



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y cálculo FEM de plataforma para tiro sostenido para
MINIMI*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Antonio Estarellas Perales

DIRECTORES: Carlos Casqueiro Placer
Andrés Suárez García

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y cálculo FEM de plataforma para tiro sostenido para
MINIMI*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado se lleva a cabo el diseño de una base de tiro para la ametralladora MINIMI. Se realiza una base de tiro útil para todos los modelos de MINIMI, tanto los de calibre 7,62 como los de 5,56mm. Una vez realizado el diseño de la plataforma para tiro sostenido, se lleva a cabo el cálculo de resistencia estructural mediante el método de elementos finitos.

Todo el diseño se lleva a cabo por ordenador, con Siemens NX9, un software que tiene herramientas CAD a la vez que CAE, lo cual nos permite, sin necesidad de cambiar de software, el diseño y el propio cálculo estructural.

PALABRAS CLAVE

MINIMI, Ametralladora, FEM, Base de Tiro, CAD.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer la inestimable ayuda de mis directores de proyecto D. Carlos Casqueiro Placer y D. Andrés Suárez García, sin la cual me habría sido imposible solventar todos los problemas que me vinieron en suerte durante la realización de este proyecto. Sin su gran conocimiento y buenos consejos habría sido imposible alcanzar los objetivos determinados.

También me gustaría agradecer al TCOL. IM. José María Sanz Alisedo, Comandante del batallón de Cuartel General del Tercio de Armada, por su colaboración y asesoramiento en todo lo relativo a la Infantería de Marina Española y al SGTO (AMS) D. Nicolás Placer Riobo, condestable de la Escuela Naval Militar, por su predisposición a ayudarme siempre que lo necesite y su asistencia.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos.....	6
1.1 Armas de fuego	6
1.2 Ametralladora MINIMI.....	7
1.2.1 Descripción	7
1.2.2 Datos Técnicos.....	7
1.3 Infantería de Marina.....	8
1.3.1 Armamento de la Infantería de Marina.....	9
1.3.2 Compañía de Fusiles.....	9
1.3.3 Empleo táctico de ametralladoras	10
1.4 Herramientas de diseño e ingeniería	11
1.4.1 CAD.....	12
1.4.2 CAE	13
1.5 Objetivos	14
2 Estado del arte	15
2.1 Soportes actuales MINIMI.....	15
2.1.1 Bípode.....	15
2.1.2 Afuste sobre vehículo	16
2.1.3 Afuste sobre embarcaciones	17
2.2 Afustes de otras ametralladoras	19
2.2.1 MG 3 [9]	19
2.2.2 AMELI.....	22
3 Desarrollo del TFG.....	24
3.1 Ideas iniciales	24
3.1.1 Base de Tiro MG3	24
3.1.2 Adquisición de la información inicial.....	24
3.2 Desarrollo de las piezas.....	25
3.2.1 Afuste Superior.....	25
3.2.2 Sistema de amortiguación.....	30
3.2.3 Cuna	33
3.2.4 Mecanismo de disparo	33

3.3 Selección del material	37
4 Resultados / Validación / Prueba.....	38
4.1 Pruebas de carga.....	38
4.1.1 Mallado	38
4.1.2 Tipos de objeto de simulación	39
4.1.3 Simulación de un disparo.....	39
4.1.4 Simulación de una caída con el arma.....	43
4.2 Pruebas de resonancia	46
5 Conclusiones y líneas futuras	48
5.1 Conclusiones	48
5.2 Líneas futuras	48
6 Bibliografía.....	49
Anexo I: planos	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Ametralladora MINIMI 5,56 (tomada de [1])	7
Figura 1-2 Infantes de Marina portando MINIMI [3]	8
Figura 1-3 Diseño realizado con herramienta CAD [6]	12
Figura 2-1 Plano explosionado del bípode de la MINIMI [7].....	16
Figura 2-2 Afuste Platt Swing Mount [8].....	17
Figura 2-3 Platt Foldaway Weapon Mount [8]	18
Figura 2-4 Acople para candelero de la MG3	18
Figura 2-5 Horquilla para MINIMI	19
Figura 2-6 Conjunto montado sobre candelero	19
Figura 2-7 Ametralladora MG3.....	20
Figura 2-8 Afuste de la MG3 para buques	22
Figura 2-9 Ametralladora ligera AMELI [3].....	23
Figura 3-1 Base de tiro para ametralladora MINIMI	25
Figura 3-2 Afuste superior.....	26
Figura 3-3 Bastidor.....	26
Figura 3-4 Cojinete.....	27
Figura 3-5 Cojinte con muesca.....	27
Figura 3-6 Soporte de la muñonera	28
Figura 3-7 Muñonera pivotante	28
Figura 3-8 Cerradura	29
Figura 3-9 Apoyo barra de tiro.....	29
Figura 3-10 Apoyo de giro	30
Figura 3-11 Sistema de amortiguación.....	31
Figura 3-12 Balancines.....	31
Figura 3-13 Barra de torsión	32
Figura 3-14 Discos de amortiguación.....	32
Figura 3-15 Cuna.....	33
Figura 3-16 Mecanismo de disparo	34
Figura 3-17 Maneta	34
Figura 3-18 Pieza angulada	35
Figura 3-19 Barra de tiro	35
Figura 3-20 Tope roscado.....	36
Figura 3-21 Palanca accionadora.....	37

Figura 4-1 Mallado tetraédrico	38
Figura 4-2 Representación gráfica de contactos y adherencias entre superficies	39
Figura 4-3 Representación de fuerzas y restricciones	40
Figura 4-4 Desplazamiento total	40
Figura 4-5 Desplazamiento en el eje X	41
Figura 4-6 Desplazamiento en el eje Y	41
Figura 4-7 Desplazamiento en el eje Z.....	41
Figura 4-8 Tensión de Von Misses.....	42
Figura 4-9 Detalle tensión de von Misses	42
Figura 4-10 Detalle tensión de Von Misses	43
Figura 4-11 Desplazamiento Absoluto.....	44
Figura 4-12 Desplazamiento en el eje X	44
Figura 4-13 Desplazamiento en el eje Y	45
Figura 4-14 Desplazamiento en el eje Z.....	45
Figura 4-15 Tensión de Von Misses.....	46
Figura 4-16 Detalle tensión de Von Misses	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Comparación modelos MINIMI (tomada de [2]).....	8
---	---

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Armas de fuego

Arma es todo instrumento, medio o máquina destinado a atacar o defenderse. Se concreta arma de fuego como aquella en la cual el disparo se verifica mediante pólvora u otro explosivo.

Las armas de fuego se pueden clasificar de muy diversas formas atendiendo a distintos factores como el calibre de la munición utilizada o el uso que se le vaya a dar al arma.

Una primera clasificación se puede hacer por el método de disparo de estas. Según sea la intervención del tirador en las operaciones del ciclo de funcionamiento, las armas se clasifican en:

MANUALES: Son aquellas en las que todos los elementos del ciclo de funcionamiento debe realizarlas manualmente el tirador. Un ejemplo de este tipo de armas podría ser un revolver o un fusil Barret.

SEMIAUTOMÁTICAS: Son aquellas en las que todos los elementos del ciclo de funcionamiento se realizan automáticamente a excepción del disparo, que se realiza de forma manual. Dentro de esta categoría entrarían las pistolas o los fusiles de asalto en modo “tiro a tiro”.

AUTOMATICAS: son aquellas en las que todos los elementos del ciclo de funcionamiento se realizan automáticamente mientras se pulse el disparador o quede munición en el elemento de alimentación. En esta categoría se agrupan las ametralladoras o los fusiles de asalto en modo “ráfaga”.

Otra forma de clasificar las armas de fuego es por el calibre de la munición que utilizan. Aunque todas las armas se dividen en tres grandes grupos, pequeño calibre, hasta 20mm.; mediano calibre, hasta tres pulgadas, y gran calibre, de tres pulgadas en adelante. En el caso de las ametralladoras se hace una clasificación especial acorde a este criterio.

Se conoce como ametralladora ligera a aquella que utiliza munición de 5,56x45mm. Es la de mayor movilidad, ya que es un único soldado el que se necesita para usarla. Se utiliza normalmente sobre bípode o sin apoyo, ya que su peso no supera los 7,5 kilogramos.

El término ametralladora media es utilizado para referirse a las ametralladoras que disparan munición de 7,62mm (7,62x51 en el caso de la munición OTAN y 7,62x54 en ametralladoras orientales). Tienen la capacidad de ser disparadas sobre bípode, trípode o algún afuste especial. Una MINIMI de 7,62 pesa alrededor de 9 kilogramos.

Las ametralladoras pesadas son aquellas que disparan munición de 12,7mm. Este tipo de ametralladoras son de movilidad muy reducida y necesitan más de un soldado para operarla y

transportarla. Por poner un ejemplo la Browning M2 montada sobre su trípode alcanza un peso de 58 kilogramos.

1.2 Ametralladora MINIMI

1.2.1 Descripción

La ametralladora MINIMI (mini ametralladora en francés, Mini-mitrailleuse) es una ametralladora desarrollada en la ciudad belga Hertsal en la Fabrique Nationale (FN) en el año 1974 por Ernest Vervier.

La MINIMI es una arma accionada por toma de gases, completamente automática, de apoyo liviano, con un raíl Picatinny integrado en su tapa de alimentación, que dispara munición 7,62 x 51 mm OTAN y 5,56 x 45 mm OTAN según el modelo. Para cada uno de los calibres existen varios modelos. En la Armada Española se utilizan el modelo 5,56 PARA en el caso de la de munición de 5,56 y la 7,62 T.R. de culata telescópica en la de 7,62.



Figura 1-1Ametralladora MINIMI 5,56 (tomada de [1])

1.2.2 Datos Técnicos

A continuación se muestra una tabla en la que se comparan los dos modelos de ametralladora MINIMI con los que cuenta la Armada Española en sus principales características.

MODELO	5,56 PARA	7,62 T.R.
Calibre	5,56x45 mm OTAN	7,62x 51 mm OTAN
Alimentación	Cinta y cargador	Cinta
Longitud total	766 mm	1000 mm
Anchura total	110 mm	128 mm
Peso	7,35 kg	8,6 kg
Longitud cañón	349 mm	502 mm
Peso cañón	1,6 kg	2,16 kg
Cadencia de tiro	700-1000 dpm	680-800 dpm
Alcance efectivo	800 m	1000 m

Tabla 1-1 Comparación modelos MINIMI (tomada de [2])

1.3 Infantería de Marina

El Cuerpo de Infantería de Marina de es una unidad operativa anfibia de la Armada Española. Su principal misión es la proyección del poder naval mediante el uso de fuerzas de carácter anfibio sobre una costa hostil o potencialmente hostil. Para llevar a cabo esta función utilizan una gran variedad de armamento y material.



Figura 1-2 Infantes de Marina portando MINIMI [3]

1.3.1 Armamento de la Infantería de Marina

A continuación se detalla una lista del armamento utilizado por la Infantería de Marina Española tomada de [3]. Cabe destacar que la ametralladora MINIMI viene a sustituir, en cada uno de sus modelos a la ametralladora ligera Ameli y a la ametralladora media MG-3S. La paulatina desaparición de la MG-3S va dejando sin ametralladoras medias con la capacidad de colocarse sobre un trípode a la Infantería de Marina, por lo que es necesario dotar de esta capacidad a las ametralladoras MINIMI.

- Ametralladora Ligera Ameli
- Ametralladora Media MG-3S
- Ametralladoras Minimi
- Ametralladora Pesada Browning M-2HB
- Fusil G-36E y G-36KE (cañón corto)
- Fusil de precisión Barret M-95
- Fusil de precisión ACCURACY AW
- Lanzagranadas AG 36 de 40 mm
- Lanzagranadas Instalaza C90C
- Lanzagranadas Automático LAG 40 SB de 40 mm
- Misil Antiaéreo Ligero Matra Mistral
- Misil Contracarro BGM-71 TOW 2
- Misil Contracarro SPIKE LR
- Obus Autopropulsado ATP M-109 A2
- Obus remolcado OTO Melara M-56
- Pistola FN P9 17
- Pistola Llama M-82
- Subfusil H&K MP-5
- Vehículo Municionador M-992

1.3.2 Compañía de Fusiles

La compañía de fusiles de Infantería de Marina es el elemento básico del Batallón de desembarco y, adecuadamente reforzado, puede constituir organizaciones operativas para llevar a cabo diferentes cometidos. Cada batallón de desembarco de la Infantería de Marina cuenta con tres compañías de fusiles [4].

