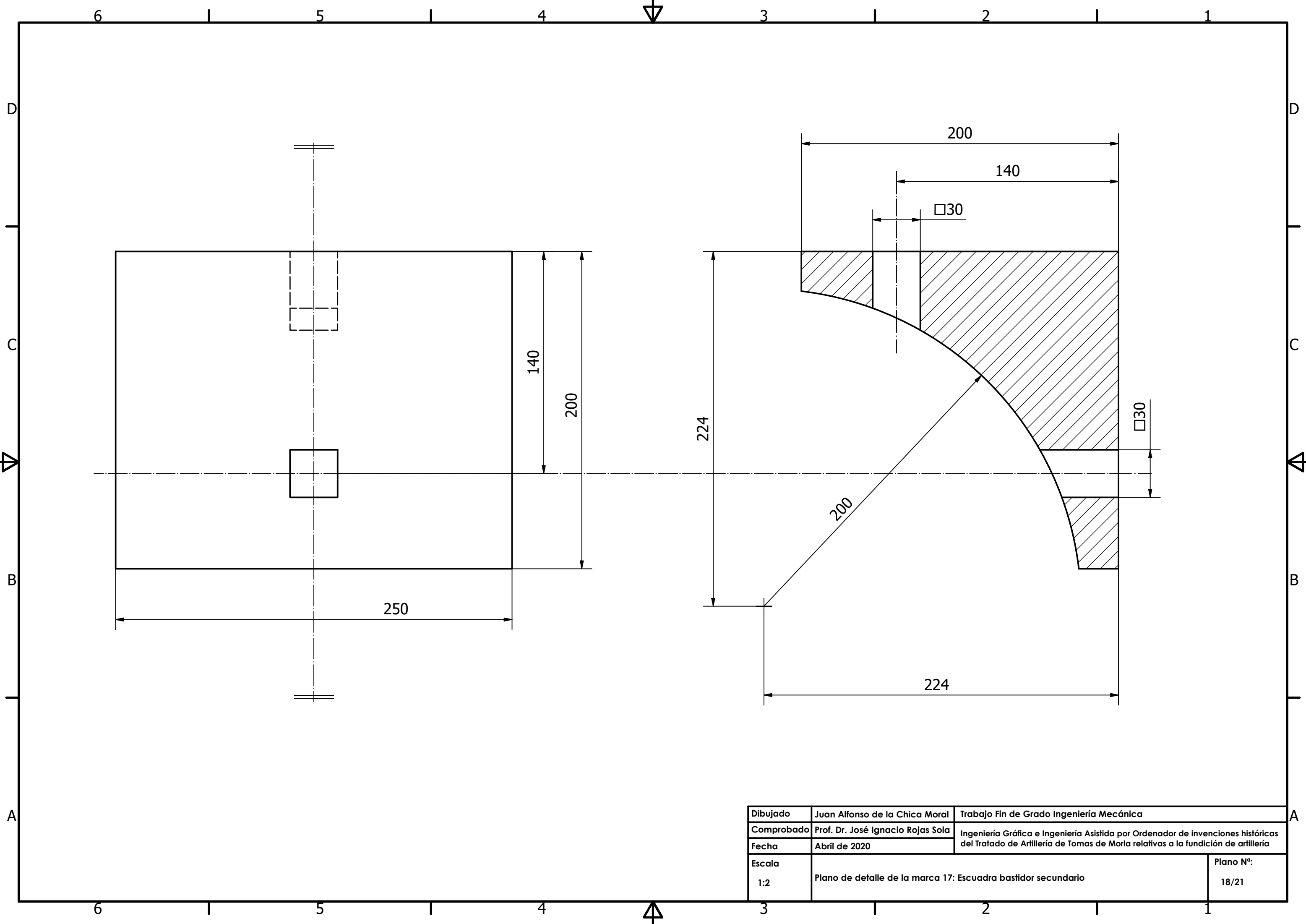
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 14: Rueda A		Plano N°: 15/21



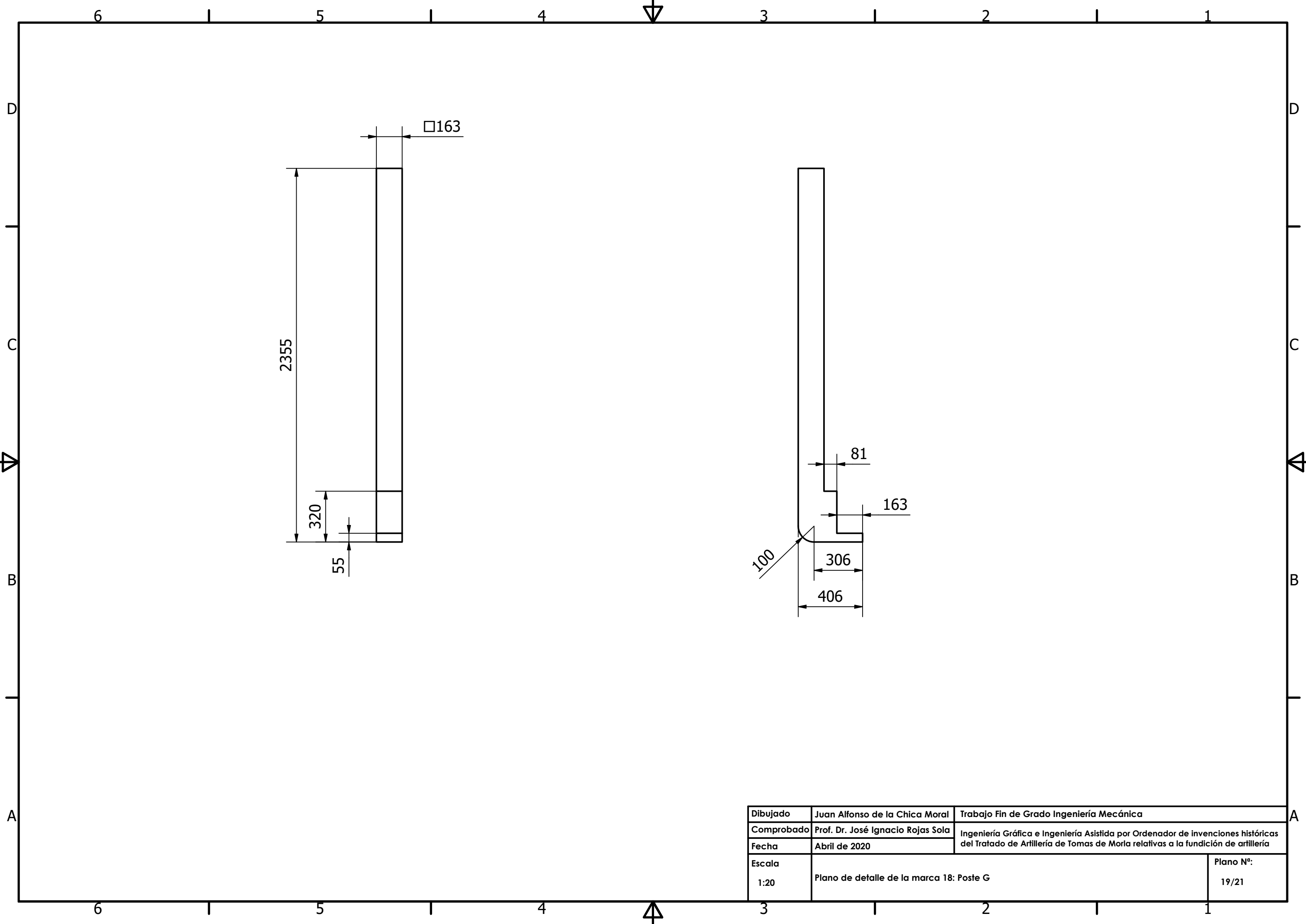
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 15: Polea K		Plano N°: 16/21



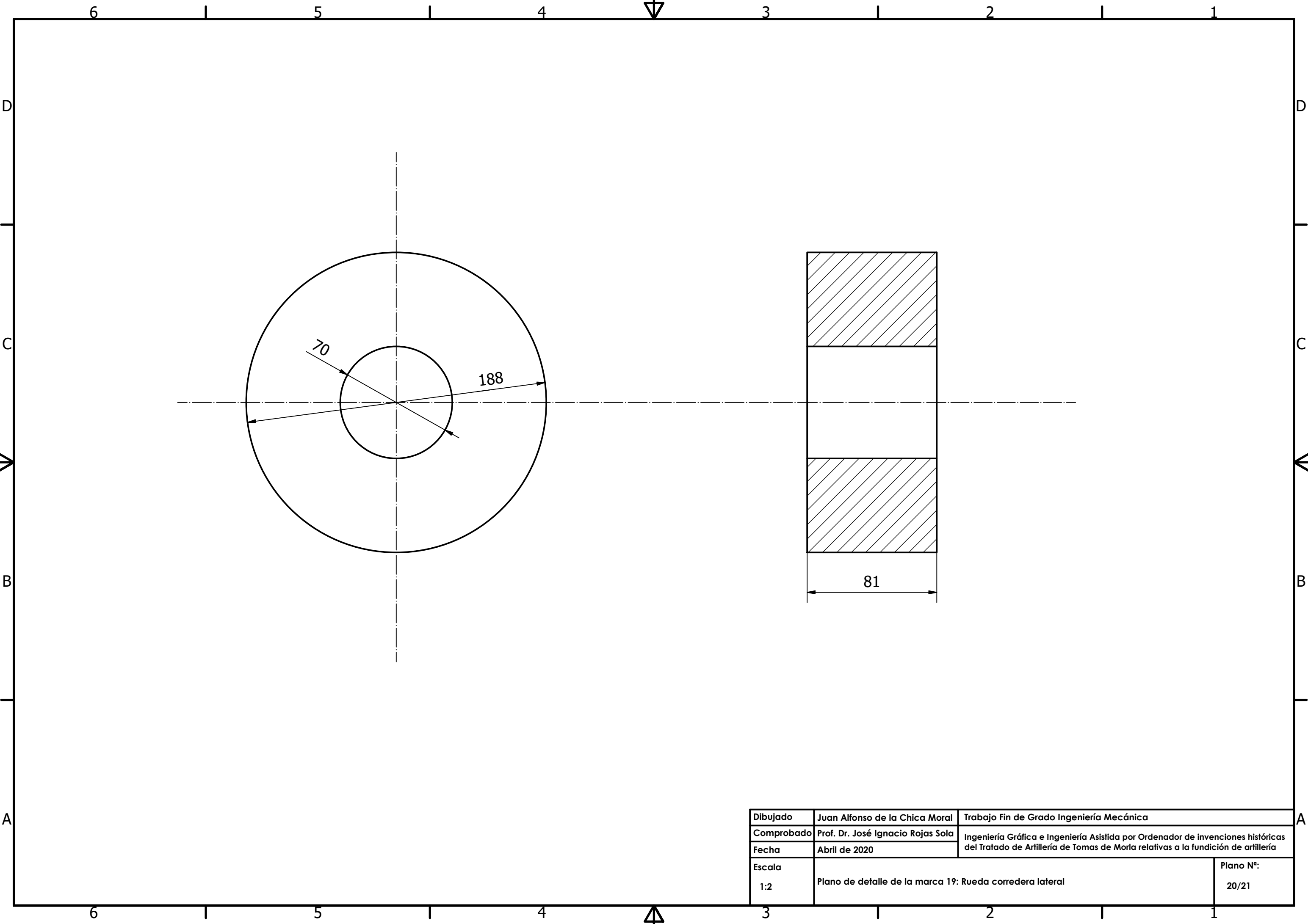
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:2		Plano N°:
	Plano de detalle de la marca 16: Polea desplazamiento horizontal		17/21



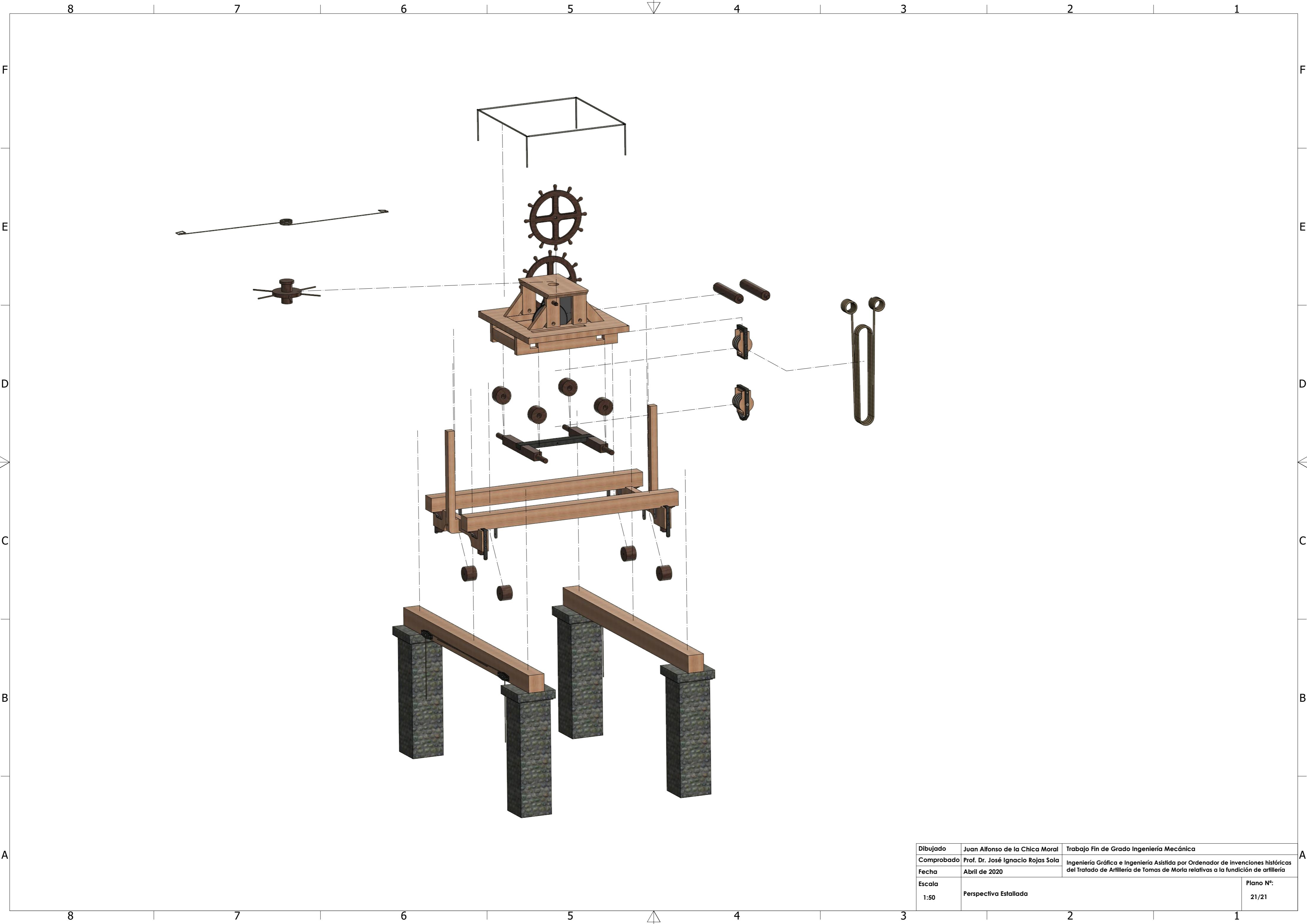
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 17: Escuadra bastidor secundario		Plano N°: 18/21
1:2			