La compañía de fusiles está constituida por un mando y su plana mayor, tres secciones de fusiles y una sección de armas. A su vez, la sección de fusiles se compone de tres pelotones de fusiles

constituidos por dos equipos de fuego cada uno. Cada uno de los equipos de fuego consta de una ametralladora ligera. La sección de armas se compone de tres pelotones de ametralladoras, constituido cada uno por dos escuadras con una ametralladora cada una.

De ahí sacamos que cada compañía de fusiles de Infantería de Marina cuenta con veinticuatro ametralladoras, siendo las dieciocho de los equipos de fuego ametralladoras ligeras MINIMI 5,56 y las seis de la sección de armas ametralladoras medias MINIMI 7,62. Podemos ver que las ametralladoras MINIMI son una herramienta básica para llevar a cabo las misiones asignadas a la Infantería de Marina.

1.3.3 Empleo táctico de ametralladoras

El empleo táctico de las ametralladoras, es decir, el uso que se les da a las ametralladoras durante una acción de combate, dependerá de si estamos hablando de acciones ofensivas o defensivas.

1.3.3.1 Acciones ofensivas

El objetivo de una acción ofensiva es llegar hasta las posiciones enemigas para destruir o conquistar un punto crítico del terreno.

La misión de las ametralladoras en la ofensiva es apoyar por el fuego el avance de las Secciones de Fusiles por medio de:

a. Fuegos de Apoyo Inmediato.

Dirigidos contra posiciones que se oponen al avance de las Secciones de Fusiles. Pueden ser fuegos de asalto cuando las ametralladoras acompañan a los Pelotones de Asalto o los efectuados desde una base de fuegos.

b. Fuegos Lejanos.

Dirigidos contra blancos a retaguardia de las posiciones avanzadas enemigas. Se asignan normalmente a ametralladoras de la base de fuegos y comienzan cuando el avance de las fuerzas propias llega a los límites de seguridad.

c. Fuegos de Protección de Flancos.

Cuando una compañía tiene algún flanco sin cubrir, el Capitán puede usar sus ametralladoras para protegerlos.

d. Fuegos de Protección contra/ataques.

Si se esperan ataques enemigos después de haber sido ocupado un objetivo, las ametralladoras se emplean para proteger la reorganización de la compañía.

1.3.3.2 Acciones defensivas

La defensiva se propone, esencialmente, anular la capacidad ofensiva del enemigo. Para ello procurará por todos los medios y procedimientos resistir, rechazar y, en último extremo, destruir cualquier ataque desencadenado por el enemigo.

Las ametralladoras constituyen el principal medio de apoyo en la ejecución de fuegos para detener el asalto enemigo inmediatamente delante de la zona de resistencia. En una defensa bien organizada la mayoría de los fuegos de Protección Final (F.P.F.) de las Compañías de Fusiles los efectúan los Pelotones de Ametralladoras. Sus asentamientos y fuegos se planean principalmente para esta finalidad.

1.3.3.3 Uso del trípode

Dependiendo del tipo de acción que se vaya a llevar a cabo será necesaria u oportuna la utilización del trípode como apoyo de la ametralladora. Las principales ventajas del uso del trípode son la precisión en la colocación del arma, una mayor facilidad para realizar las pertinentes correcciones en el tiro y también se conseguirá una mayor rasancia.

Si se conoce la posición en la que se encontrará el blanco o si se ha de batir una zona, posicionando el arma sobre un trípode se podrá actuar con una mayor precisión, ya que el dispositivo de puntería del trípode nos permitirá posicionar el arma de la manera más adecuada y nos limitará el movimiento de esta para mantenernos dentro de los límites marcados. El mismo dispositivo de puntería nos permite corregir, una vez efectuados los primeros disparos, la posición del arma de una manera exacta gracias a su carril graduado en milésimas y a los procedimientos empleados por los tiradores.

El concepto de rasancia se refiere a la distancia en línea recta que podrá recorrer un proyectil disparado con el arma paralela al suelo. Al elevar la posición del arma con el trípode conseguiremos aumentar esta distancia además de mejorar la visibilidad del tirador que, de no usarlo, debería estar tendido a ras de suelo viendo su campo de visión entorpecido por la posible vegetación que le rodea.

En el caso de realizar una acción ofensiva en la que las ametralladoras realizaran fuegos lejanos sería ideal el uso del trípode, ya que estas ametralladoras estarían en una posición fija conocida como base de fuego. También se utilizaría el trípode en caso de cualquier acción defensiva sin idea de retroceso.

El trípode no se utilizaría en el caso de acciones ofensivas de fuego inmediato, ya que las ametralladoras irían avanzando junto al resto de la compañía o pelotón, lo que requiere una gran maniobrabilidad y capacidad de movimiento. En el caso de una acción defensiva con idea de retroceso tampoco se utilizaría el trípode.

1.4 Herramientas de diseño e ingeniería

El concepto de “Herramientas de diseño e ingeniería” hace referencia a términos tan conocidos y empleados hoy en día como CAD, CAM, CAE, etc. Todas las ciencias han incorporado términos, a veces innombrables, que no son más que conceptos o frases comprimidas en una única palabra. [5]

CAD Computer Aided Design Diseño asistido por ordenador

CAE Computer Aided Engineer Ingeniería asistida por ordenador

CAM Computer Aided Manufacturing Fabricación asistida por ordenador

CNC Computer Numeric Control Control numérico por ordenador

CAI Computer Aided Inspection Verificación asistida por ordenador

CIM Computer Integrated Manufacturing Fabricación integrada por ordenador

- El CAD es la parte que se encarga del diseño del producto.
- Mediante el CAE se verifica que el elemento diseñado mediante los programas de CAD satisface todas las solicitudes a las que se verá sometido. También se puede incluir el control y la planificación de proyectos.
- En el CAM se estudian los medios con los que se va a fabricar el producto, los tiempos, y métodos de fabricación. Este proceso se realiza por medio de un software de simulación del mecanizado.

- CNC es el lenguaje que nos permite controlar los movimientos de un robot, o una máquina-herramienta de control numérico.
- El CAI se encarga del proceso de verificación y control de la calidad, en el que el ordenador asegura una total uniformidad en la producción.
- En el CIM se integra a todos los anteriores y es el fin que pretenden alcanzar muchas empresas: Diseñar -- Calcular -- Fabricar -- Inspeccionar utilizando ordenadores. Hace unos años esto era una utopía, pero hoy en día ya es realidad.

1.4.1 CAD

El término CAD (Computer Aided Design o Diseño Asistido por Ordenador) hace referencia a una herramienta software que, mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, y manipular de una manera fácil elementos geométricos sencillos. Se trata de herramientas que van más allá del concepto de “dibujo” o representación gráfica. De hecho, hoy en día se encuentran totalmente integrado con aplicaciones CAM y CAE.

El concepto de Dibujo Asistido por Ordenador nace en los años 50 cuando el ejército de Estados Unidos desarrolla los primeros trazadores gráficos, los cuáles podían representar dibujos realizados con un ordenador. Paralelamente, el MIT (Massachusetts Institute of Technology) presentaba lo que sería el primer software de CAD, que permitía dibujar mediante puntos en un ordenador.

Hubo que esperar hasta la mitad de la década de los 60 para ver el CAD implantado, de manera masiva, en las industrias (General Motors, Bell Telephones). Su evolución ha sido ininterrumpida, y la implantación definitiva llegaría en los años 70, en parte debido al aumento de la velocidad y al abaratamiento de los ordenadores personales y a la miniaturización de los equipos.

Centrándose en la situación actual, los cambios continuos que tienen lugar durante el proceso de diseño, desde la primera idea hasta el producto final, hacen necesaria una herramienta que de un modo sencillo y rápido, permita realizar cambios tanto en los planos, como en los modelos, bases de datos de materiales y utillaje, etc. Por eso en la actualidad se emplean sistemas CAD 3D paramétricos que permiten cambiar la geometría con facilidad al ir esta asociada a parámetros fácilmente modificables. De esta manera el diseño puede adaptarse a las exigencias que nos muestran las simulaciones que el modelo 3D nos permite realizar con herramientas CAE sobre su comportamiento estructural, térmico, eléctrico etc.

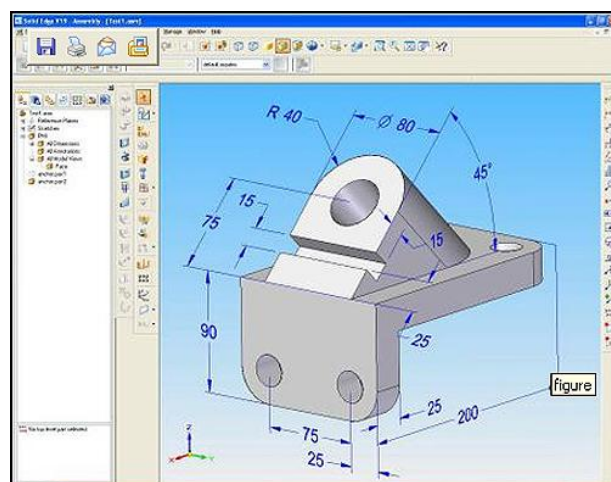


Figura 1-3 Diseño realizado con herramienta CAD [6]

1.4.2 CAE

La Ingeniería Asistida por Ordenador o CAE (Computer Aided Engineering) supone un paso más en los sistemas CAD tradicionales, ya que además del diseño del modelo, también permite integrar sus propiedades, condiciones a las que está sometido, materiales, etc. De esta forma, en relación al análisis estructural, las herramientas CAE existentes permiten calcular cómo va a comportarse la pieza o la estructura en la realidad, en aspectos tan diversos como:

- Deformaciones
- Resistencia
- Características térmicas
- Vibraciones, etc.

Para ello es necesario pasar de la geometría creada en un entorno CAD al sistema CAE. En ocasiones ambos entornos vienen integrados en el mismo software. Si esto no es así, será necesario exportar la geometría para su estudio desde el entorno CAD a un software independiente de CAE.

1.4.2.1 Método de elementos finitos (FEM)

Cuando se trate de analizar el comportamiento estructural, normalmente, las herramientas CAE trabajan con el Método de Elementos Finitos, un potente método de cálculo de ayuda al diseño, pero que en ningún caso sustituye al conocimiento del funcionamiento de la pieza o sistema que se está diseñando.

El FEM consiste en sustituir la pieza por un modelo, formado por partes de geometría sencilla, denominados elementos, que forman la malla. Obteniendo el comportamiento de estos elementos, se podrán entonces obtener las de la pieza que se está analizando. La solución obtenida del modelo de elementos finitos será una aproximación de la solución del sistema real, ya que se comete el denominado error de discretización al sustituir el sistema real por su modelo aproximado.

En el mercado existe actualmente una amplia gama de programas informáticos que aplican el FEM a la resolución de diversos problemas de ingeniería, los cuales cuentan además con las ventajas del crecimiento continuo de la potencia de cálculo de los ordenadores, así como de las notables mejoras en cuanto a visualización gráfica. Estos programas informáticos constan habitualmente de tres partes o módulos:

1. Preprocesador: en este módulo se realizan tareas tales como la construcción o importación de la geometría de la pieza o sistema, la discretización de la geometría en elementos finitos, así como la definición de las características del material, de las ligaduras y de la aplicación de solicitaciones. En esta fase se debe disponer conjuntamente de un buen conocimiento del modo de funcionamiento de la pieza o sistema mecánico a analizar, así como de la teoría del MEF y de las particularidades del programa informático que se esté utilizando, lo que nos permitirá definir un mallado y condiciones de contorno adecuados, puesto que de todo ello dependerá el coste y la calidad de los resultados obtenidos.

2. Procesador: este módulo es el encargado de construir y resolver las ecuaciones del modelo matemático construido en el módulo preprocesador.

3. Postprocesador: permite al usuario interpretar y manipular los resultados obtenidos en el procesador con el fin de determinar la validez del diseño y del modelo de elementos finitos utilizado, para evaluar la validez de la solución obtenida.

Los principales tipos de simulación estructural que se pueden realizar mediante el análisis por FEM son cálculos estáticos y dinámicos lineales, así como cálculos no lineales debidos a choques e

impactos, grandes deformaciones, contacto, etc. Asimismo, mediante este método es posible analizar el comportamiento térmico, magnético y de fluidos del producto.

La simulación también se ha aplicado al cálculo de la evolución de sistemas a lo largo del tiempo, como puede ser el cálculo de elementos trabajando a fatiga o bajo cargas dinámicas. Anteriormente, esto resultaba más difícil al realizarse con prototipos, aparte de conducir a ensayos destructivos que desperdician material.

A los fabricantes les surgen preguntas como la duración de las piezas, el momento en que aparecerán grietas o cómo van a evolucionar dichas grietas. A menudo, los fallos por fatiga suelen aparecer cuando la pieza se encuentra en servicio, resultando costoso y hasta peligroso.

Los programas de simulación de fatiga ayudan a contestar estas preguntas pasando de resultados de tensiones estáticas a predicciones en la vida de las piezas. Este es el fundamento de los módulos de fatiga o durabilidad que incluyen la mayoría de los programas de CAE como NASTRAN, ANSYS, I-DEAS, Pro/Mechanica, etc.

De esta manera, se consiguen importantes ventajas como la eliminación de pruebas innecesarias en prototipos, ahorro de tiempo y dinero, aumento en la percepción de la respuesta a la carga de fatiga del producto y optimización del diseño a fatiga.

1.5 Objetivos

El objetivo de este TFG es diseñar una base de tiro sostenido para la ametralladora MINIMI, en uso en las Fuerzas Armadas Españolas, mediante el empleo de herramientas de CAD 3D y simulación FEM.

Para ello se utilizará el software SIEMENS NX 9, un programa que incluye herramientas CAD, CAE y CAM. Serán los módulos de CAD, en primer lugar, y CAE los que utilizaremos a lo largo del desarrollo de este TFG

Primero diseñaremos cada uno de los componentes o piezas que comprenden la base de tiro, pieza a pieza, para después ensamblarlas todas y exportarlas al módulo de CAE, en el que realizaremos los estudios estructurales con los diferentes estados de carga que vamos a plantear.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Soportes actuales MINIMI

2.1.1 Bípode

Actualmente la ametralladora MINIMI, viene equipada con un bípode telescópico con sus patas ajustables en tres posiciones. Consiste en una horquilla sobre la cual han sido instalados los siguientes elementos [7]:

- La cabeza del bípode que se sujeta por y puede pivotar en los correspondientes pasadores exterior e interior. Se coloca en el soporte del cilindro de los gases en el lado delantero del cajón y se mantiene en su posición por medio del cilindro de los gases.

- Los conjuntos pata izquierda y pata derecha que se pueden pivotar hacia abajo y que se abren automáticamente bajo la fuerza del resorte de las patas. Cada uno de los conjuntos consiste en una pata interior colocada en la pata exterior. Cada pata interior esta provista de un tapón y de un pasador elástico para asegurar que no pueda salirse de la pata exterior. Las tres posiciones posibles de un conjunto pata se obtienen mediante el enganche del cerrojo de pata correspondiente en uno de los tres agujeros exteriores de la pata exterior. El cerrojo pata puede pivotar en su pivote y se mantiene en una posición tensada mediante su soporte.

Si es necesario desplegar el grupo bípode, se hará apretando las patas y luego tirando de ellas hacia abajo. Si fuese necesario, la altura de las patas se puede ajustar empujando el cerrojo pata correspondiente y luego tirando o empujando la pata interior dentro o fuera de la pata exterior.

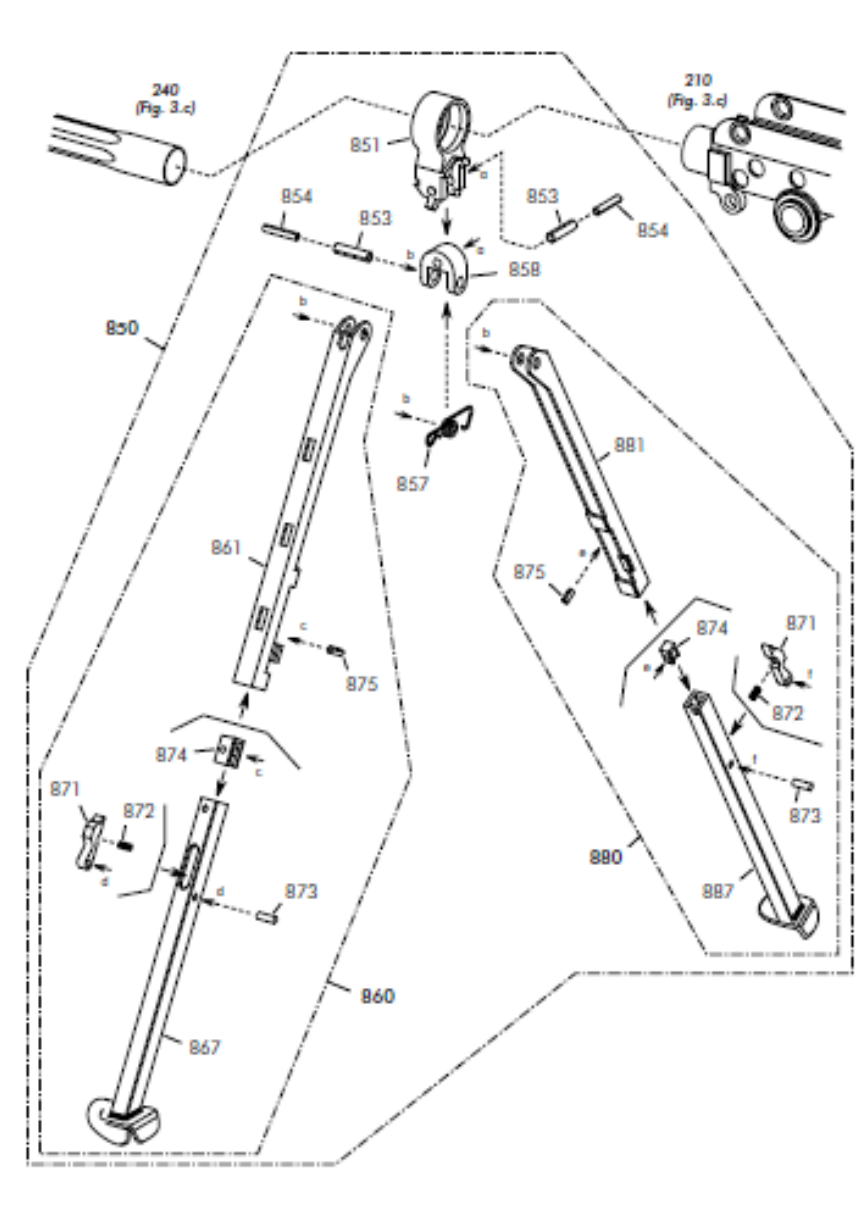


Figura 2-1 Plano explosionado del bípode de la MINIMI [7]

2.1.2 Afuste sobre vehículo

El Platt Swing Mount es un afuste para vehículo originalmente diseñado por Patt para el programa de vehículo de caballería armada ASLAV 8x8 del Ejército Australiano. Sirve para soportar la MAG-58/M240 7.62 y la MINIMI/M249, aunque también se puede adaptar para usarlo con la MG3 7,62. Ahora está en servicio en Australia, Nueva Zelanda, Arabia Saudí, Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Alemania, Irak e Italia [8].

Construido tanto en aluminio como en acero, el Platt Swing Mount es ideal para instalarlo en gran variedad de vehículos ligeros y blindados.

2.1.2.1 Datos técnicos

Peso: Acero - 19 kg Aluminio - 13 kg

Movimiento azimutal: 130° a banda y banda

Movimiento en elevación: +80°

Movimiento en depresión: -60°



Figura 2-2 Afuste Platt Swing Mount [8]

2.1.3 Afuste sobre embarcaciones

2.1.3.1 Platt Foldaway Weapon Mount

El Platt Foldaway Weapon Mount ha sido desarrollado recientemente y es la solución para un fuego de autodefensa cercana en fuerzas navales. Puede ser montado sobre RHIBs y pequeños patrulleros o en buques de mayor porte. Se instala de forma rápida y segura sobre casi cualquier tapa de regala o estructura similar [8].

La habilidad de montaje y desmontado rápido permite a los buques aumentar o disminuir de una forma casi instantánea el nivel de capacidad de fuego letal de acuerdo al nivel de amenaza implementado. La depresión del arma hasta los 50° permite enfrentar blancos muy cercanos.

Construida en acero naval para una gran fuerza y resistencia a la corrosión, este afuste permite usarlo con todas las versiones de la MAG-58/M240 7,62 y de la MINIMI/M249 5,56.

2.1.3.1.1 Datos técnicos

Peso: 15 kg

Altura: 300 mm

Movimiento azimutal: hasta 270°

Movimiento en elevación: 60°

Movimiento en depresión: -50°

Estructura necesaria: tapa de regala o similar de un espesor mínimo de 6mm



Figura 2-3 Platt Foldaway Weapon Mount [8]

2.1.3.2 Afuste utilizado en la Armada

En los buques de la Armada Española, para poder montar la ametralladora MINIMI, se utiliza una horquilla de acero con un bulón que se inserta en el agujero pasante delantero de la ametralladora y se coloca en el acople que se utiliza para montar la MG3. El acople de la MG3 se coloca en un candelero del barco o estructura similar. Este tipo de afuste no presenta ningún tipo de amortiguación, por lo que todo el retroceso del arma lo acaba absorbiendo el candelero en el que se apoya el afuste. Esto genera, a la larga, problemas en la cubierta del buque y en la unión entre la cubierta y dicho candelero.



Figura 2-4 Acople para candelero de la MG3



Figura 2-5 Horquilla para MINIMI



Figura 2-6 Conjunto montado sobre candelero

2.2 Afustes de otras ametralladoras

En este apartado analizaremos los diferentes tipos de afustes existentes para otras ametralladoras. Este análisis se realizará para poder abordar el diseño de nuestra base de tiro, con un profundo conocimiento de los problemas y dificultades de estos diseños, así como de las soluciones empleadas.

2.2.1 MG 3 [9]

2.2.1.1 Descripción general

La ametralladora MG3 es un arma abierta y enteramente automática con la que se puede hacer fuego continuo y a ráfagas, pudiéndose emplear en cualquier tropa para combatir objetivos individuales o masivos. Al igual que lo que se pretende con la MINIMI, puede montarse sobre un bípode, considerándose ametralladora ligera, o sobre el afuste de campaña, teniendo la consideración de ametralladora pesada. Para la instalación en vehículos, tanques, aviones etc. están previstos afustes especiales.

La MG3 es un arma de carga por retroceso, en la que la alimentación y carga de cartuchos bien como la extracción y expulsión de las vainas se efectúa por medio del retroceso del cañón. En el estado de “cargada” no se encuentra ningún cartucho en el interior de la recámara del cañón; el cierre está en su posición más posterior siendo retenido por la palanca del disparador.

Es una ametralladora de calibre 7,62 mm OTAN, similar en la forma de funcionamiento a la MINIMI, por eso analizaremos los diferentes tipos de afustes de esta ametralladora y basaremos nuestro diseño de la base de tiro de la MINIMI en el afuste superior de esta ametralladora.



Figura 2-7 Ametralladora MG3

2.2.1.2 Afuste de campaña

El afuste de campaña de la MG3 ofrece un alojamiento más firme para la ametralladora que el bípode. El afuste está previsto de un dispositivo de puntería en elevación y en dirección. Tiene además un soporte fijador para un alza telescópica. Con unas pocas manipulaciones se pone en posición de fuego. Una vez plegado puede ser transportado por un solo hombre. Se compone de los grupos constructivos y piezas siguientes:

Afuste inferior, afuste superior, cuna, dispositivo de puntería y correa porta-arma.