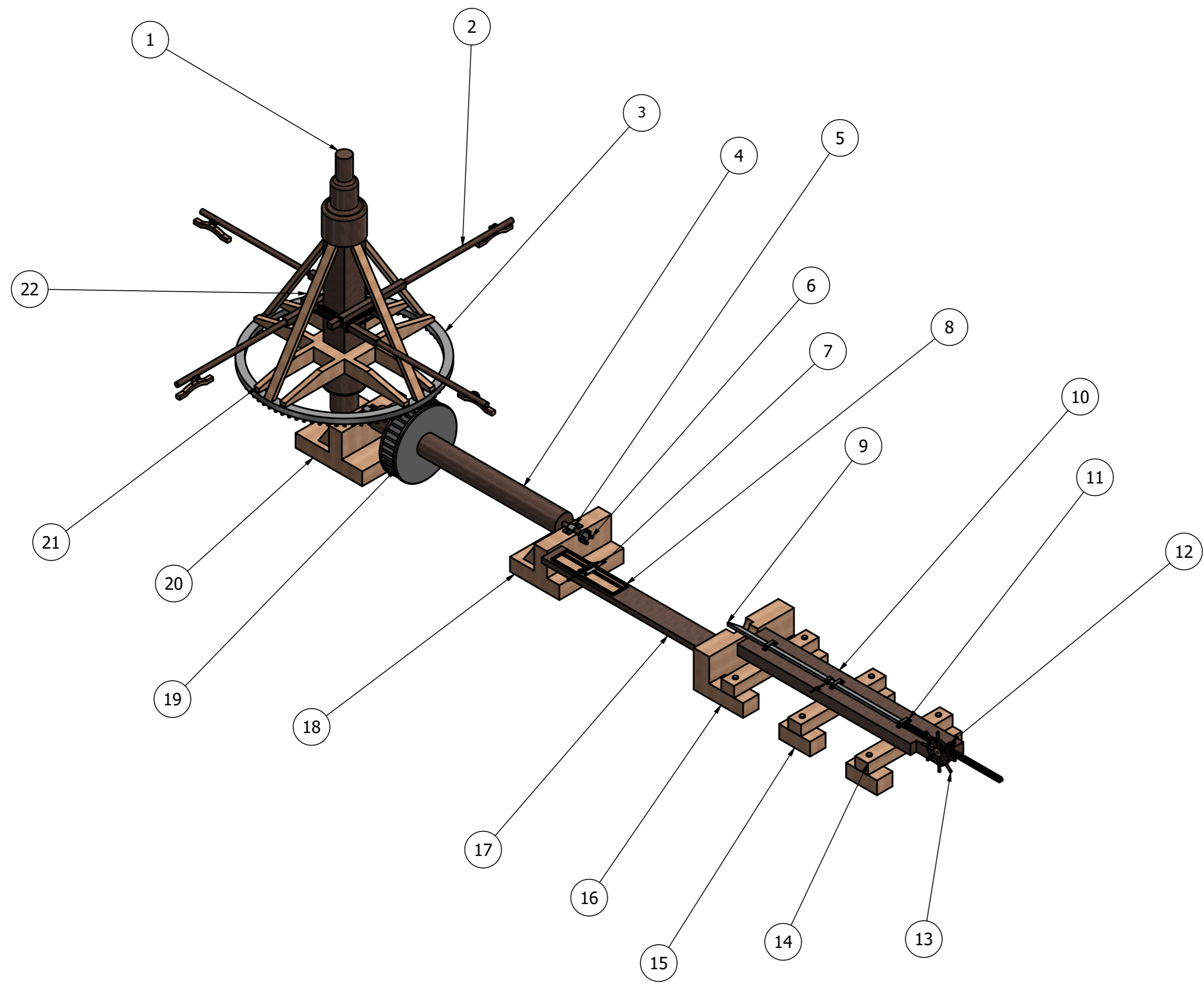
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 18: Poste G		Plano N°: 19/21



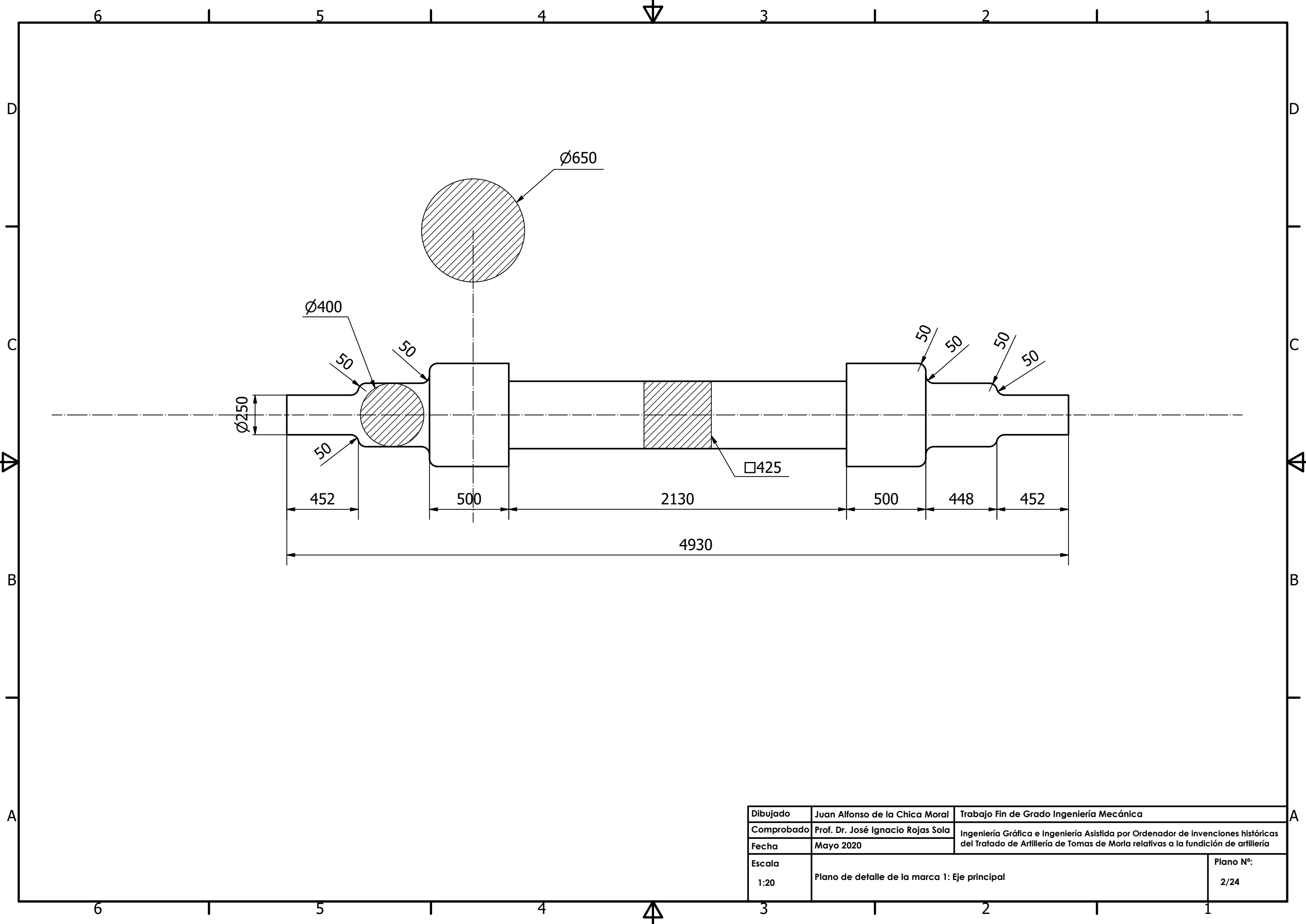
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:2	Plano de detalle de la marca 19: Rueda corredera lateral	Plano N°: 20/21



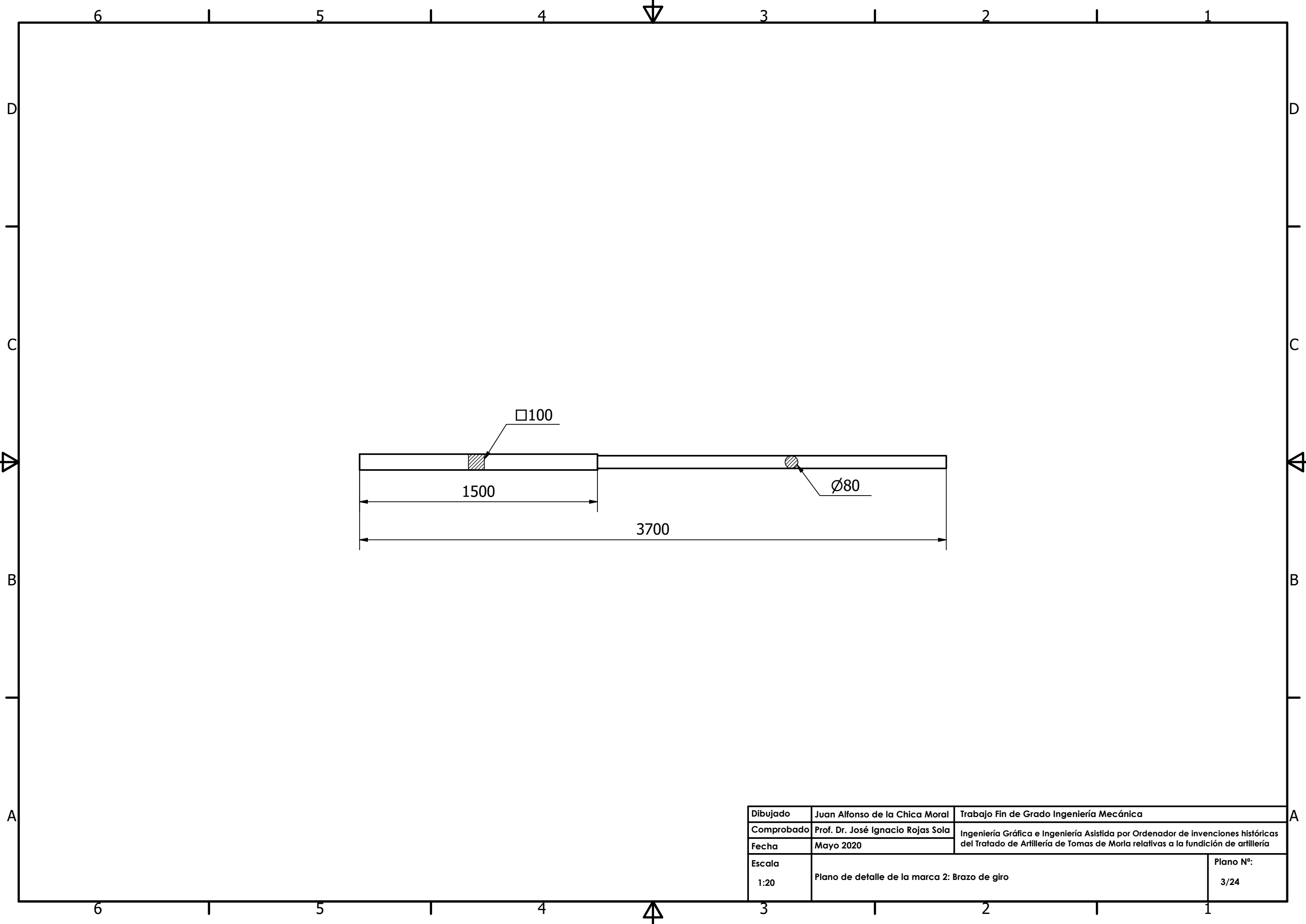
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Moría relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Abril de 2020		
Escala	1:50	Perspectiva Estallada	Plano N°: 21/21



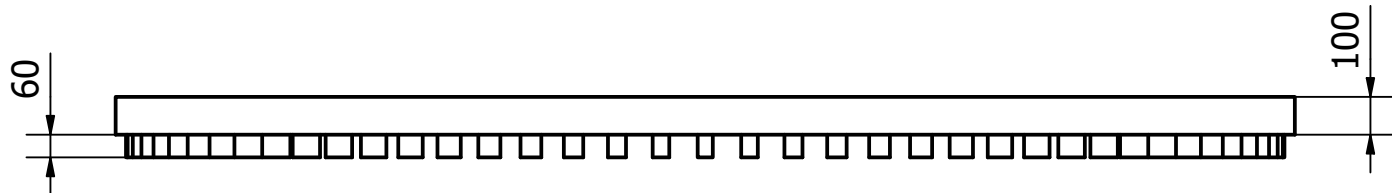
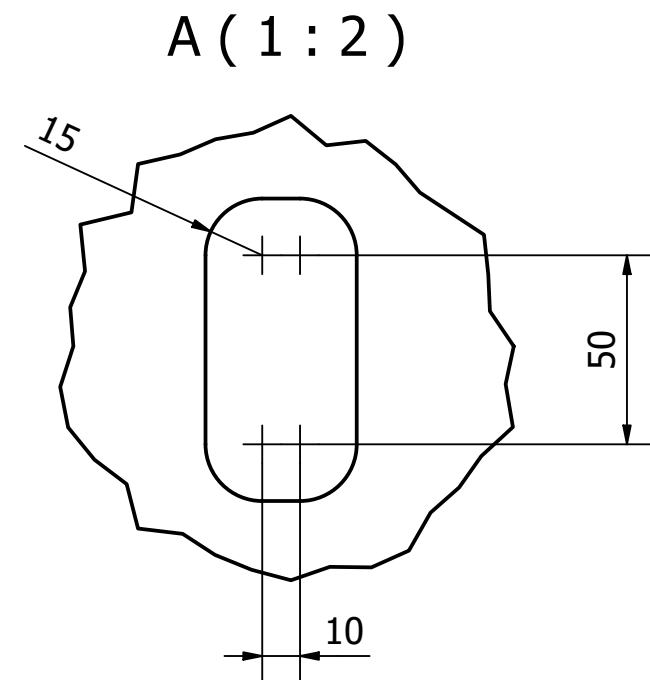
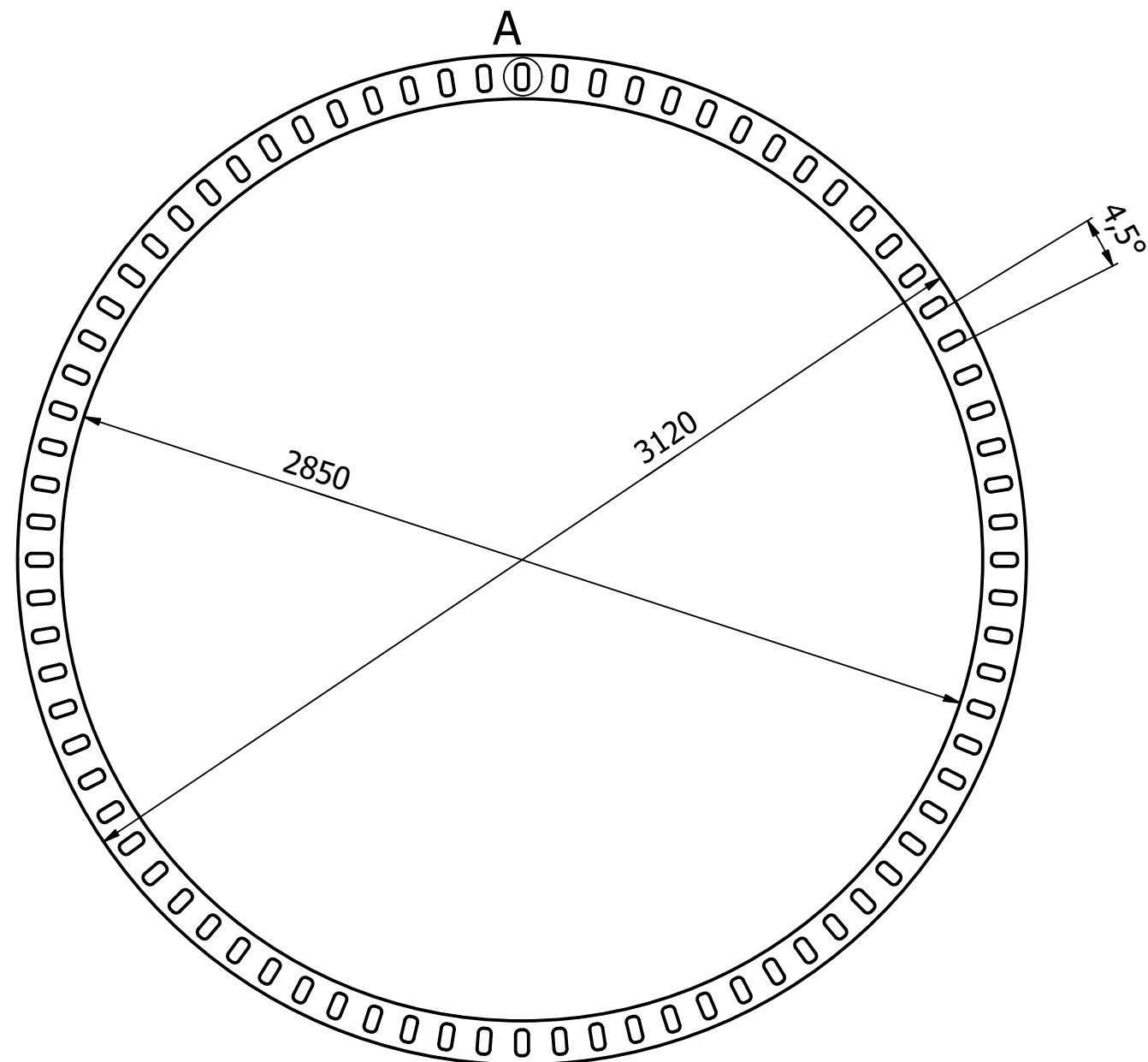
22	4	Listón de sujeción de corona dentada	Madera de Roble
21	1	Soporte corona dentada	Madera de Roble
20	1	Base principal	Madera de Roble
19	1	Linterna del eje del torno	Hierro Fundido
18	1	Base del torno	Madera de Roble
17	1	Tabla torneado exterior	Madera de Roble
16	1	Base torneado interior	Madera de Roble
15	4	Base de listón de soporte	Madera de Roble
14	3	Soporte tabla torneado interior	Madera de Roble
13	1	Timón torneado interior	Madera de Roble
12	1	Engranaje de desplazamiento horizontal	Hierro Fundido
11	3	Abrazadera de herramienta de torneado interior	Hierro Fundido
10	1	Tabla de torneado interior	Madera de Roble
9	1	Herramienta de torneado interior	Hierro Fundido
8	1	Bandeja de herramienta de torneado exterior	Madera de Roble
7	1	Herramienta de torneado exterior	Hierro Fundido
6	1	Agarre del torno	Hierro Fundido
5	2	Abrazadera del eje del torno	Hierro Fundido
4	1	Eje del torno	Madera de Roble
3	1	Corona dentada	Hierro Fundido
2	4	Brazo de giro	Madera de Roble
1	1	Eje principal	Madera de Roble
Marca	Cantidad	Descripción	Material
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral		Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola		Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Moría relativas a la fundición de artillería
Fecha	Mayo 2020		
Escala	1:50		Plano N°: 1/xx
	Plano de conjunto		