2.2.1.2.1 Afuste inferior

El afuste inferior se compone del bastidor, del apoyo delantero y de dos apoyos traseros. Los apoyos están unidos con el bastidor de forma articulada pudiéndose fijar los mismos por medio de tornillos de mariposa y dentados frontales. El bastidor está formado por dos tubos que convergen en ángulo agudo y por un travesaño en forma de arco circular con un carril graduado para la puntería en dirección. Los dos tubos del bastidor están configurados hacia atrás a modo de patas para poder emplear el afuste como afuste corto. Para tal fin se pliegan los dos apoyos traseros hacia el bastidor. Las piezas articuladas de los apoyos y del bastidor pueden graduarse entre sí para diferentes alturas de fuego o sea por cuatro marcas 1 hasta 4 para el apoyo delantero y tres marcas 2 hasta 4 para los apoyos traseros. En el carril graduado están dispuestos dos limitadores de puntería en dirección corredizos. En la parte delantera del bastidor se encuentra el pivotamiento para el pivote del afuste superior. Dos sujetadores en el bastidor sirven para apoyar los apoyos traseros una vez plegados. Dos acolchados para la espalda están aplicados en el apoyo delantero para el transporte del afuste a la espalda.

2.2.1.2.2 Afuste superior

El afuste superior se compone del bastidor hecho de tubo perfilado, de la muñonera con pivote, de la cerradura entre el afuste superior y el dispositivo de puntería en elevación, de dos cojinetes dobles

con muelles de barra de torsión, de balancines y bulones de soporte para la cuna, de la empuñadura para disparar y de la palanca angulada con rodillo bien como del nivel de burbuja esférico.

El afuste superior está apoyado de manera giratoria con su pivote en el pivotamiento de del afuste inferior y está sujeto por su cerradura en el cojinete superior del dispositivo de puntería. Los muelles de la barra de torsión absorben las fuerzas del retroceso que produce el arma al disparar. Los dos pasadores transversales de los balancines acogen los soportes delantero y trasero de la cuna.

La empuñadura para disparar y la palanca angulada con rodillo del afuste superior accionan la palanca angulada y la barra del disparador con su palanca del disparador de la cuna. La empuñadura para disparar, las dos palancas anguladas y la barra del disparador con su palanca del disparador forman conjuntamente el dispositivo de disparar.

El nivel de burbuja esférico está alojado en la esquina trasera de la izquierda del bastidor del afuste superior a prueba de golpes. El nivel sirve para la nivelación horizontal del afuste y está protegido por un capuchón que va atornillado al bastidor.

La cerradura permite separar rápidamente el afuste superior del dispositivo de puntería para poder disparar alrededor sin cambiar el emplazamiento del afuste y, además para plegar el afuste a un volumen ínfimo para el transporte.

El soporte para el alza telescópica tiene una guía de cola de milano tipo OTAN, siendo graduable hacia los lados y en altura.

2.2.1.2.3 Cuna

La cuna se compone del bastidor con alojamiento delantero y trasero para el arma así como soporte delantero y trasero de la cuna, del dispositivo para encerrar la ametralladora, de la palanca angulada y de la barra del disparador con su palanca del disparador.

La cuna está apoyada con sus soportes delantero y trasero de la cuna sobre los bulones del soporte del afuste superior. Las ranuras de alojamiento del alojamiento trasero del arma acogen el bulón de soporte de la ametralladora y la placa de cierre del alojamiento delantero del arma acoge la pieza de soporte delantera de la ametralladora. La ametralladora está sujeta por el cierre-pestillo que se encuentra bajo la presión del muelle. El cierre-pestillo se suelta de su posición de cierre girando la palanca de enclavamiento hacia la izquierda al colocar la ametralladora.

2.2.1.2.4 Dispositivo de puntería

El dispositivo de puntería se compone del carro transversal, de la caja del carro con piñón, rueda de bloqueo y volante de puntería en elevación con barra dentada y una horquilla, en la que encaja la cerradura del afuste superior.

Para la puntería en dirección puede ser ajustado el carro transversal sobre el carril graduado del afuste inferior con división decimal y luego bloqueado por una palanca de aprieto. Para el ajuste fino según un vernier para 10 milésimas con una división de 4 veces 2,5 milésimas sirve el tornillo de graduación fina.

Haciendo girar el volante de puntería en elevación se ajusta el carrillo de puntería en elevación a la altura deseada. El ajuste puede ser leído en una escala basta con división de diez milésimas sobre el carrillo de puntería en elevación y una escala fina con división de dos milésimas sobre el volante de puntería en elevación. La elevación ajustada puede ser fijada por medio de una rueda de bloqueo.

Aunque se encuentre en la posición suelta la rueda de bloqueo está asegurada contra movimientos giratorios involuntarios.

La caja del carro y el carrillo de puntería en elevación están sujetos al carro transversal de manera rebatible para plegar el afuste. En el estado plegado sirven dos ojales del carro transversal para encajar la cerradura del afuste superior que está suelto de la horquilla del carrillo de puntería en elevación.

2.2.1.2.5 Correa porta-arma

Las dos correas porta-arma están sujetadas con sus hebillas ajustables a los ojetes delanteros y con sus ganchos mosqueteros a los ojetes traseros del afuste inferior.

2.2.1.3 Afuste de la MG3 para buques

Para la utilización de esta ametralladora en los buques, se utiliza un afuste prácticamente igual que el que se utiliza con el trípode descrito en el apartado anterior, con unas ligeras modificaciones, unos soportes laterales para las cajas en las que se recoge la cinta de munición para alimentar el arma. Este acople se coloca en un candelero con la pieza de la Figura 2-8



Figura 2-9 Afuste de la MG3 para buques

2.2.2 AMELI

La ametralladora ligera AMELI, de calibre 5,56, es otra de las ametralladoras ligeras utilizadas por las Fuerzas Armadas de España. Al igual que la MINIMI, esta ametralladora solo cuenta, actualmente, con un bípode de características similares al de la MINIMI.



Figura 2-10 Ametralladora ligera AMELI [3]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Ideas iniciales

Como se comentó en el apartado dedicado al Estado del Arte, para el diseño de nuestra base de tiro tomaremos como referencia otros elementos similares. Dado que la MG3 y su afuste de campaña son utilizados ya por el Cuerpo de Infantería de Marina tomaremos esta como una referencia especialmente interesante.

3.1.1 Base de Tiro MG3

La primera idea es realizar una pieza acoplable a la base de tiro de la MG3, descrita en el apartado 2.2.1. Esta idea nace del ahorro considerable que esto supondría. En la fabricación de la pieza se ahorraría y supondría un coste mucho menor dotar de esta base de tiro a las 142 ametralladoras MINIMI que posee la Armada Española. Un menor coste de fabricación haría más fácil hacer de este proyecto una realidad.

Otra de las premisas de las que se quiera partir es la de desarrollar una base de tiro que sirva tanto para la versión de 5,56x45mm como para la de 7,62x51mm. La diferencias principales entre las dos a la hora de diseñar esta base de tiro radica no tanto en las diferencias de las que se habla en el apartado 1.3, sino en la posición del disparador, más adelantado con respecto a la empuñadura en el caso de la versión de 7,62x51mm. Esta distancia es clave para colocar la palanca del disparador y por tanto para diseñar la longitud de la barra del disparador.

Estas dos ideas son difícilmente realizables a la par, ya que serían mayores las modificaciones que habría que llevar a cabo sobre la base de tiro de la MG3 ya existente. Frente a la necesidad de elegir una de las dos opciones, se opta por desarrollar una base de tiro nueva y que sea ajustable para ambas versiones de la MINIMI, pero sin dejar de basarnos en la base de tiro de la MG3 ya existente.

3.1.2 Adquisición de la información inicial

El primer paso a llevar a cabo es recabar toda la información necesaria para comenzar con el diseño de la base de tiro. La información primera que se necesita es aquella que tenga que ver con los dos modelos de ametralladora. Esta información se consigue en el Pañol del Condestable de la Escuela Naval Militar, en donde se encuentran el “Manuel de Mantenimiento” y el “Catálogo de Piezas y Accesorios” de los diferentes modelos de ametralladora MINIMI. Al mismo tiempo se contacta con la empresa fabricante de la MG3 y su afuste de campaña, para tratar de conseguir los planos de dicho afuste, sin obtener puesta ninguna.

Uno de los problemas que se plantean a la hora de abordar el diseño de la base de tiro es que los planos detallados de la base de tiro de la MG3 y de la MINIMI no se pueden conseguir, ya que las empresas no ceden esa información. Esto hace que la toma de medidas exactas sea muy complicada de llevar a cabo, ya que en la Escuela Naval Militar no cuenta con los medios necesarios para hacer la medición de manera precisa.

3.2 Desarrollo de las piezas

La base de tiro se compone de los grupos constructivos y piezas siguientes:

Afuste superior, sistema de amortiguación, cuna y mecanismo de disparo.

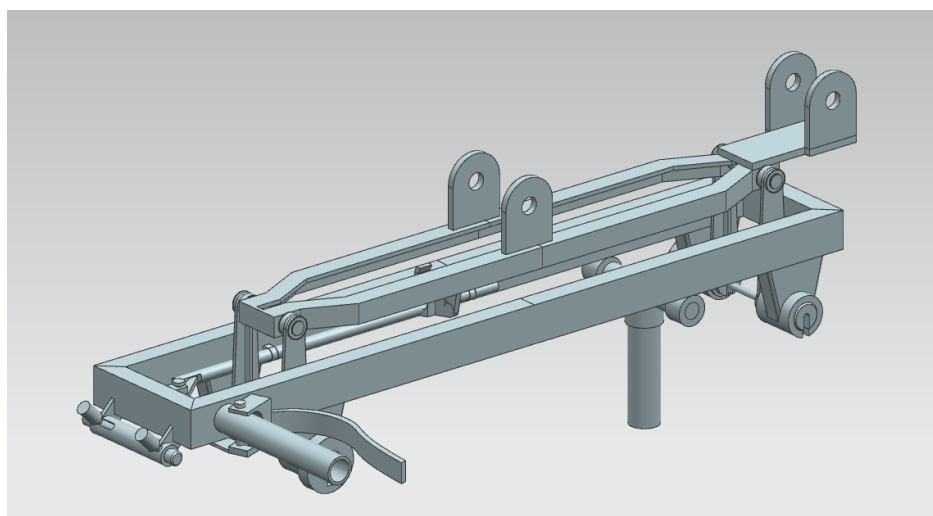


Figura 3-1 Base de tiro para ametralladora MINIMI

3.2.1 Afuste Superior

El afuste superior es el grupo constructivo que se apoyará sobre el afuste inferior designado para soportar el arma, ya sea un trípode, un afuste para vehículo o uno para embarcaciones.

El afuste superior se compone de un bastidor, los cojinetes que soportan el sistema de amortiguación, de la muñonera con pivote, la cerradura para asegurar la posición sobre el afuste inferior y los apoyos necesarios para sostener el sistema del mecanismo de disparo.

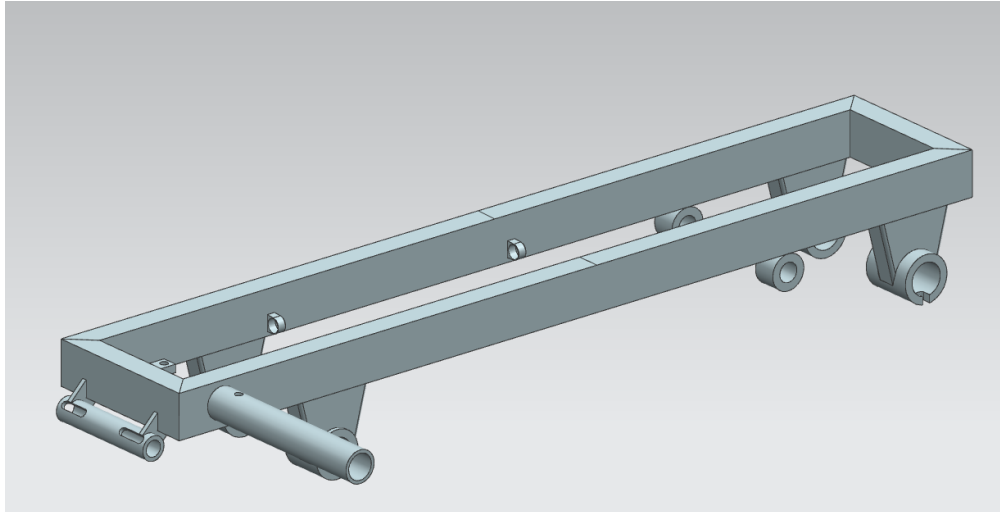


Figura 3-2 Afuste superior

3.2.1.1 Bastidor

El bastidor es la pieza estructural fundamental de la base de tiro. Será la pieza que soporte los esfuerzos generados por el sistema de amortiguación sobre los cojinetes y será el que sustente la muñonera y la cerradura que aseguren la base de tiro sobre el afuste inferior.