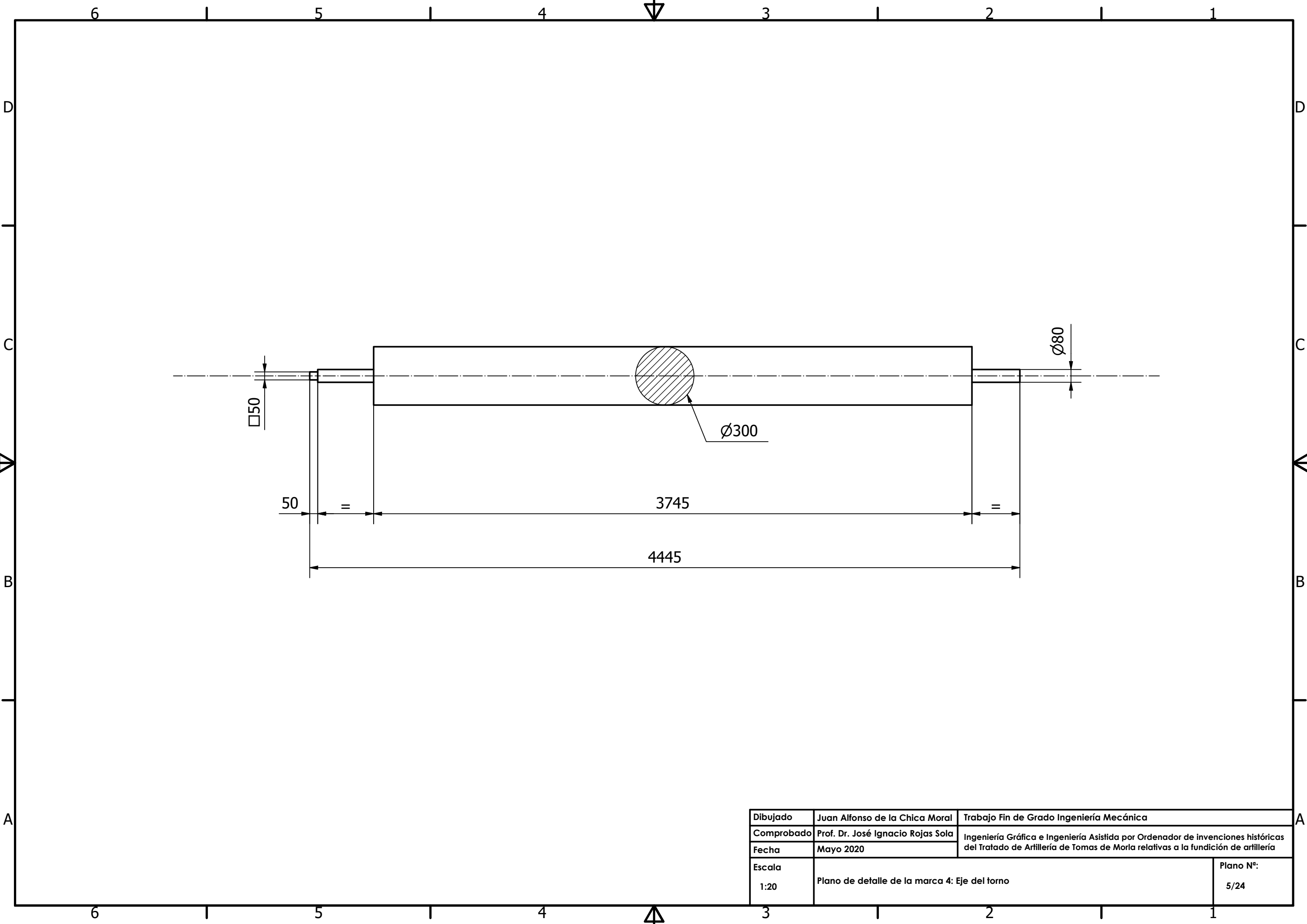
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería
Fecha	Mayo 2020	
Escala	Plano de detalle de la marca 1: Eje principal	
		Plano N°: 2/24

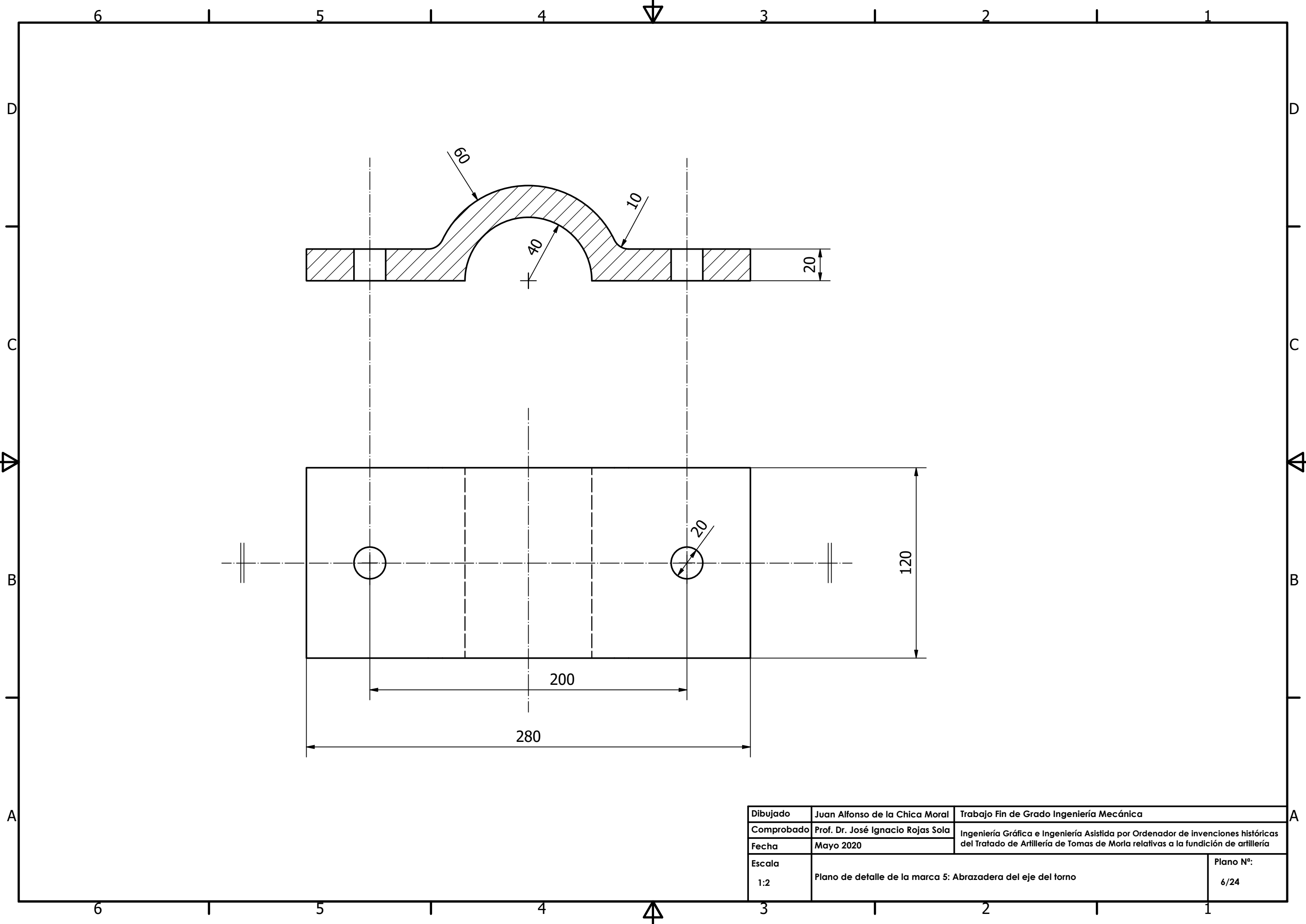


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 2: Brazo de giro		Plano N°:
1:20			3/24

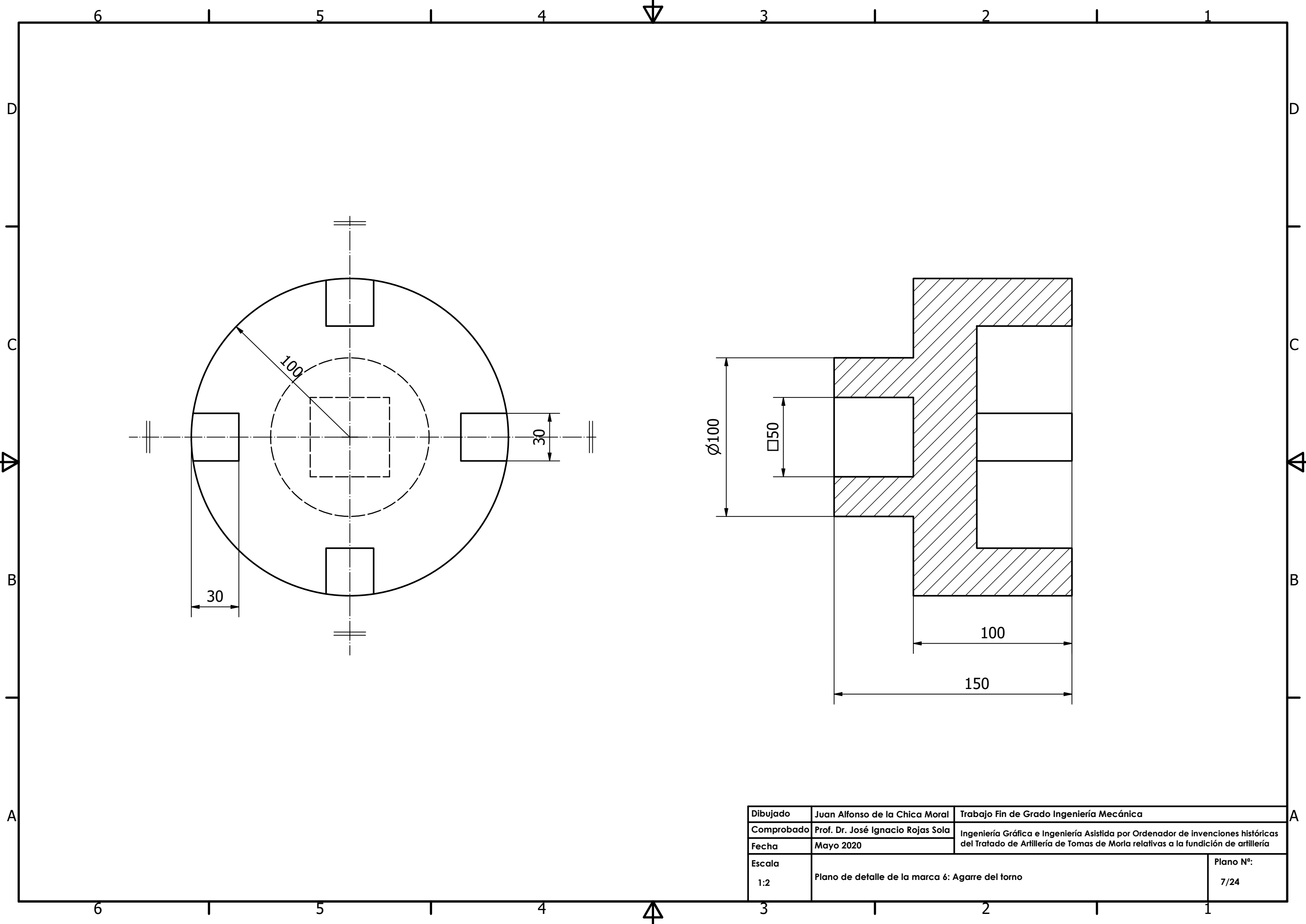


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 3: Corona dentada		Plano N°: 4/24

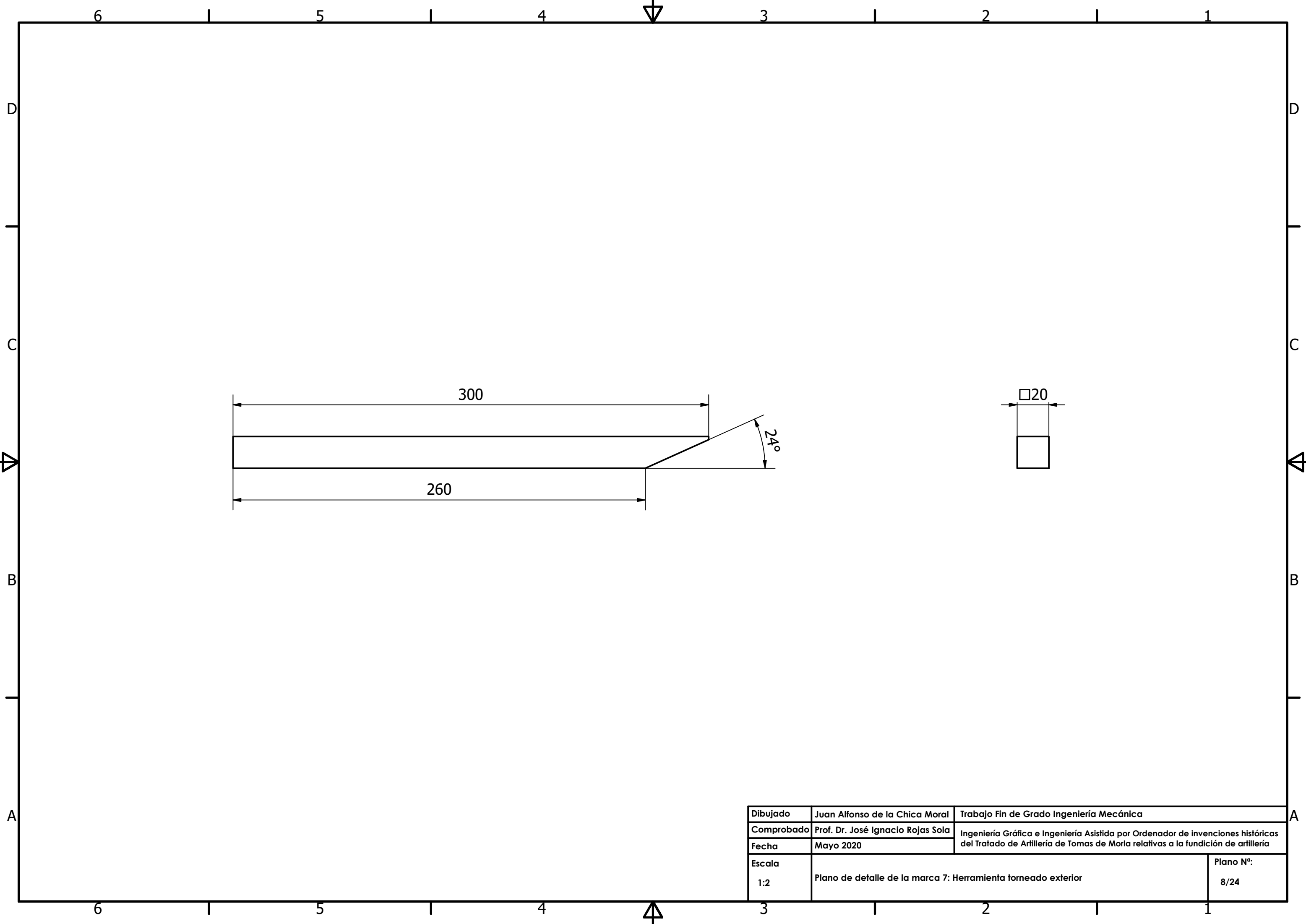




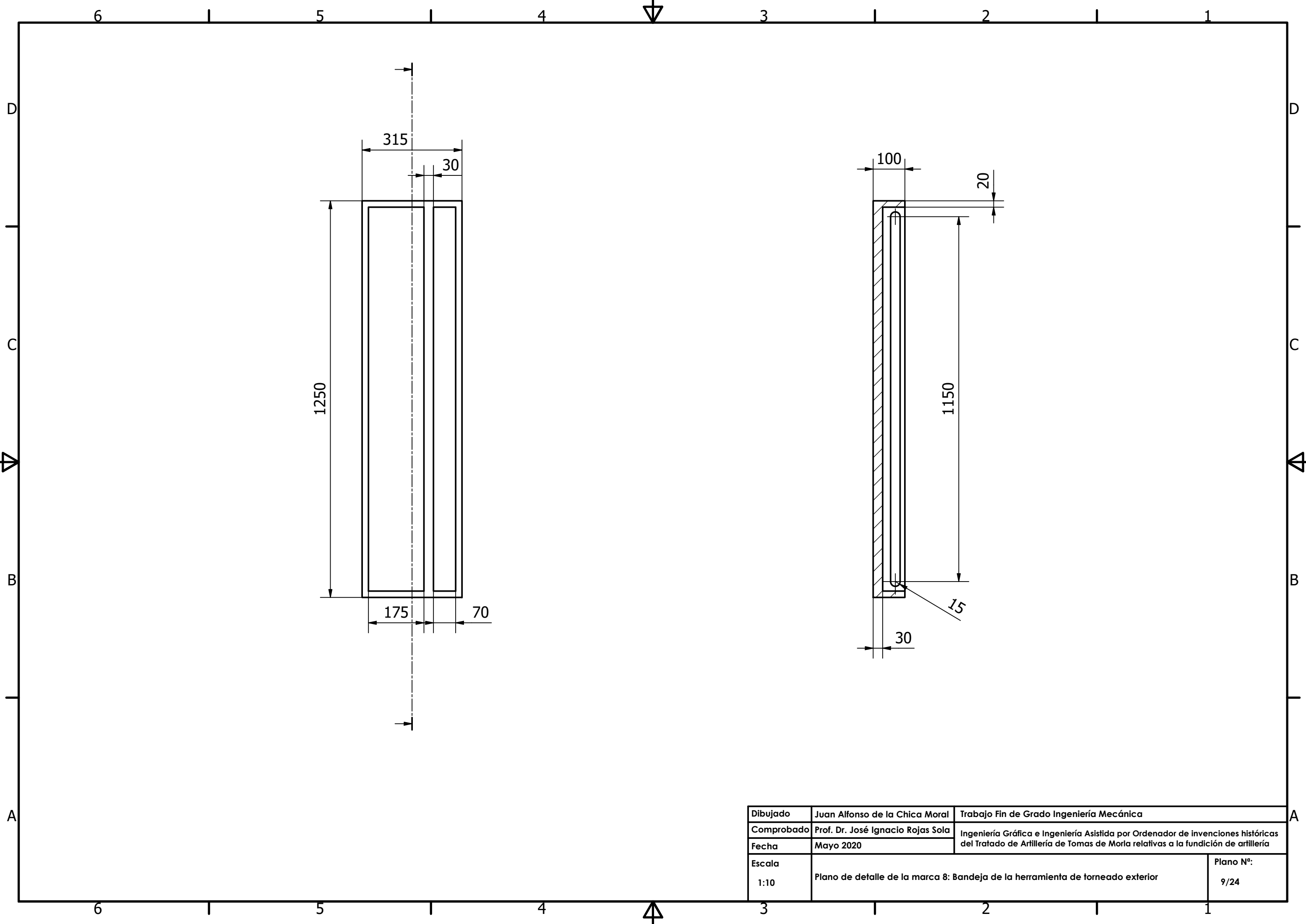
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería
Fecha	Mayo 2020	
Escala	Plano de detalle de la marca 5: Abrazadera del eje del torno	
		Plano N°: 6/24



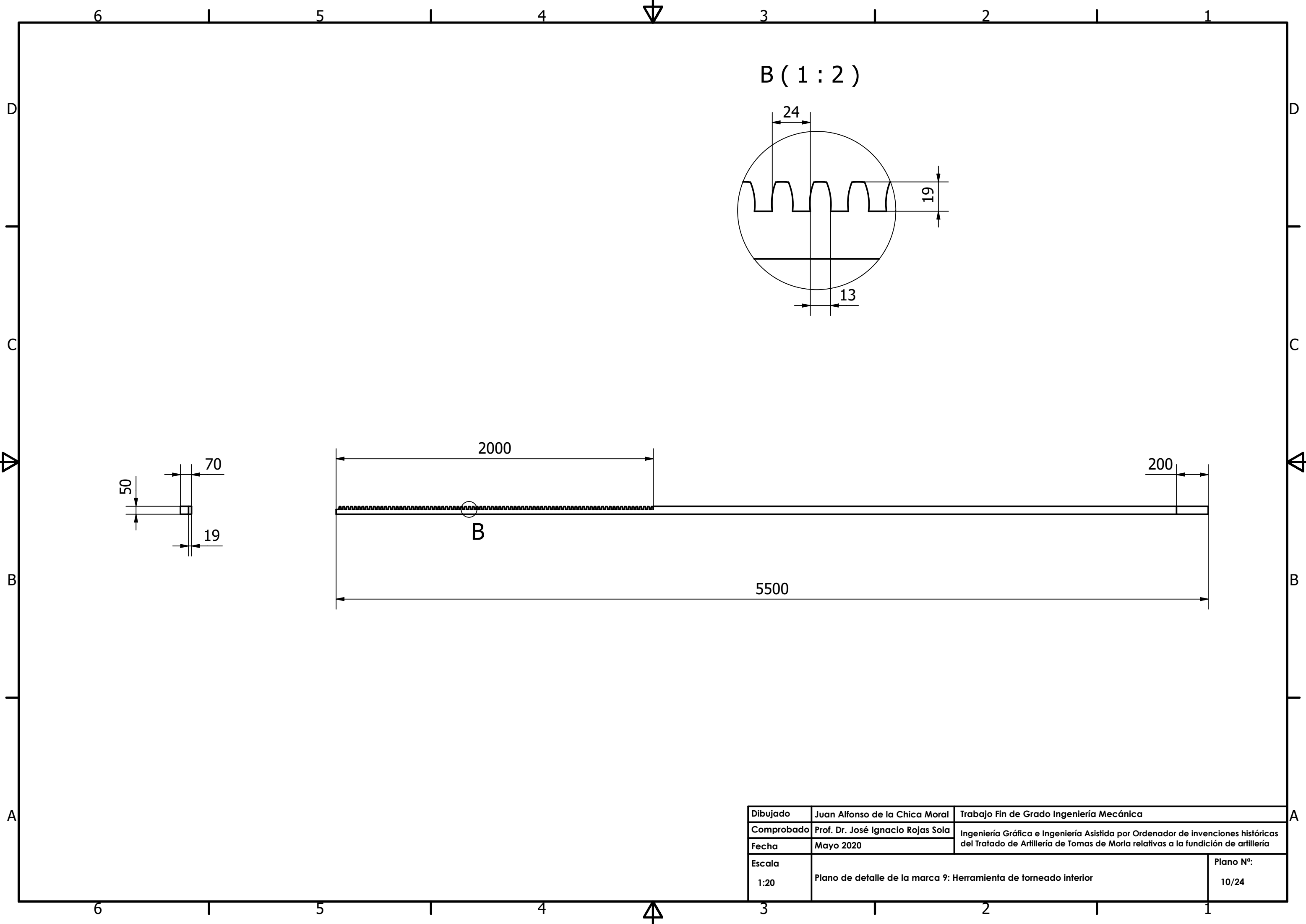
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 6: Agarre del torno		Plano N°: 7/24



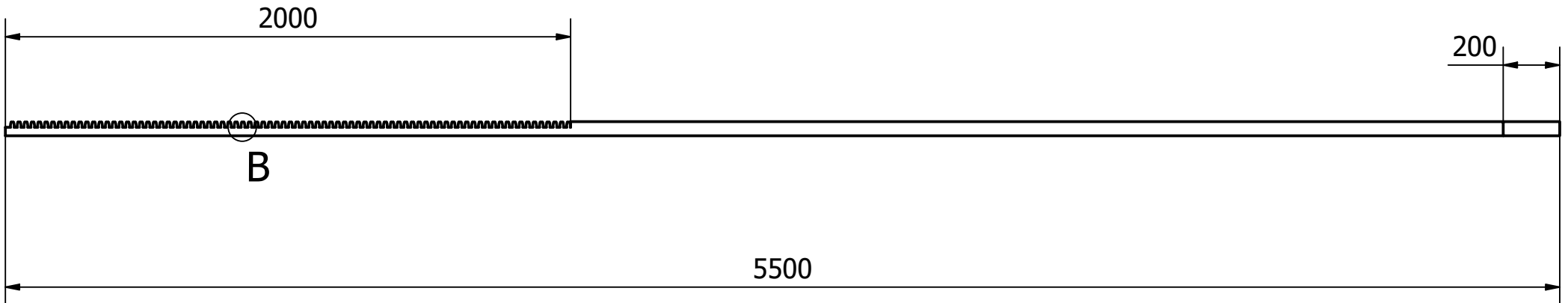
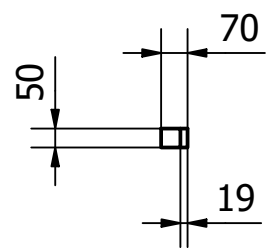
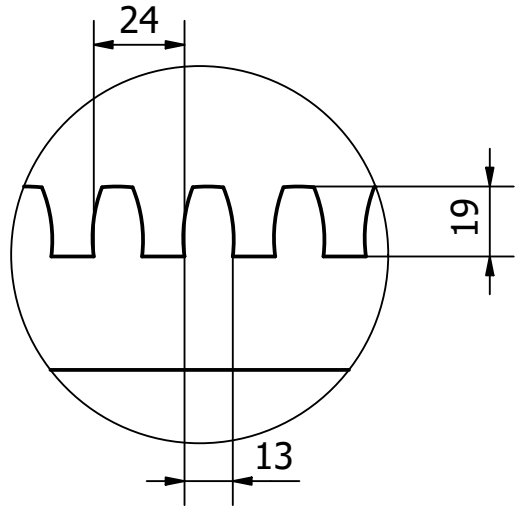
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	1:2		Plano N°:
	Plano de detalle de la marca 7: Herramienta torneado exterior		8/24



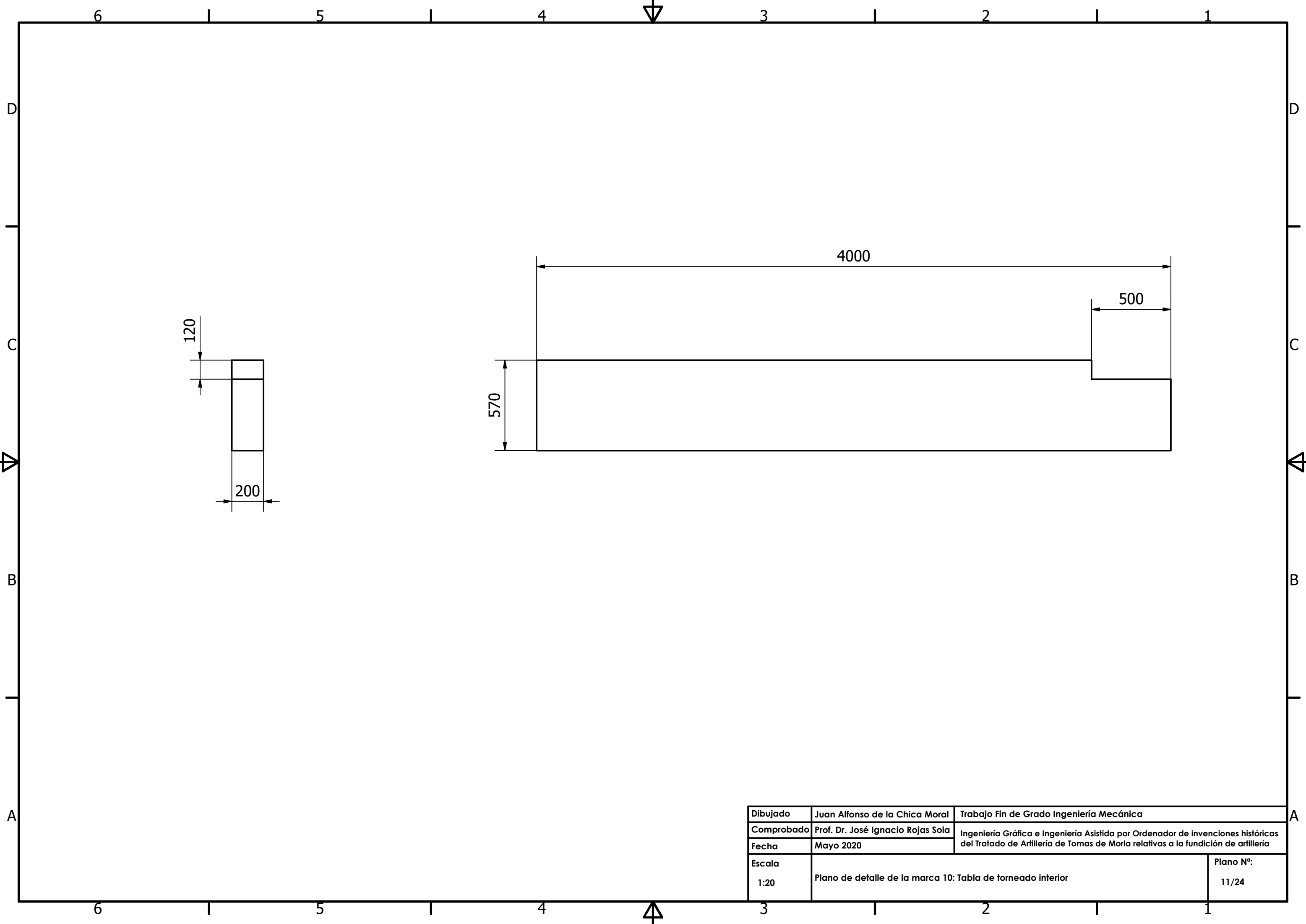
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 8: Bandeja de la herramienta de torneado exterior		Plano N°:
1:10			9/24