La estructura del bastidor consiste en cuatro listones de tubo perfilado al que van soldados todos los demás componentes del afuste superior. El espesor del perfil del tubo es de 2mm. Soldado al bastidor se encuentra el mango que junto con la palanca del disparador, permite accionar el mecanismo de disparo.

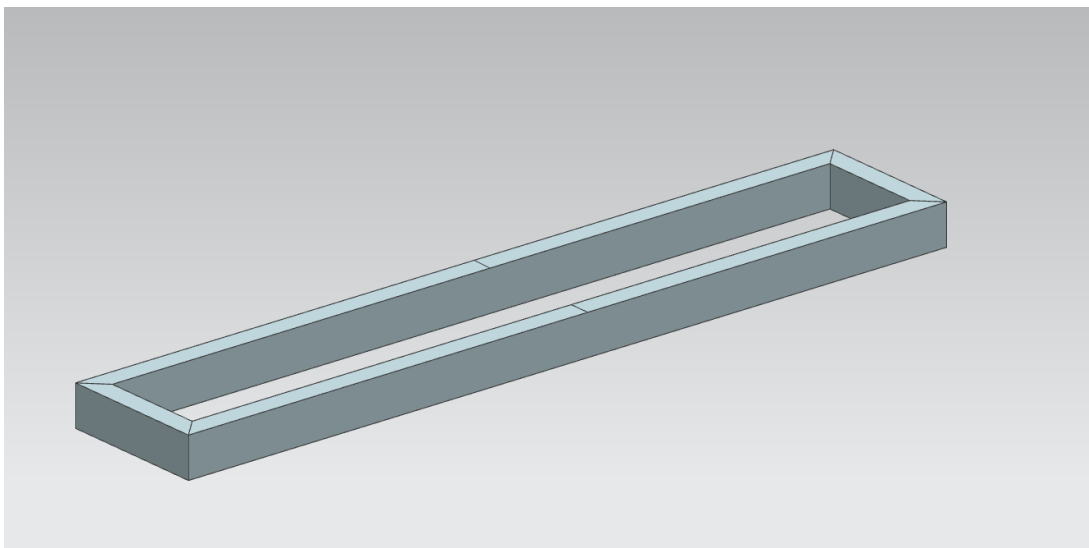


Figura 3-3 Bastidor

3.2.1.2 Cojinetes

Los cojinetes son las piezas encargadas de soportar el sistema de amortiguación de la base de tiro. En el interior de los cilindros huecos se alojan la base de los balancines, las barras de torsión y los discos encargados de retener estas para generar la fuerza recuperadora tras un disparo.

Los cuatro cojinetes son iguales dos a dos y están colocados de manera que queden enfrentados dos diferentes. Dos de los cojinetes, el delantero izquierdo y el trasero derecho, son algo más anchos y tienen muescas en las que entrará el remate de la barra de torsión. Que estén colocados así, cruzados, responde a la necesidad de igualar los esfuerzos sufridos al amortiguar cada disparo tanto longitudinal como transversalmente.

Los cojinetes se realizan por mecanizado de un bloque de 50x50x35mm en el caso del que tiene la muesca y un bloque de 50x50x30mm para el otro.

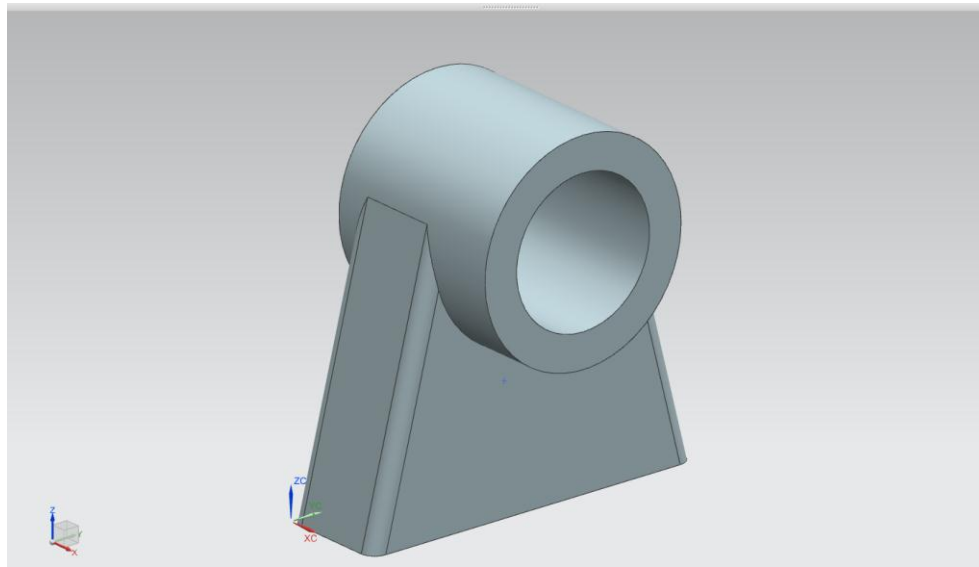


Figura 3-4 Cojinete

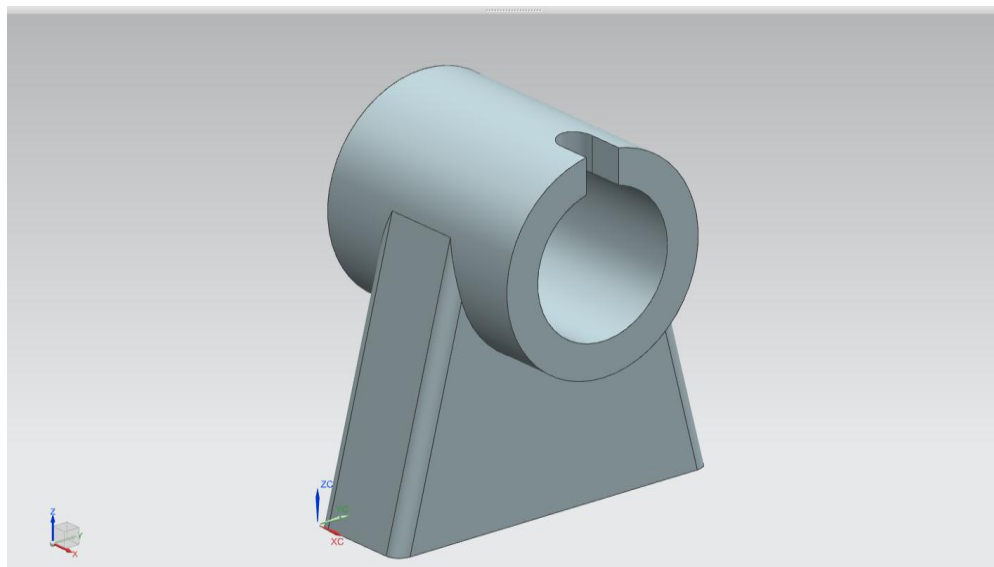


Figura 3-5 Cojinete con muesca

3.2.1.3 Soporte de la muñonera

La muñonera con pivote que nos permite el giro de la base de tiro, va acoplada al bastidor del afuste superior mediante dos soportes cilíndricos en los que se aloja el bulón que soporta la muñonera. Estos soportes van soldados a ambos lados del bastidor. La pieza se realiza por torneado de una pieza de 15x15x22mm.

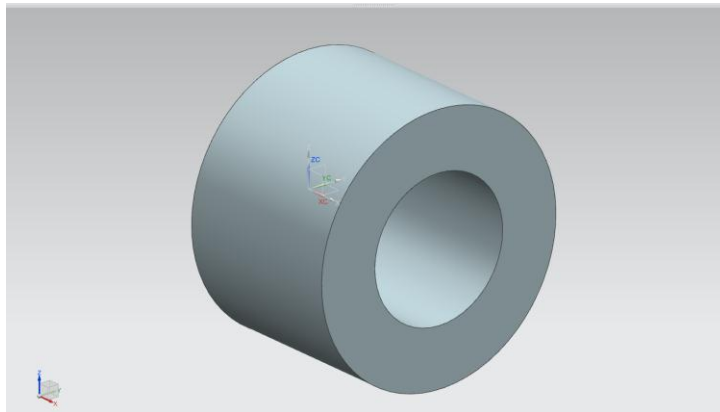


Figura 3-6 Soporte de la muñonera

3.2.1.4 Muñonera con pivote

El afuste superior está apoyado de manera giratoria con su pivote en el pivotamiento del afuste inferior.

La muñonera se compone de dos tubos huecos soldados perpendicularmente. Uno de ellos, el vertical, se inserta en el pivotamiento del afuste inferior; mientras que el otro, el horizontal, se coloca entre los dos soportes soldados del bastidor y se le inserta un bulón que atraviesa los dos soportes y la muñonera, quedando esta sujeta al bastidor. La pieza se fabrica a partir de la soldadura de los dos cilindros de 1mm de espesor ambos.

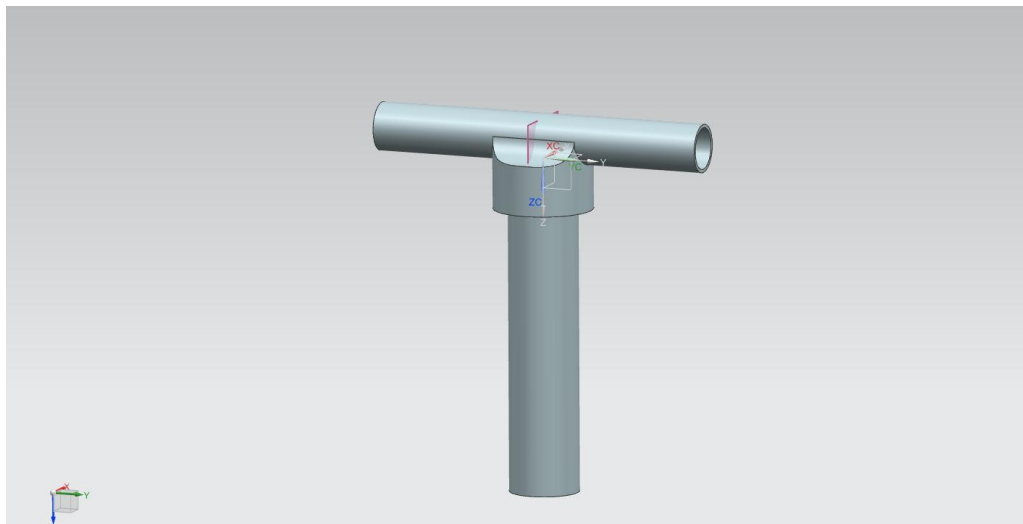


Figura 3-7 Muñonera pivotante

3.2.1.5 Cerradura

La cerradura es la pieza que une la base de tiro al dispositivo de puntería del trípode. Va soldada al travesaño trasero del bastidor. Está compuesta por un cilindro hueco con dos ranuras por las que corren dos palancas que, al apretarlas, comprimen un resorte que se aloja en el interior del cuerpo de la cerradura. Al comprimir el resorte, las dos pestañas laterales permiten unir o separar el afuste superior del dispositivo de puntería de una forma rápida para poder disparar alrededor sin necesidad de cambiar

el emplazamiento del trípode. Para la fabricación de esta pieza es necesario utilizar técnicas de torneado y mecanizado.