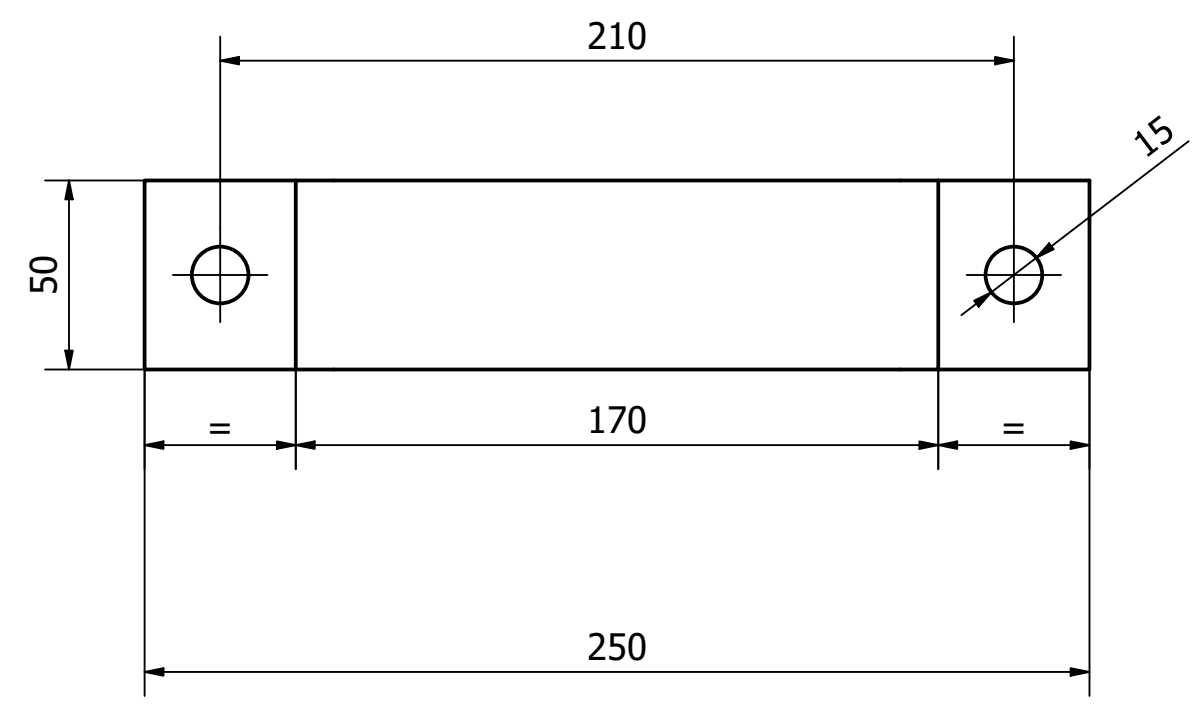
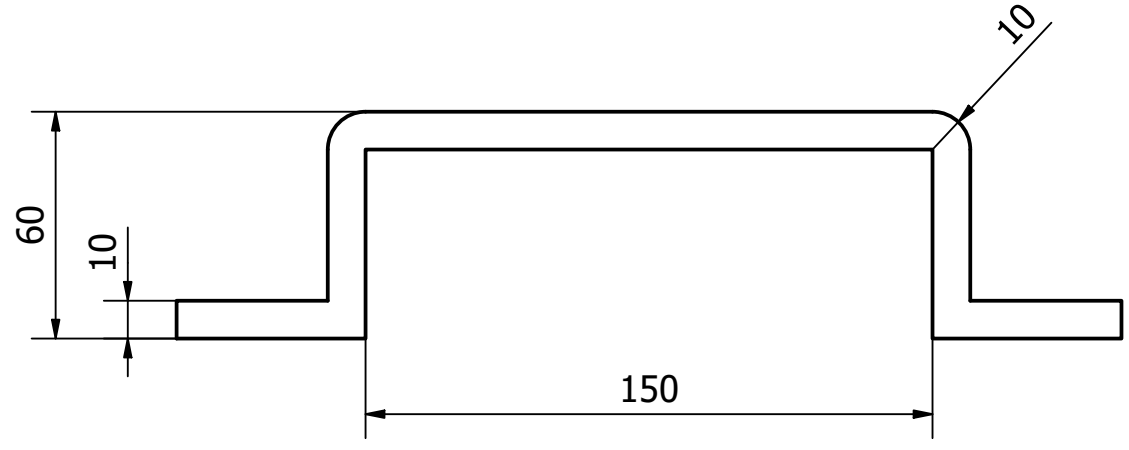
B ( 1 : 2 )



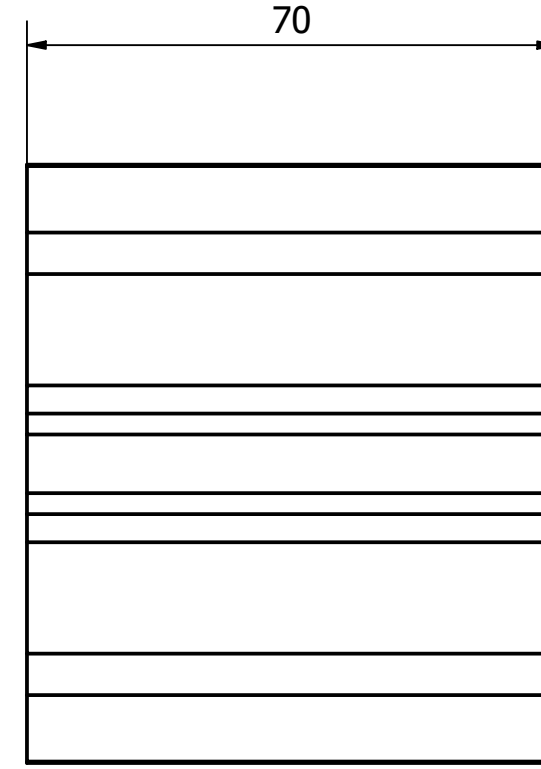
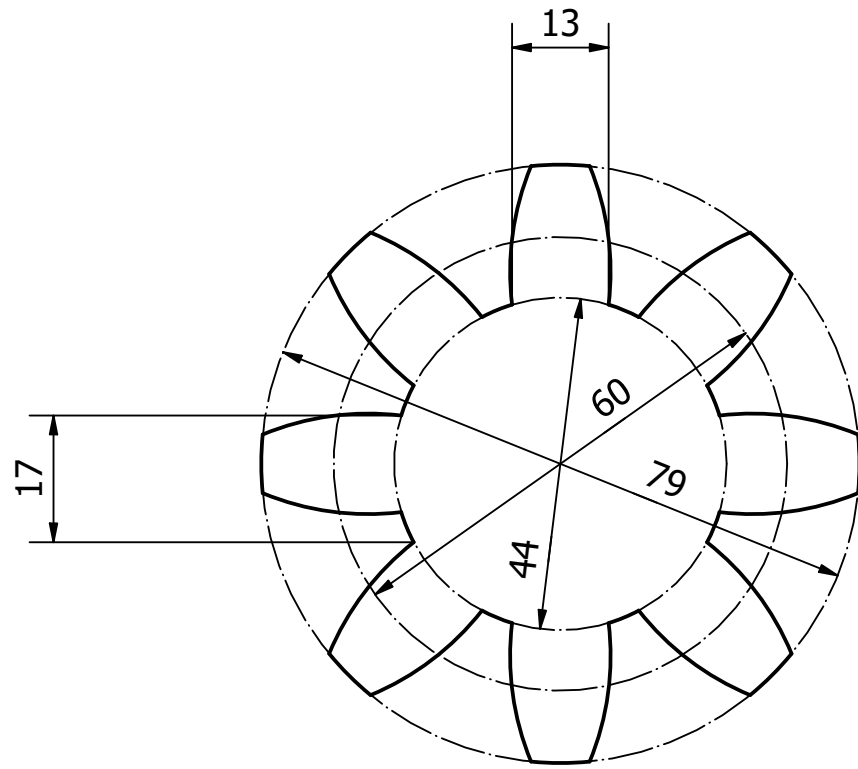
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 9: Herramienta de torneado interior		Plano N°:
1:20			10/24



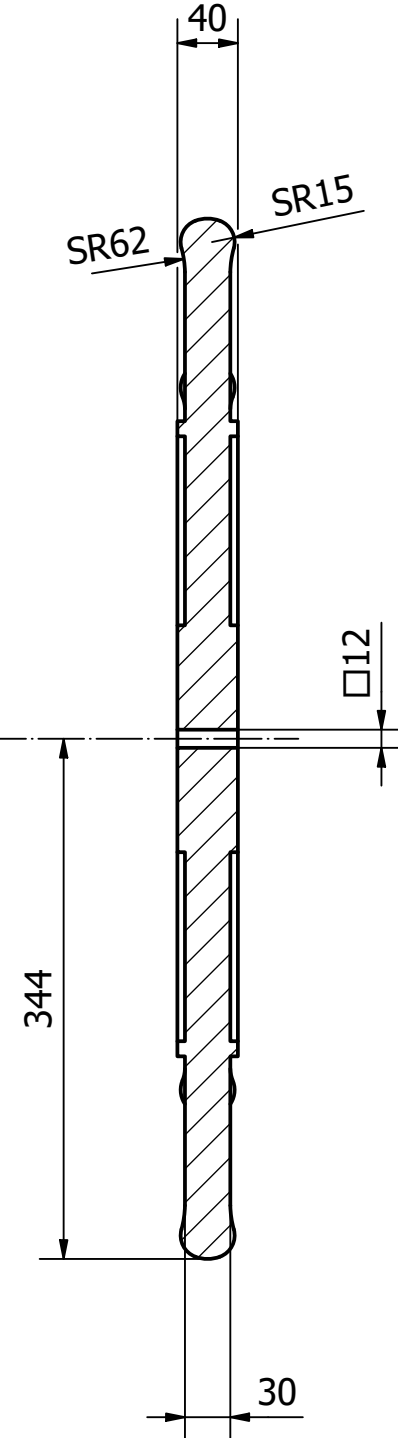
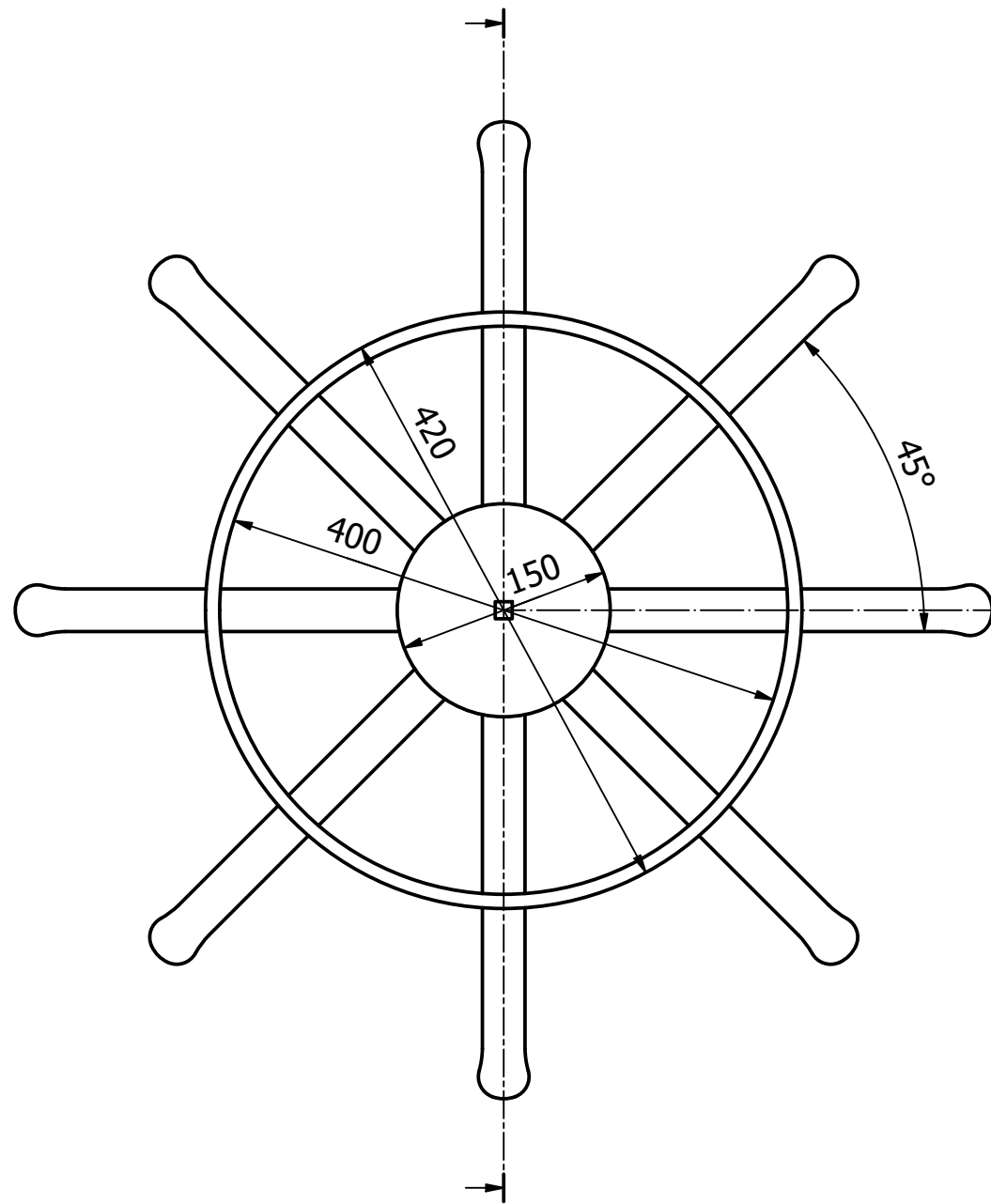
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 10: Tabla de torneado interior		Plano N°:
1:20			11/24



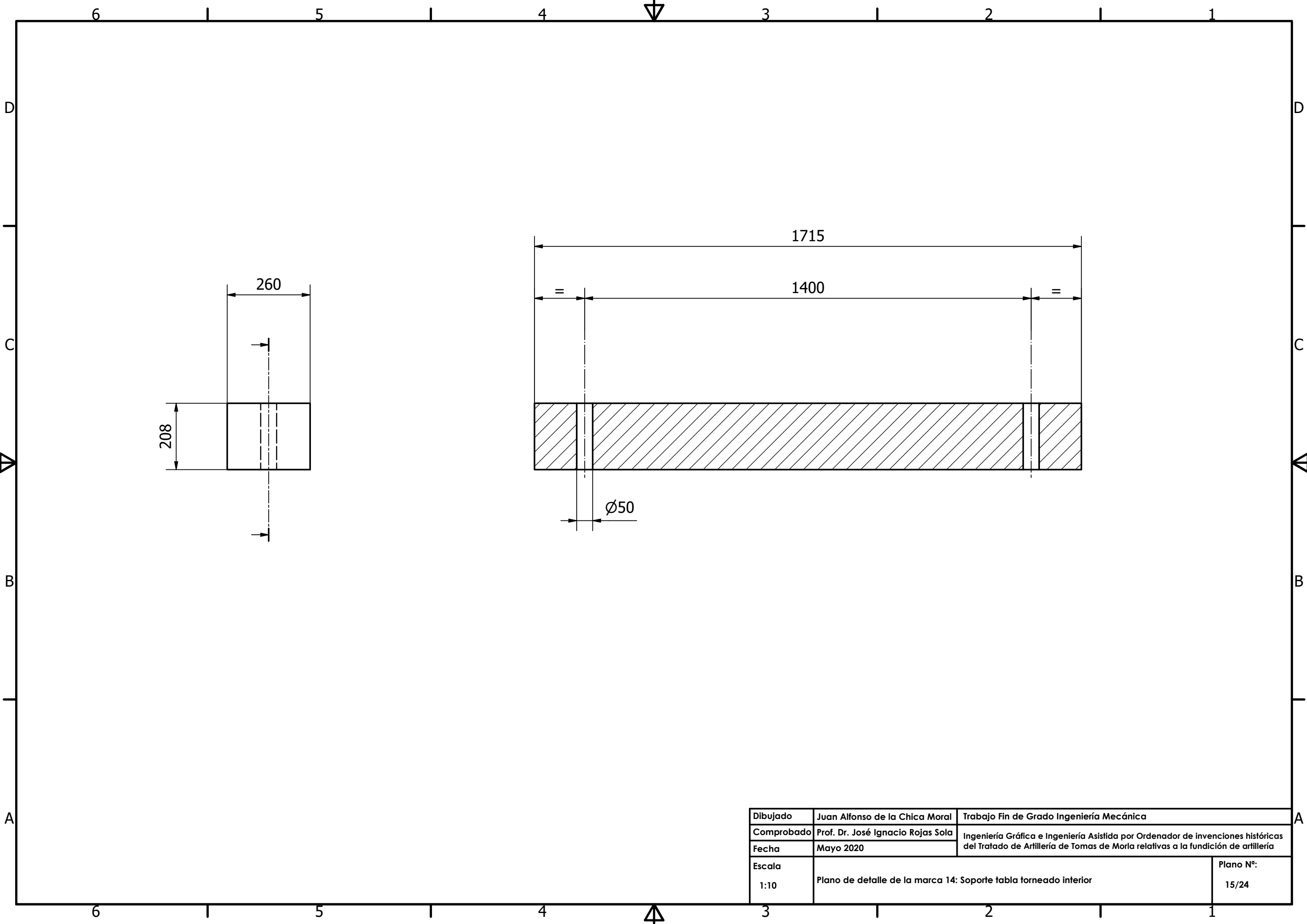
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 11: Abrazadera de la herramienta de torneado interior		Plano N°:
1:2			12/24



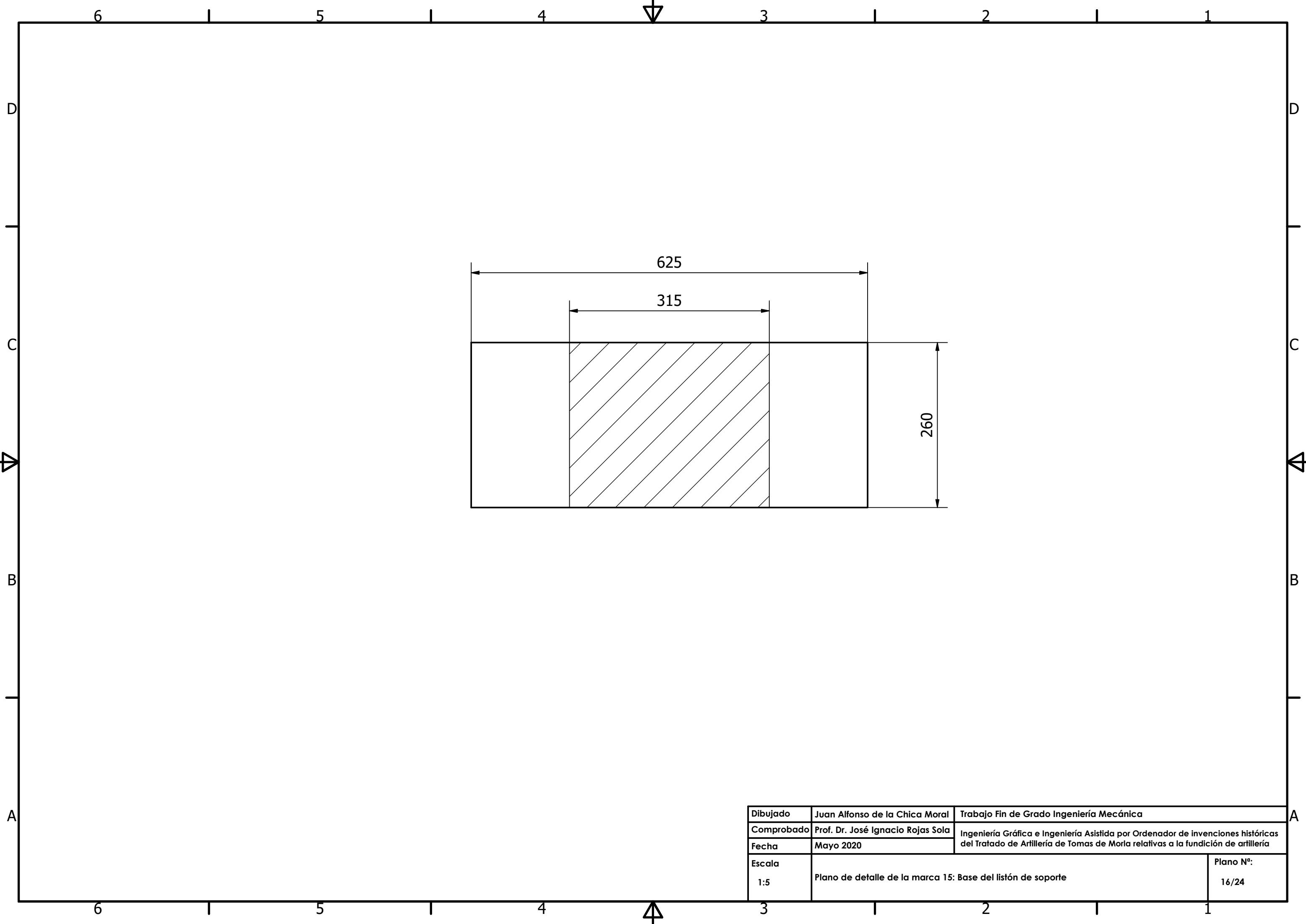
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 12: Engranaje de desplazamiento horizontal		Plano N°: 13/24
1:1			



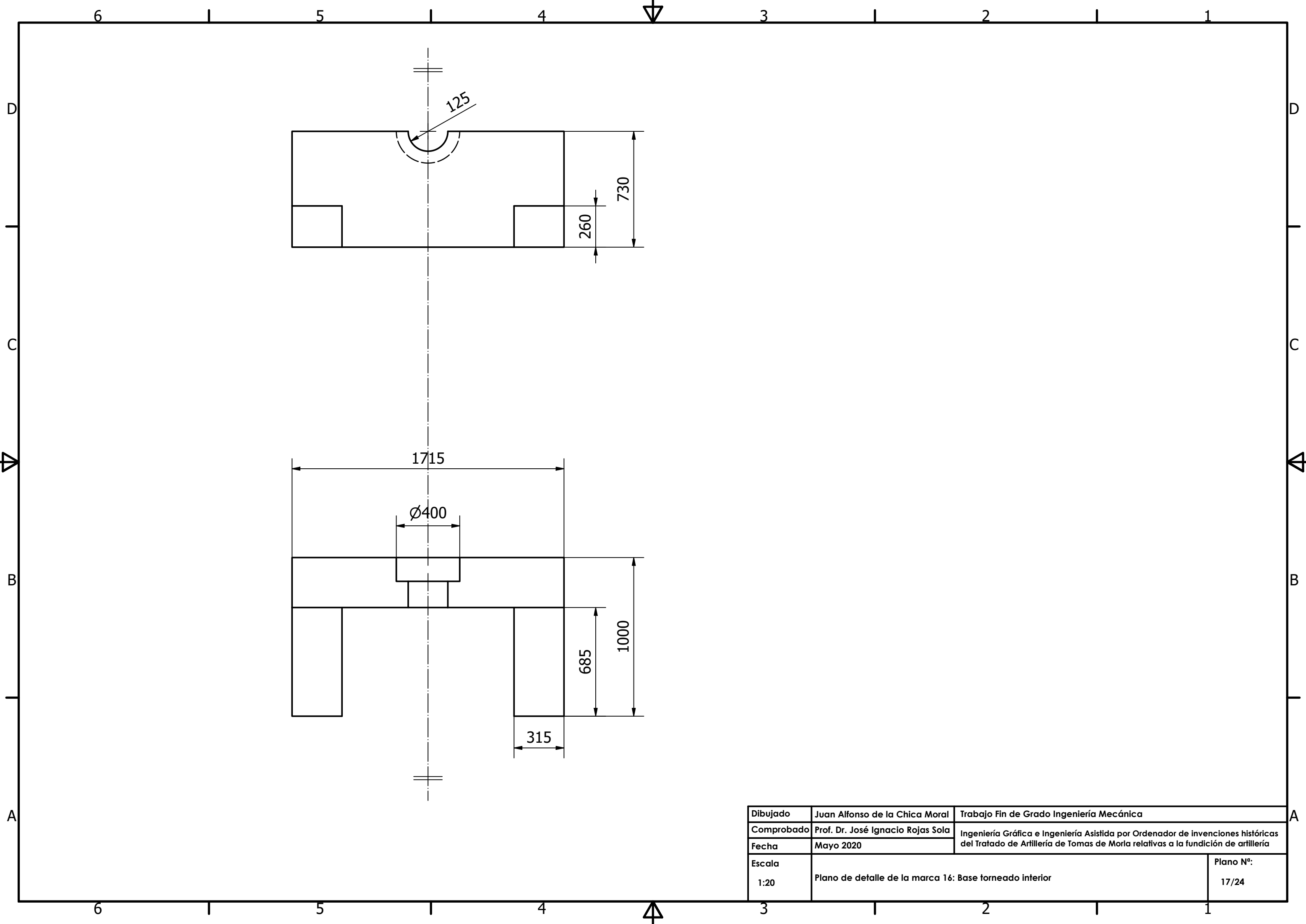
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	1:5		Plano N°: 14/24



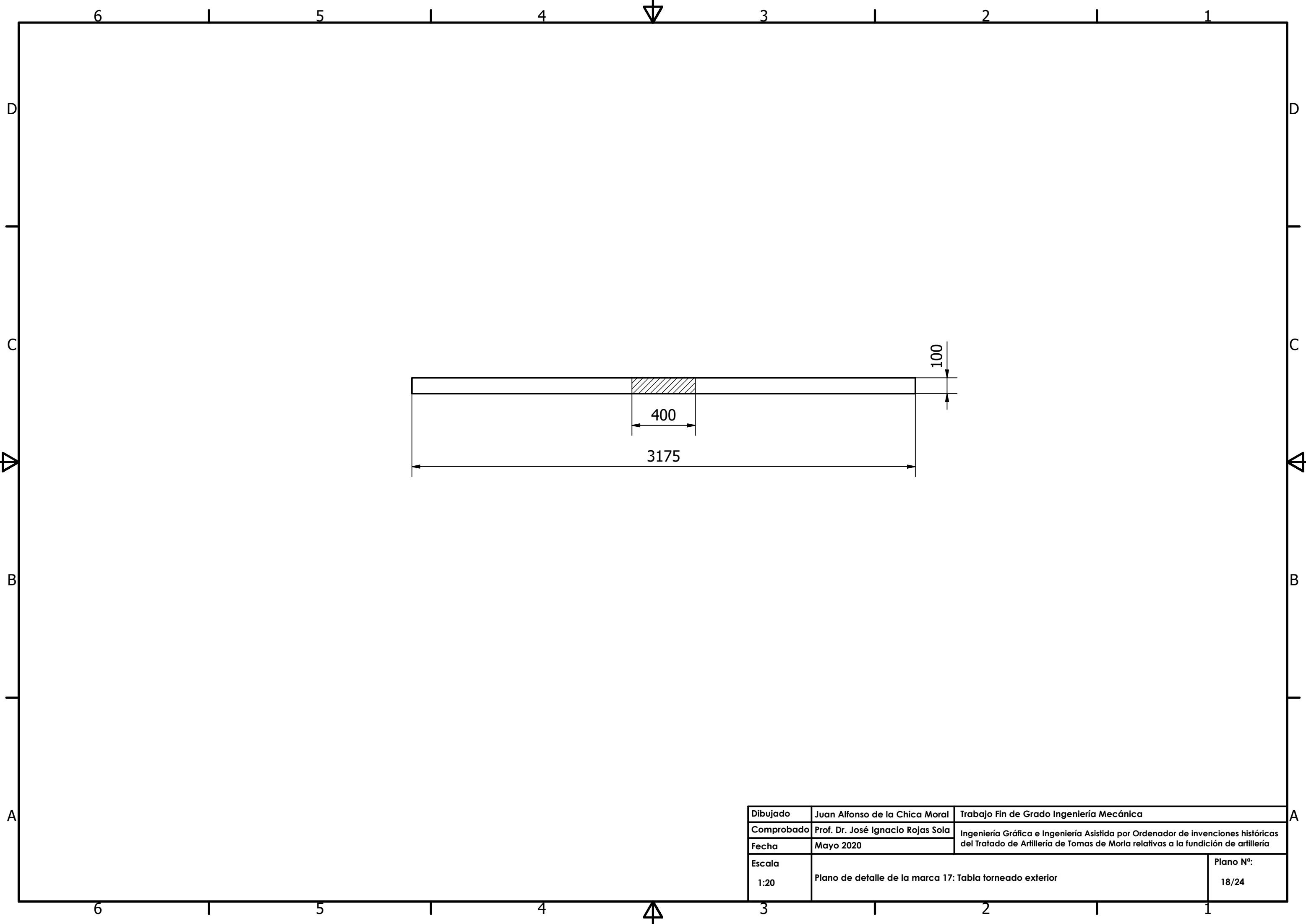
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 14: Soporte tabla torneado interior		Plano N°:
1:10			15/24