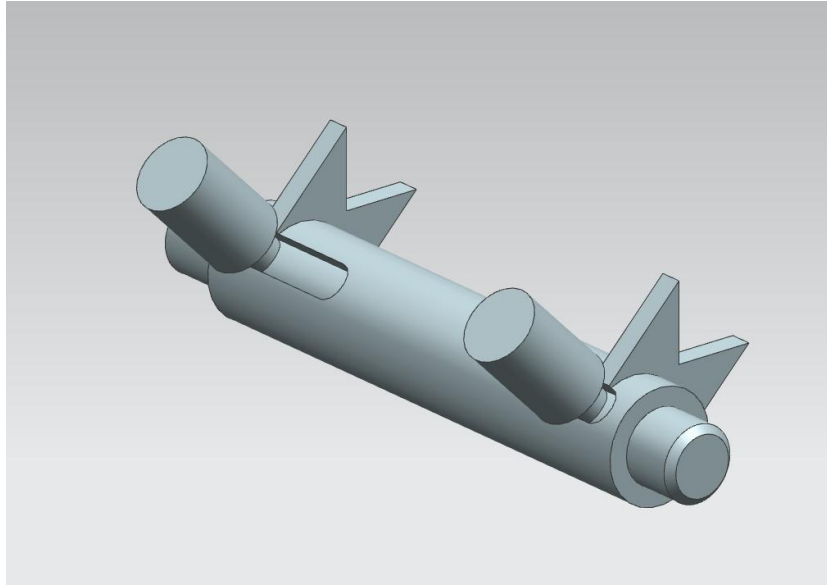


Figura 3-8 Cerradura

3.2.1.6 Apoyos del mecanismo de disparo

El mecanismo de disparo requiere de varios puntos de apoyo en el bastidor para sostenerse y como puntos de giro de las piezas del mecanismo. Por ello en el bastidor se encuentran tres piezas soldadas al mismo.

Dos de esas piezas son los apoyos por donde correrá la barra de tiro que acciona la palanca que ha de presionar sobre el gatillo para efectuar el disparo. Para esta pieza será necesario mecanizar un tocho de 10x10x5mm al que se le realizará un posterior vaciado.

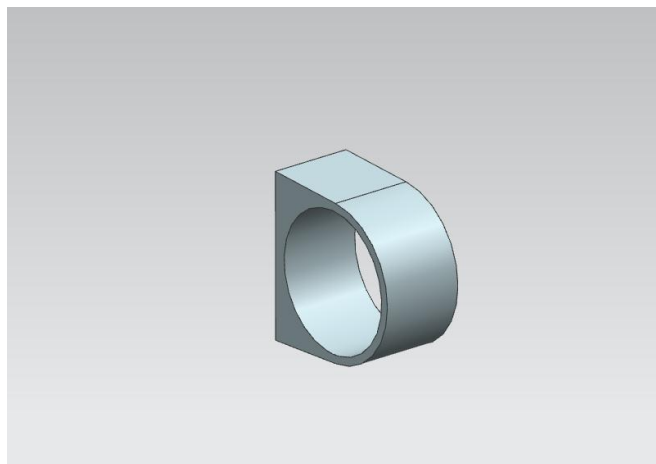


Figura 3-9 Apoyo barra de tiro

También podemos encontrar soldado al bastidor el apoyo sobre el que pivota la pieza accionada por la maneta y que, a su vez, acciona la barra de tiro. Gracias a este punto de apoyo se mantiene el sentido del movimiento de la maneta en la barra de tiro. Se mecaniza un tocho de 10x15x25mm para fabricar esta pieza.

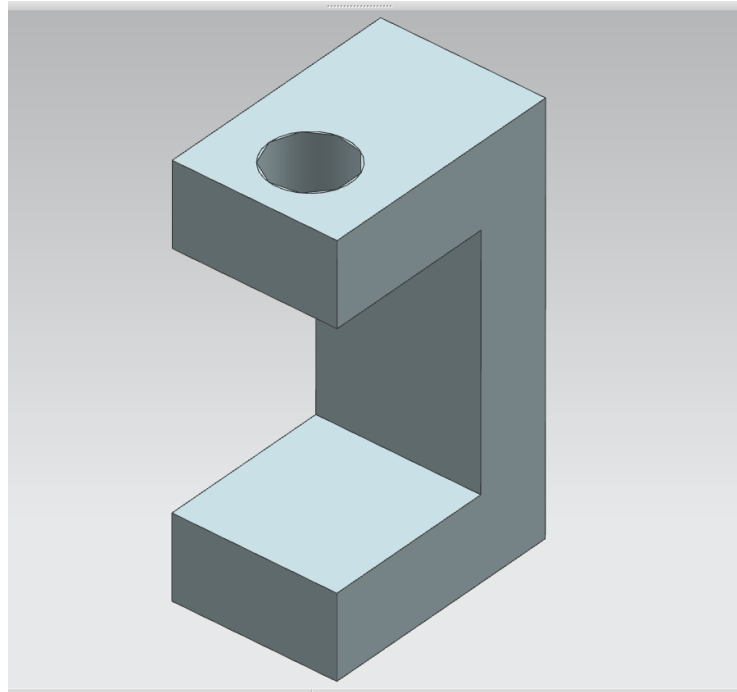


Figura 3-10 Apoyo de giro

3.2.2 Sistema de amortiguación

El sistema de amortiguación es el grupo constructivo encargado de absorber el movimiento de retroceso del arma después de cada disparo. Cuatro balancines unidos a la cuna trasladaran el movimiento de esta hasta unas barras de torsión encargadas de amortiguar la fuerza generada por la deflagración de la pólvora en el interior de la recámara de la ametralladora, fuerza que produce que el proyectil salga disparado y que el arma tienda a retroceder. Cada una de las barras de torsión está fijada en uno de sus extremos por el cojinete, mientras que el otro extremo puede girar libremente en el interior del mismo. Esto es lo que produce el par torsor que hace volver al arma a la posición inicial después de cada disparo.

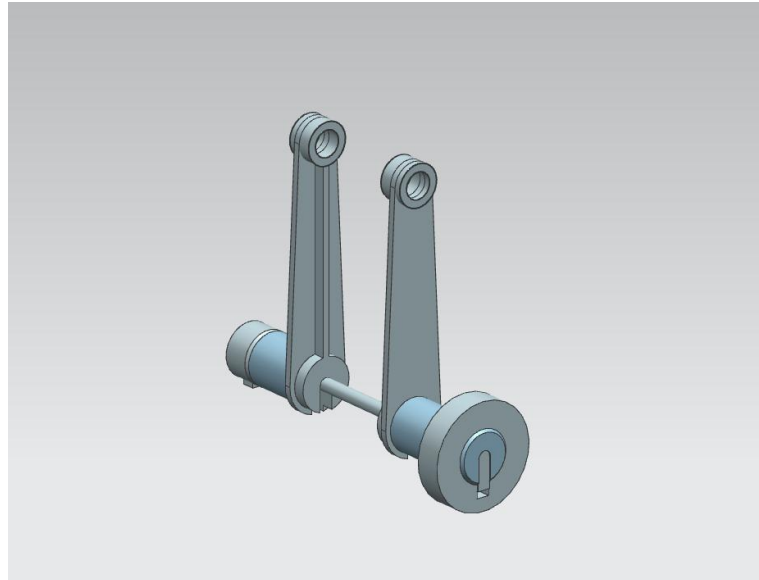


Figura 3-11 Sistema de amortiguación

3.2.2.1 Balancines

En el sistema de amortiguación encontramos cuatro balancines que, al igual que los cojinetes, son iguales dos a dos y van colocados enfrentados. Estos balancines trasladan el movimiento de la cuna hasta la barra de torsión. De cada pareja de balancines, es el que se encuentra aparejado con el lado libre de la barra de torsión el que experimentara un mayor desplazamiento. La fabricación de estas piezas se lleva a cabo por mecanizado.

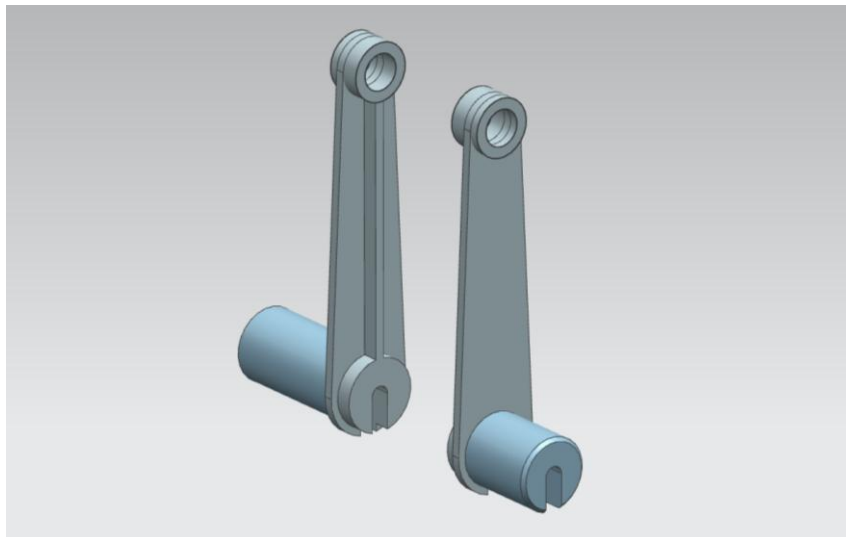


Figura 3-12 Balancines

3.2.2.2 Barra de torsión

La barra de torsión es la parte básica del sistema de amortiguación, porque es donde se genera la fuerza que va a frenar el retroceso de la cuna y que va a devolverla a su posición inicial. Va alojada en

el interior de los cojinetes, balancines y discos de amortiguación. Es una barra doblada de 5mm de diámetro.

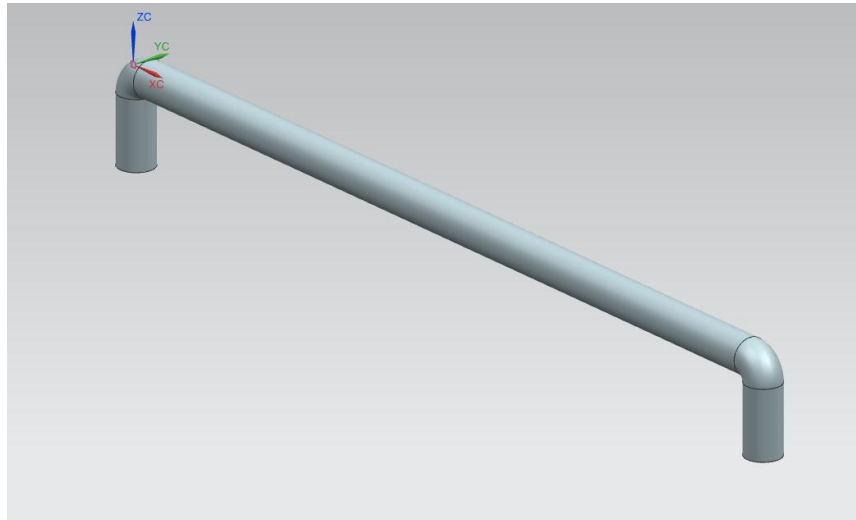


Figura 3-13 Barra de torsión

3.2.2.3 Discos de amortiguación

Los discos de amortiguación son las piezas en las que van alojados los extremos de la barra de torsión. En el caso del lado que gira libremente, el disco es de mayor radio y va situado a continuación del cojinete. En el caso del extremo que permanece fijo, el disco es de menor radio y va alojado en el interior del cojinete, coincidiendo las dos muescas que alojaran el extremo recto de la barra de torsión.

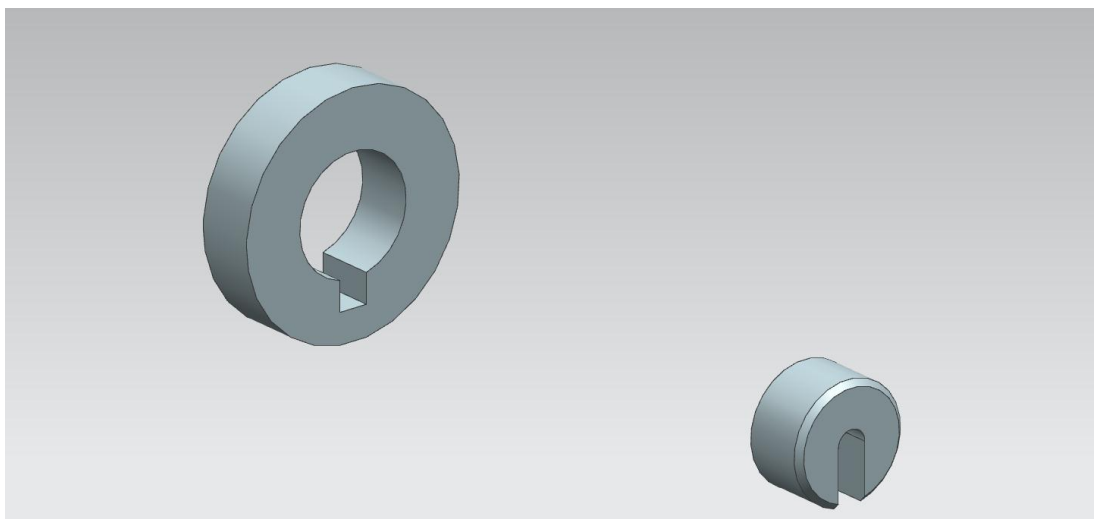


Figura 3-14 Discos de amortiguación

3.2.3 Cuna

La cuna es la pieza superior de la base de tiro donde se fija la posición del arma. Es la estructura que une el arma con el sistema de amortiguación, es decir, es la primera que sufrirá el impacto del arma en su retroceso. En los dos extremos de la cuna se encuentran dos agujeros pasantes que, mediante un bulón, harán que los balancines del sistema de amortiguación se muevan solidariamente con esta. Lleva soldadas cuatro pletinas con taladros, que permitirán afirmar el arma a la estructura de la base de tiro.