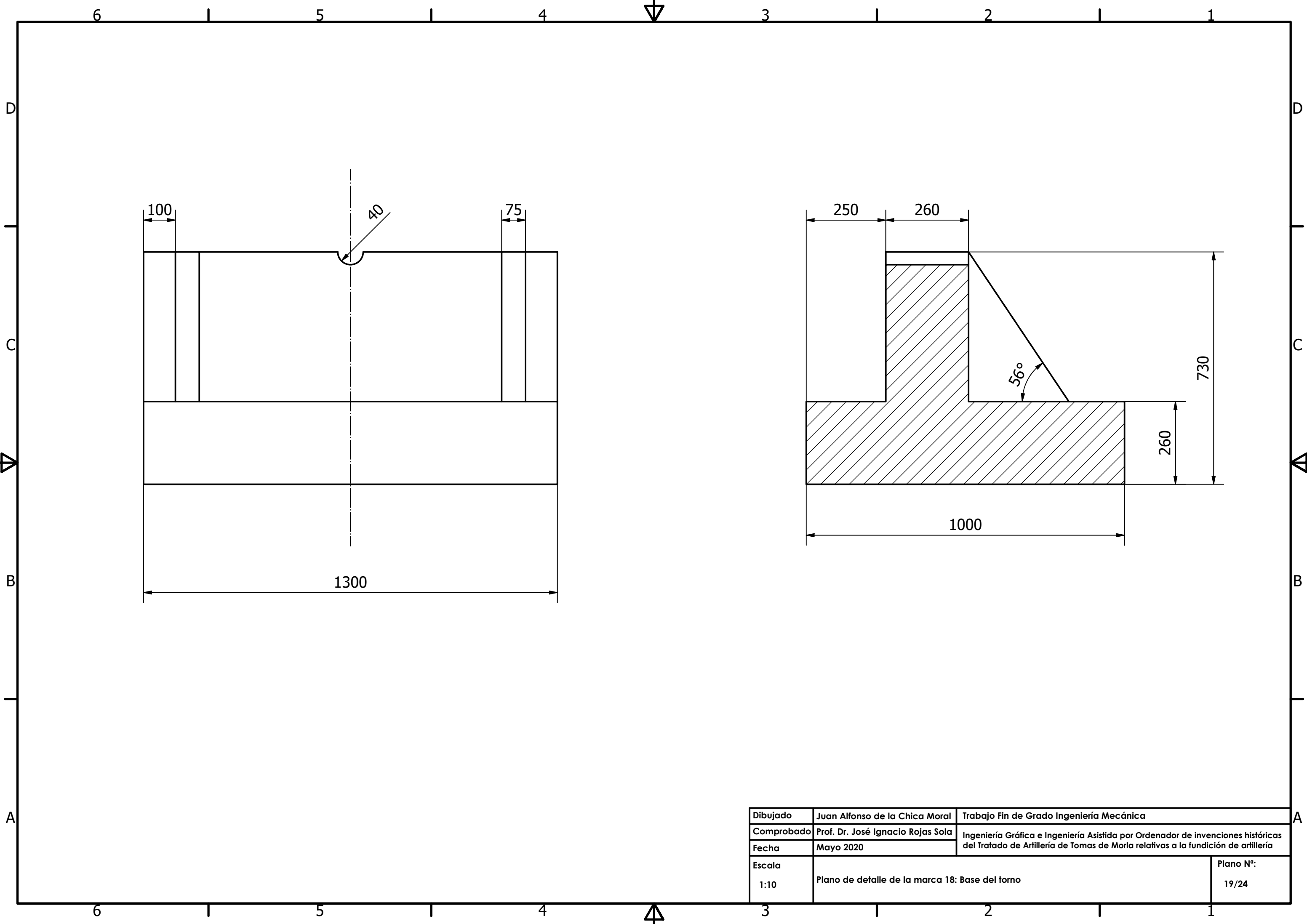
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 15: Base del listón de soporte		Plano N°: 16/24

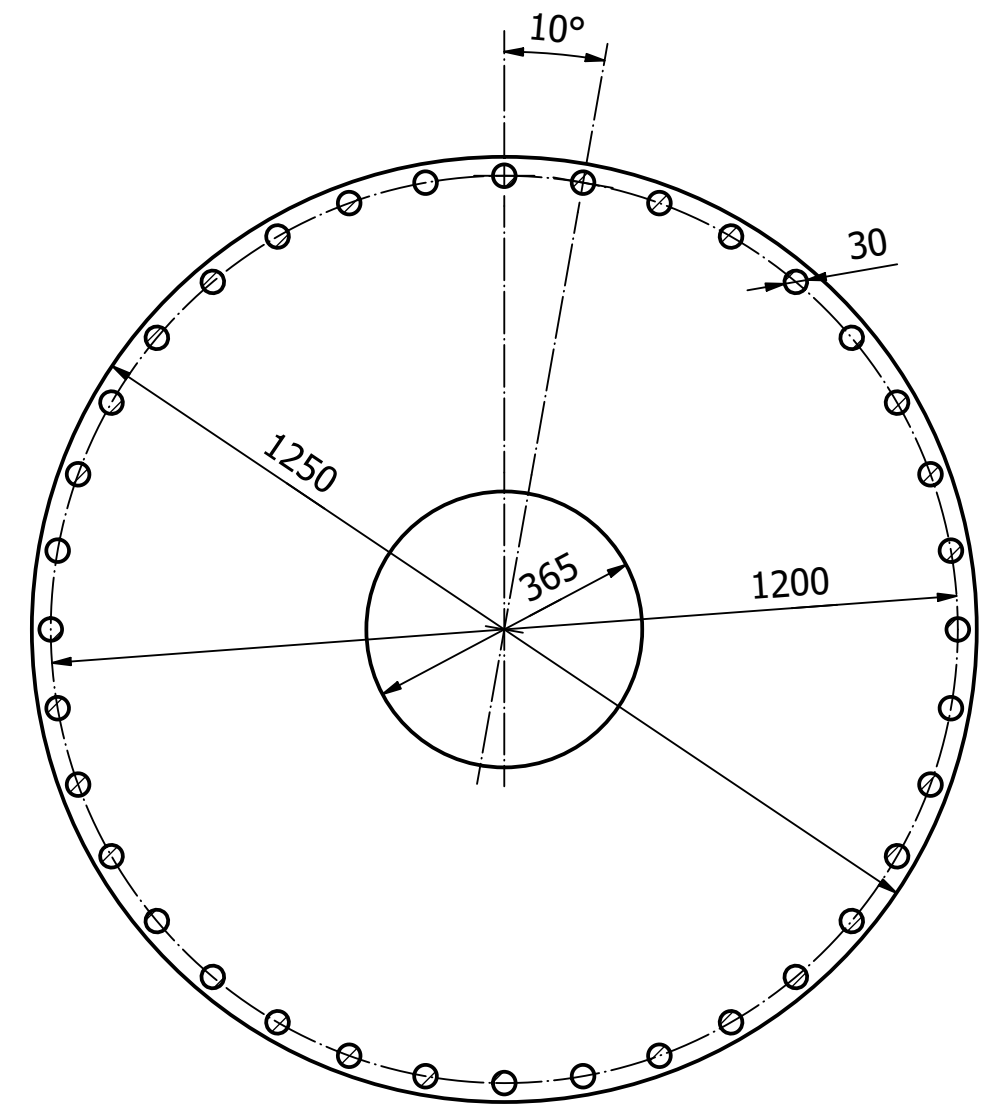
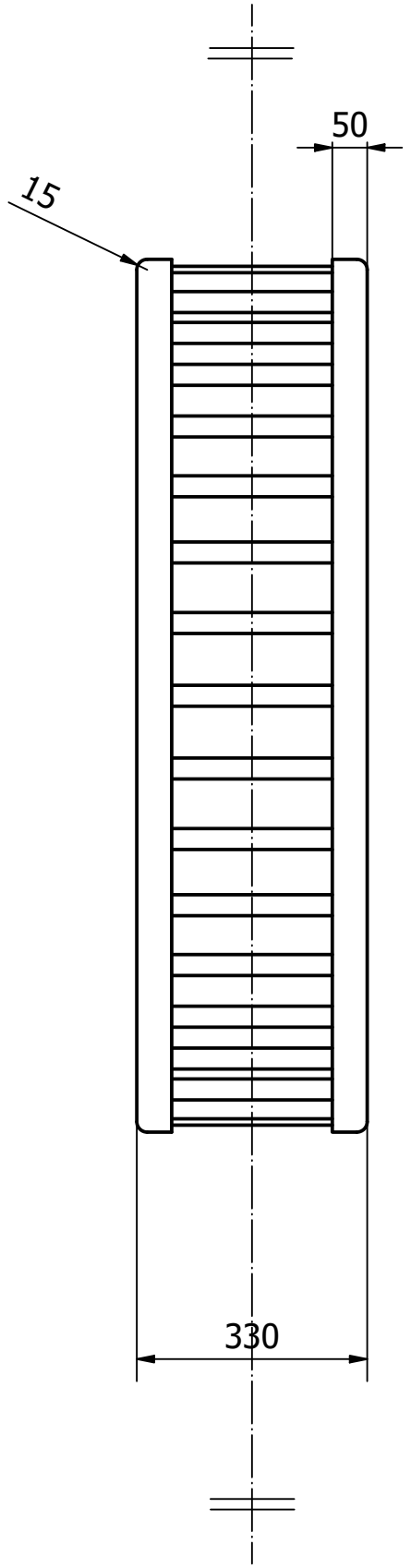


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	1:20		Plano N°: 17/24

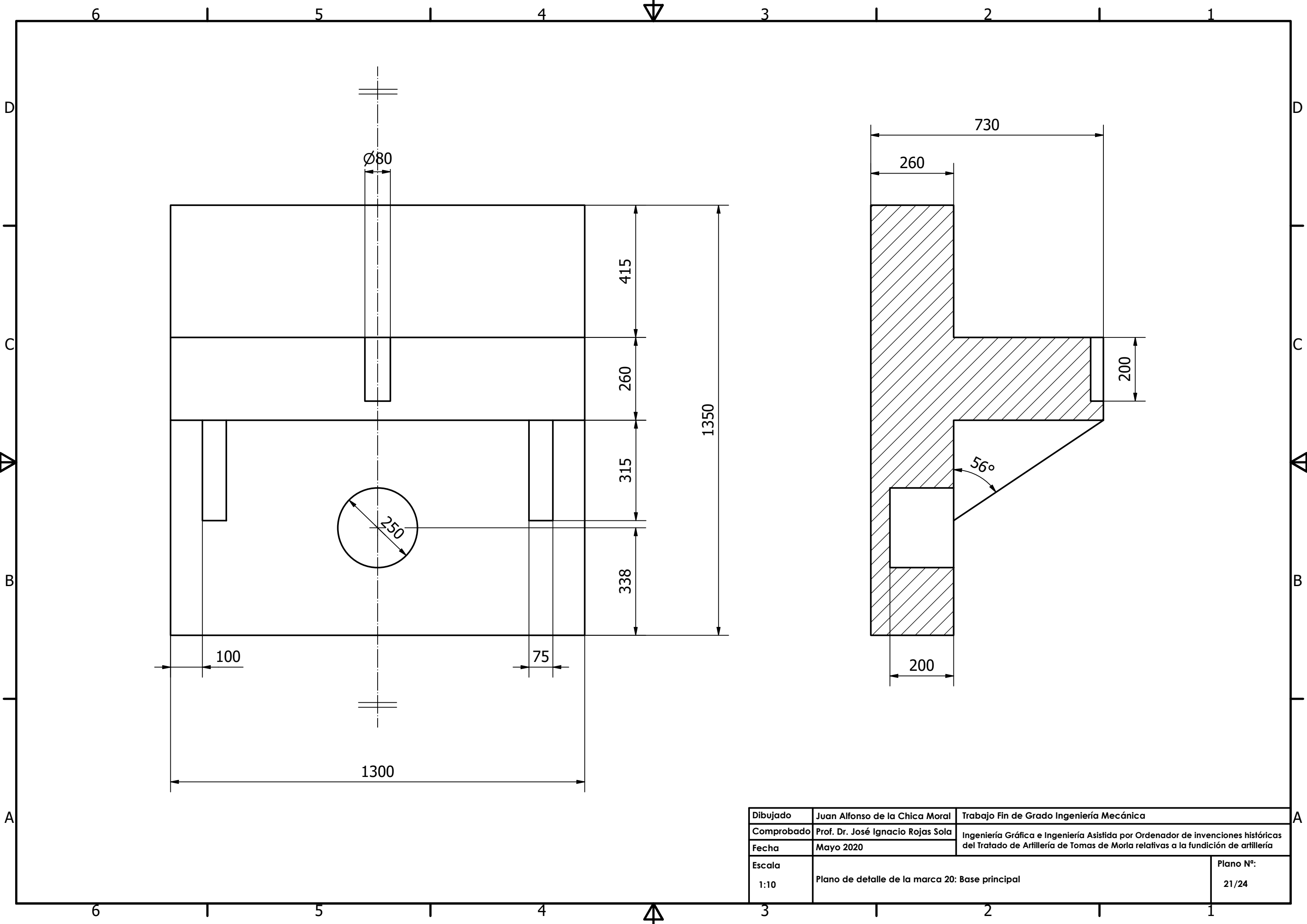


Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 17: Tabla torneado exterior		Plano N°:
1:20			18/24





Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 19: Linterna del eje del torno		Plano N°: 20/24
1:10			



6 5 4 3 2 1

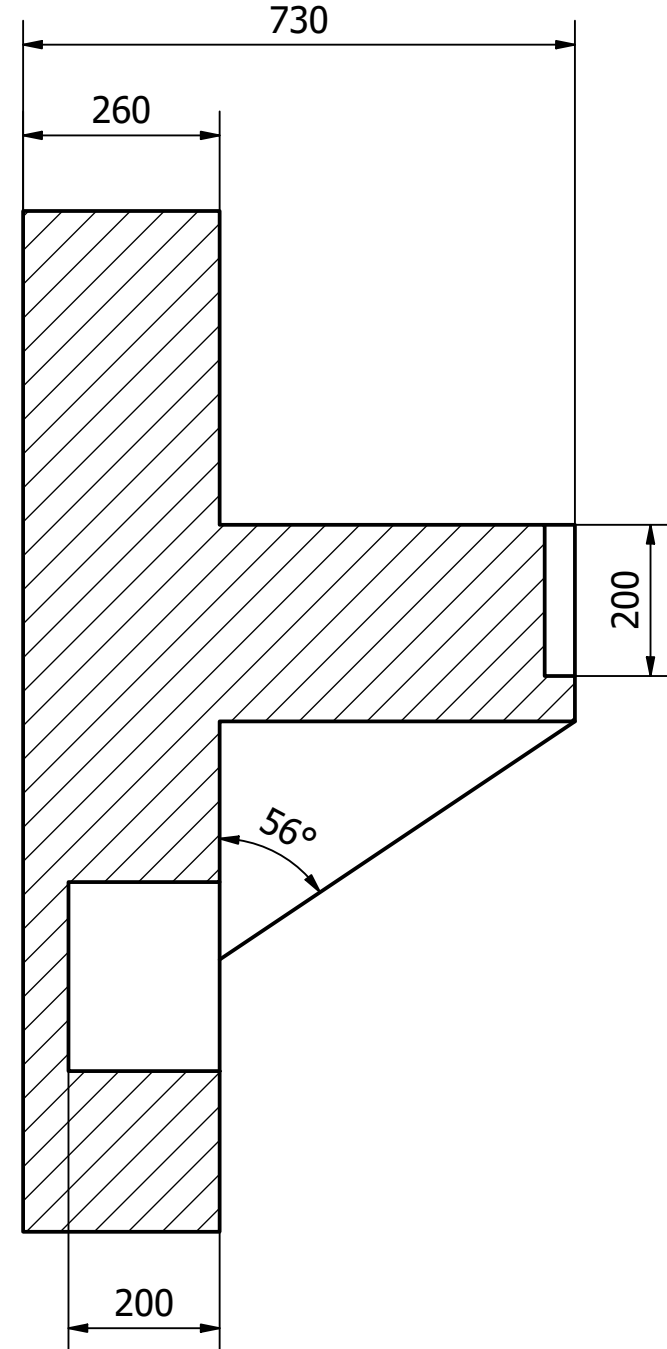
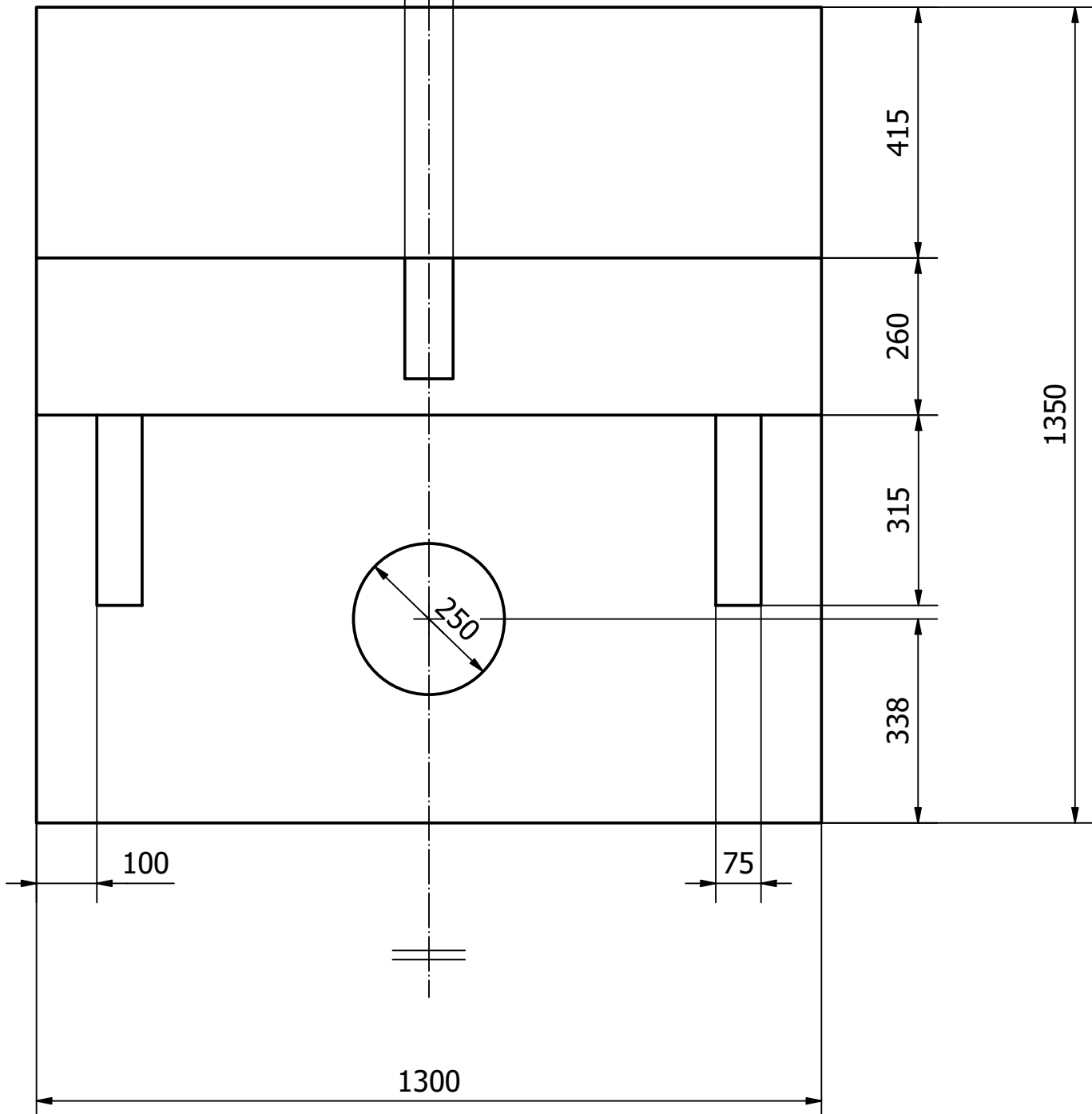
D D

C C

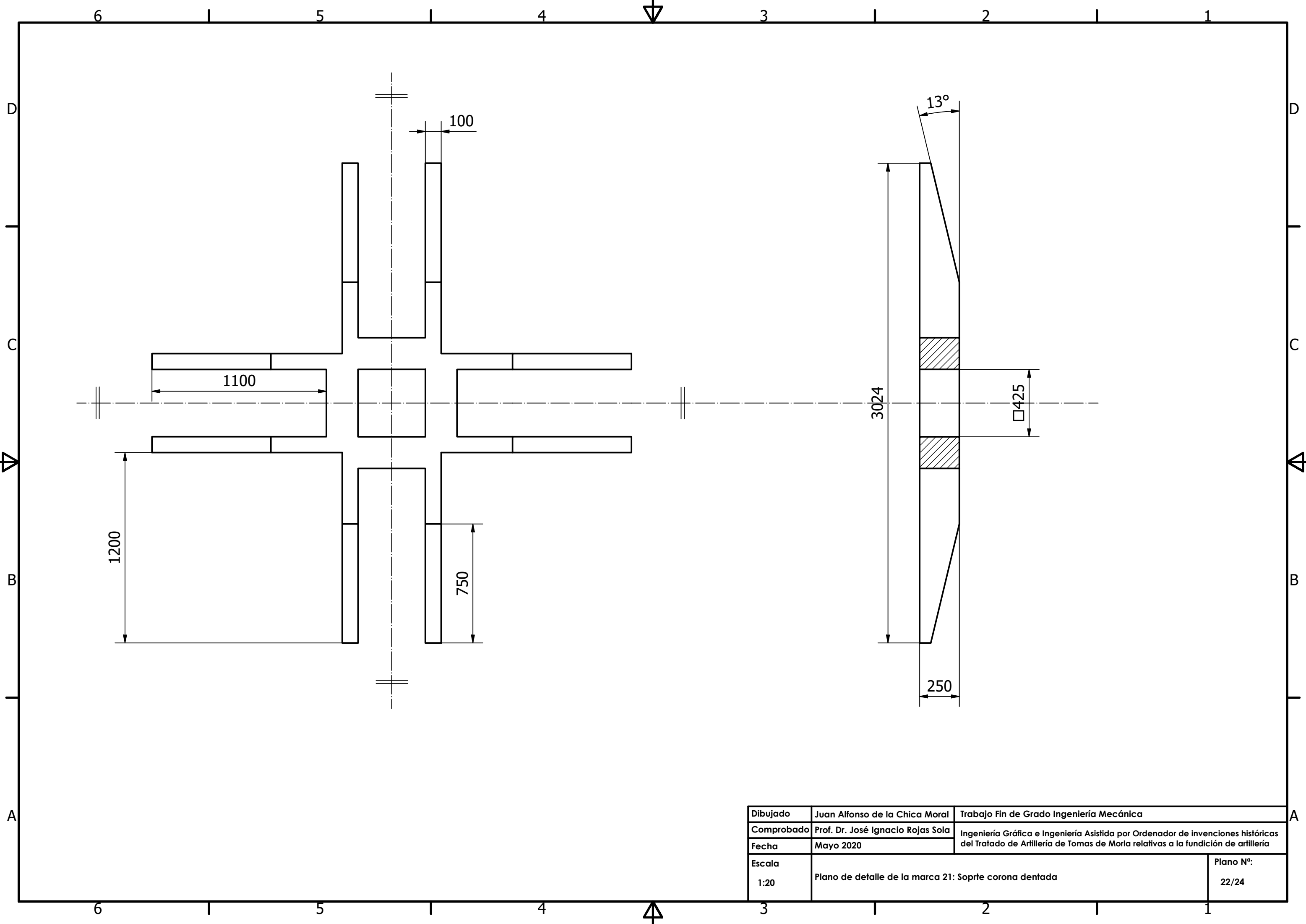
B B

A A

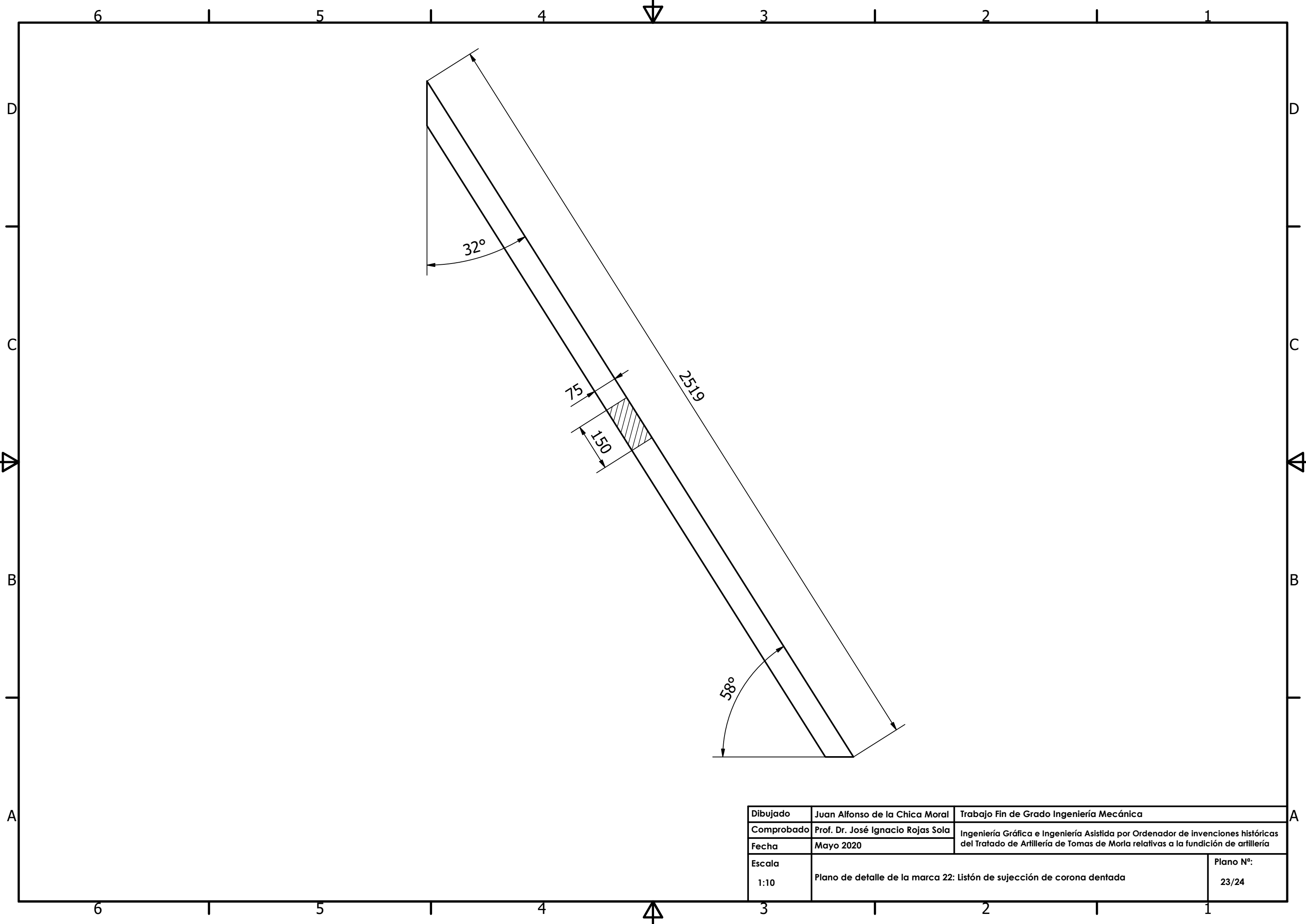
6 5 4 3 2 1



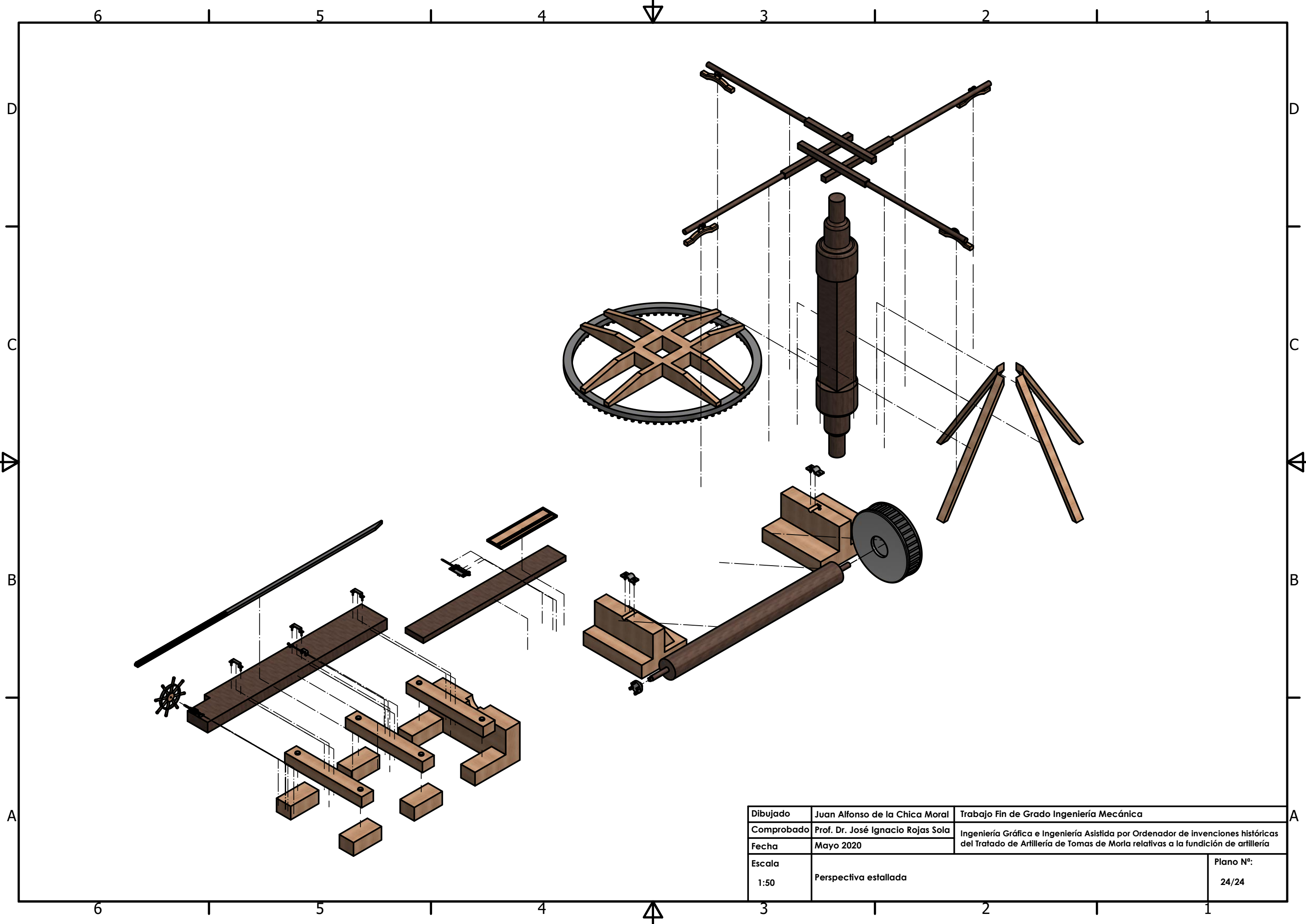
Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 20: Base principal		Plano N°: 21/24



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	1:20	Plano de detalle de la marca 21: Soprite corona dentada	Plano N°: 22/24



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	Plano de detalle de la marca 22: Listón de sujección de corona dentada		Plano N°: 23/24
1:10			



Dibujado	Juan Alfonso de la Chica Moral	Trabajo Fin de Grado Ingeniería Mecánica	
Comprobado	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería Gráfica e Ingeniería Asistida por Ordenador de invenciones históricas del Tratado de Artillería de Tomas de Morla relativas a la fundición de artillería	
Fecha	Mayo 2020		
Escala	1:50	Perspectiva estallada	Plano N°: 24/24