La estructura de esta pieza está hecha con chapa doblada de 3mm de espesor y lleva soldadas las pletinas de 5mm de espesor.

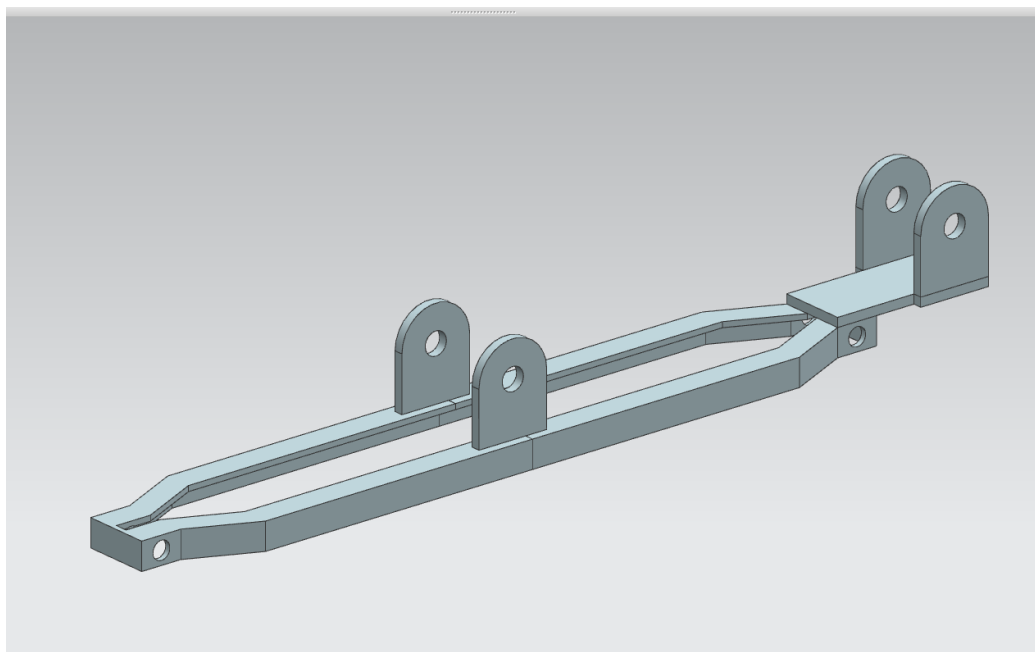


Figura 3-15 Cuna

3.2.4 Mecanismo de disparo

El mecanismo de disparo de la base de tiro es el grupo constructivo encargado de accionar el gatillo de la ametralladora y, así, abrir fuego. La necesidad de este grupo constructivo nace de la situación del gatillo. Al situar el arma en la base de tiro, el gatillo queda oculto por la estructura de la base de tiro. Debido a esto se instala en la base de tiro un mecanismo que permita accionar el gatillo a pesar de quedar este oculto.

Este mecanismo consiste en una maneta que pivota sobre el mango soldado al bastidor. Esta maneta empuja hacia delante uno de los extremos de una pieza angulada. Al verse empujado este extremo hacia delante, la pieza pivota sobre el apoyo trasero soldado al bastidor. Al pivotar esta pieza, el otro extremo se mueve en sentido contrario, de manera que desplaza hacia atrás la barra de tiro. En el remate de la barra de tiro se encuentra un tope roscado que empuja hacia atrás la palanca que acciona el gatillo del arma.

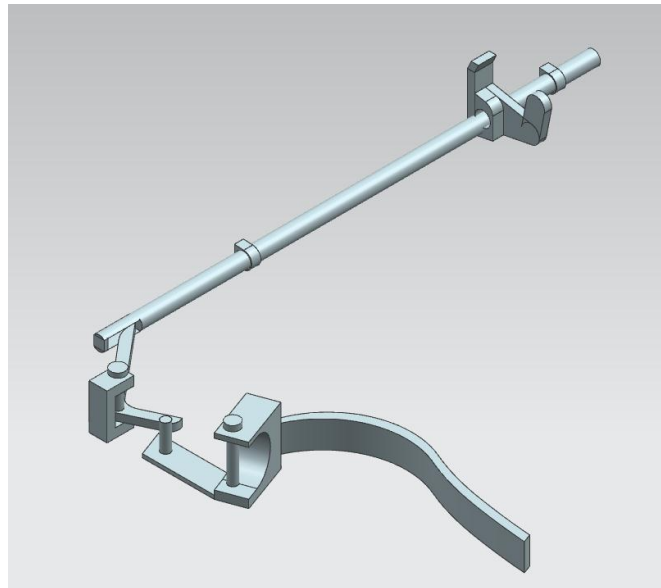


Figura 3-16 Mecanismo de disparo

3.2.4.1 Maneta

La maneta del mecanismo de disparo consiste en una palanca ergonómica soldada a una pieza que abraza parcialmente el mango de la base de tiro. De esta pieza central, taladrada de arriba abajo para alojar un perno sobre el que pivotara, tiene soldada también una estructura plana. Del final de esta estructura nace la palanca que accionara en última instancia la pieza angulada, empujando esta hacia delante.

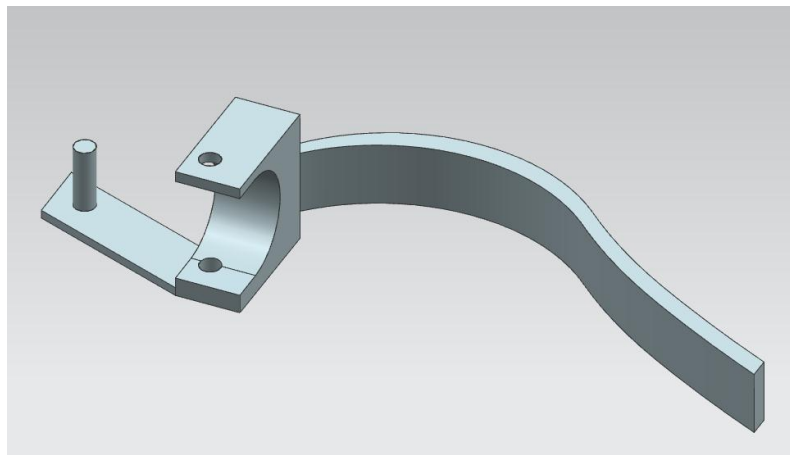


Figura 3-17 Maneta

3.2.4.2 Pieza angulada

La pieza angulada es la pieza encargada de transmitir el movimiento de la maneta a la barra de tiro. Es una pieza formada por dos listones colocados en ángulo y un agujero pasante en su parte central que le permite pivotar sobre el apoyo trasero cambiando el sentido del movimiento de movimiento del mecanismo. En ambos extremos se encuentran unos redondeos para facilitar el movimiento relativo entre ambas piezas. Esta pieza se realiza por corte de una chapa de 4mm de espesor.

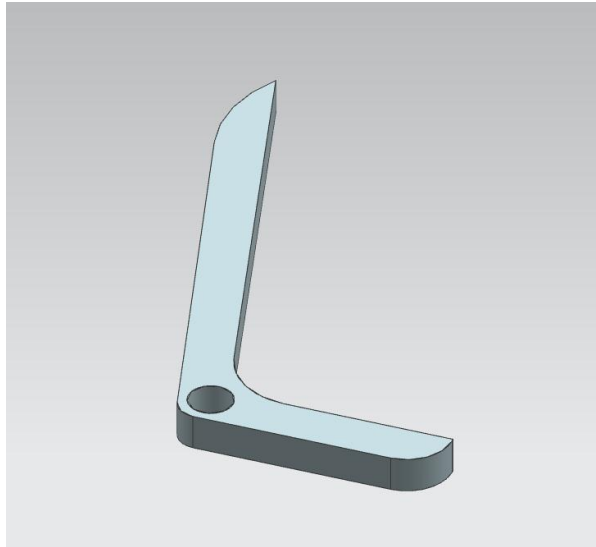


Figura 3-18 Pieza angulada

3.2.4.3 Barra de tiro

La barra de tiro es la encargada de llevar el movimiento de la pieza angulada hasta la palanca que acciona el gatillo. Es una barra sólida con una cajera en la parte posterior. En esta cajera se incrusta el extremo de la pieza de apoyo que se encarga de imprimir el movimiento a la barra de tiro. En el otro extremo se encuentra una zona roscada. Esta zona roscada sirve para variar la posición de la palanca accionadora.

La posición del gatillo con respecto a la base de tiro es una de las principales diferencias entre los modelos de MINIMI de 5,56mm y de 7,62mm. Para poder utilizar la base de tiro con ambos modelos de ametralladora es necesario que la posición de la palanca accionadora sea regulable. Esta regulación se consigue roscando una sección de la barra de tiro. En esa sección se coloca un tope roscado sobre el que apoya la palanca de tiro.

Esta barra de tiro tiene un diámetro de 8mm y una longitud de 275mm.

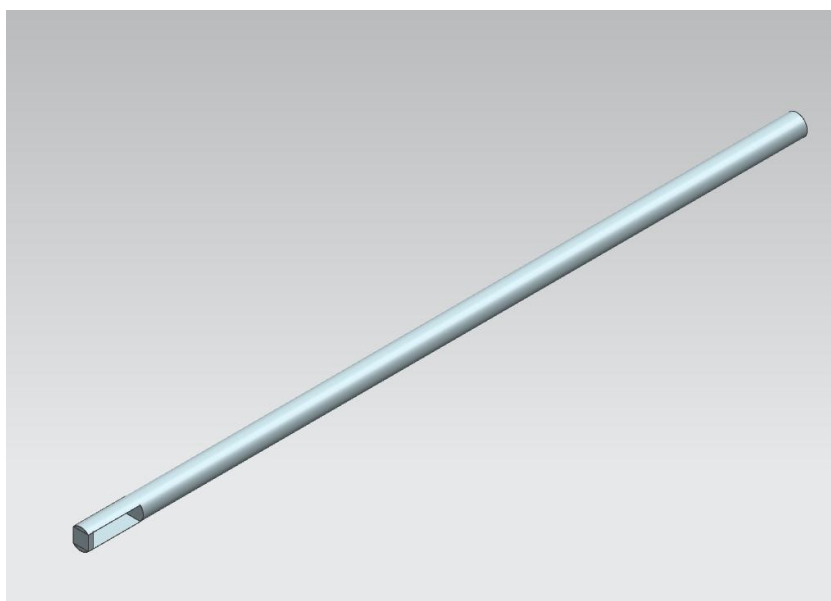


Figura 3-19 Barra de tiro

3.2.4.4 Tope roscado

El tope roscado es el encargado de mover la palanca accionadora. El tope se desplaza solidariamente con la barra de tiro sobre la que esta roscado. Al desplazarse empuja la palanca accionadora. Al variar la posición de la rosca con respecto a la barra de tiro, posicionaremos la palanca accionadora en el lugar preciso dependiendo del modelo de ametralladora utilizado.

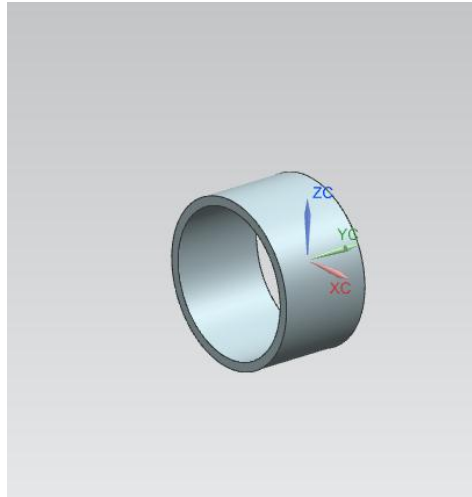


Figura 3-20 Tope roscado

3.2.4.5 Palanca accionadora

La palanca accionadora es la encargada de accionar el gatillo de la ametralladora. Al desplazarse hacia atrás la barra de tiro, y con esta el tope roscado, la palanca accionadora se ve empujada hacia una posición más retrasada, ejerciendo la fuerza necesaria sobre el gatillo para realizar el disparo.

Al introducir el arma en la base de tiro el guardamontes de la ametralladora empuja hacia abajo la palanca accionadora. Una vez el guardamontes ha librado la palanca accionadora esta vuelve a su posición inicial. Este movimiento de retorno se debe a la acción de un resorte que une la palanca accionadora con el apoyo de la barra de tiro delantero. Para realizar esta pieza se mecaniza una chapa de 4mm de espesor.

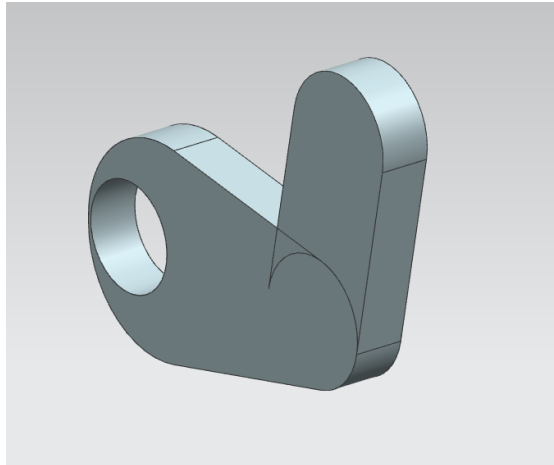


Figura 3-21 Palanca accionadora

3.3 Selección del material

Uno de los aspectos más importantes a considerar es el material con el que fabricaremos la base de tiro. El material debe reunir la resistencia necesaria para soportar las fuerzas que se le ejerzan, debe de ser lo más ligero posible, ya que en multitud de ocasiones la pieza tendrá que ser transportada a pie durante largas distancias debido a la gran capacidad de movimiento de la Infantería de Marina.

El material que se elige finalmente es el aluminio 2014, debido a su ligereza y resistencia. El aluminio 2014 es una aleación de aluminio con silicio, hierro, magnesio, manganeso, cinc y titanio en un porcentaje alrededor del 1% y un 5% de cobre. El límite elástico de este aluminio es de más de 300N/mm^2 .

La selección de este aluminio, sin embargo plantea ciertos problemas. El primer problema que se nos presenta es la dificultad en la soldadura de este material, pero en el caso de esta base de tiro, ninguna de las soldaduras necesarias es demasiado compleja de realizar. El otro problema que se puede presentar es la menor resistencia a la fatiga del aluminio en comparación con otros metales. En el caso del aluminio 2014 es de 250N/mm^2 para 5×10^8 ciclos, que es el número de ciclos con el que se llevan a cabo los ensayos de fatiga del acero.

4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

4.1 Pruebas de carga

Para validar el diseño que hemos realizado es necesario comprobar si soportará las cargas a las que se verá sometido por su uso normal. Para eso utilizaremos el software Siemens NX9, que nos permite calcular los estados de tensiones y las deformaciones de la pieza en cuestión, utilizando el método de elementos finitos.

Llevaremos a cabo diferentes pruebas con cargas para comprobar la resistencia de la pieza y así poder elegir el material más adecuado para fabricar la pieza.

4.1.1 Mallado

Para poder realizar estas pruebas es necesario dividir todos los componentes en elementos más pequeños para calcular, en cada uno de ellos, todos los datos necesarios para validar el diseño.

En todos los ensayos utilizaremos el mismo tipo de mallado. Por las características de la pieza elegimos un mallado tetraédrico 3D. Los elementos que componen esta malla son CTETRA 10, tetraedros que, en este caso, se ha elegido que sean de 4.99mm de lado.

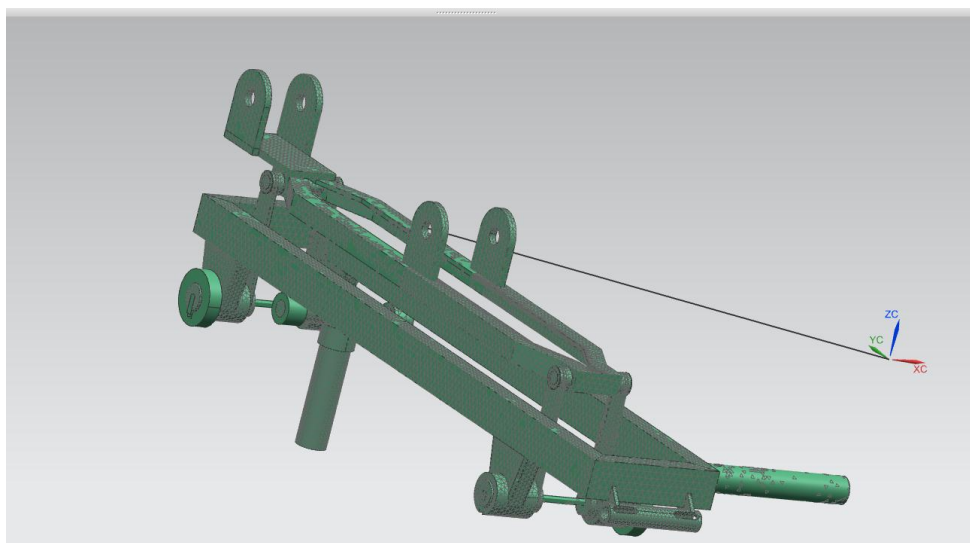


Figura 4-1 Mallado tetraédrico

4.1.2 Tipos de objeto de simulación

Para poder realizar las pruebas de carga es necesario definir ciertos factores que afectarán al comportamiento de cada una de las piezas que componen la base de tiro. Uno de estos factores es la temperatura de los materiales. En este caso es algo que no tendremos en cuenta ya que las temperaturas en las que va a trabajar la base de tiro serán prácticamente iguales a la temperatura ambiental.

Otro de los factores que hay que definir es la relación entre los diferentes cuerpos que componen la base de tiro. Es necesario definir como es el contacto entre ellos, es decir, si se permite el movimiento relativo o no de las piezas que están en contacto.

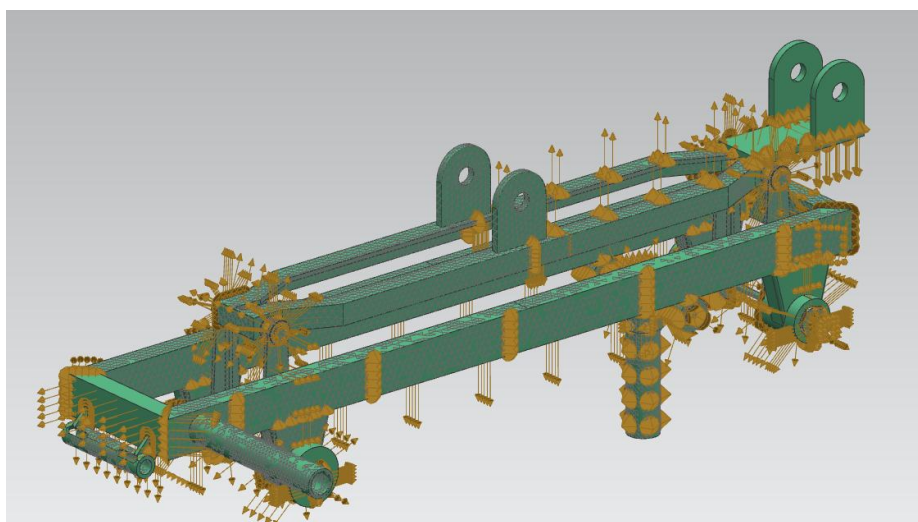


Figura 4-2 Representación gráfica de contactos y adherencias entre superficies

4.1.3 Simulación de un disparo

Al efectuar un disparo con la ametralladora MINIMI se genera una fuerza de reacción que empuja hacia atrás todo el conjunto del arma. Esa fuerza, conocida como fuerza de retroceso, es la principal fuerza que ha de soportar la estructura de la base de tiro.

4.1.3.1 Preparación del ensayo

Para simular esta fuerza se aplican sobre la estructura de la base de tiro fuerzas de 25N sobre la superficie de los cuatro agujeros pasantes en los que se introduce el pasador del arma. Se sitúan en estas superficies ya que son las que realmente se mueven solidarias al arma.

Las restricciones que se le colocan al ensamblaje responden a las fijaciones reales del arma, es decir, la cerradura trasera y la muñonera pivotante, que son los puntos donde el afuste se fija al trípode. En caso de utilizar un afuste inferior en el que no se utilice la cerradura la fijación del arma sería en el mango. El mango lo fijaría la propia mano del operador del arma.

En la imagen que sigue se puede apreciar la colocación tanto de las fuerzas, representadas con flechas de color rojo, como de las restricciones, representadas en color azul.

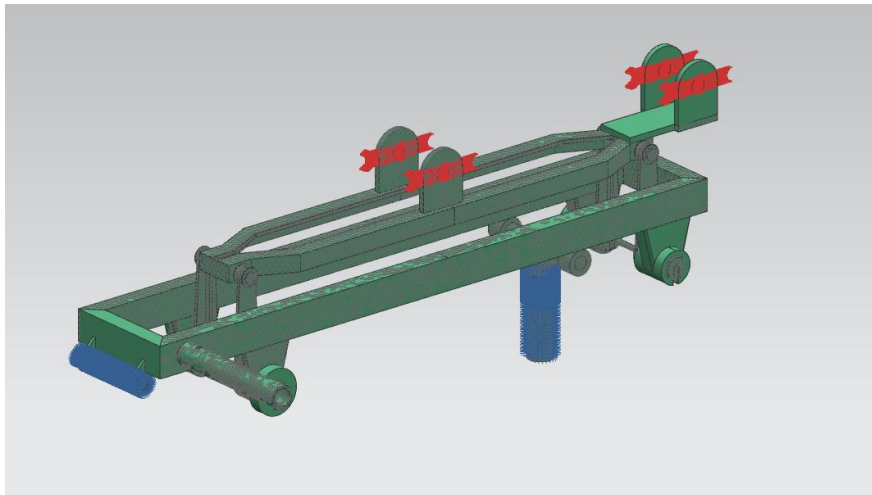


Figura 4-3 Representación de fuerzas y restricciones

4.1.3.2 Resultados del ensayo

El resultado del ensayo que simula un disparo muestra que las piezas de la base de tiro soportan satisfactoriamente las cargas aplicadas. Cabe destacar que hay puntos en los que aparecen tensiones mucho mayores de las debidas. Estos puntos no corresponden con la realidad y son resultado de una mala interpretación por parte del programa de los contactos definidos entre superficies y de un mallado en esas zonas no del todo apropiado. No se considera necesario variar el mallado en estas zonas ya que lo que nos interesa es la distribución de la tensión y la deformación generales en las piezas.

De los resultados que nos ofrece el solver del programa Siemens NX9, los que tendremos encuentra serán la deformación, tanto la magnitud total como el desplazamiento en cada uno de los ejes; como la tensión de Von Misses.

El máximo desplazamiento que se produce en la base de tiro una vez efectuado el disparo es de 1,178mm, que no llega a ser el 0,25% de los 560 mm que tiene la pieza. En el eje X la máxima deformación alcanza 1.13 mm. En el eje Y, el mayor desplazamiento que podemos encontrar es de 0,1mm. En el caso del eje Z el máximo desplazamiento es de 0,3mm.

En el caso de la tensión de Von Misses, como ya se explicó anteriormente, aparecen valores puntuales superior a lo que sería esperable. Sin tener en cuenta estos valores anormales, todos los demás resultados están por debajo del límite de fatiga.

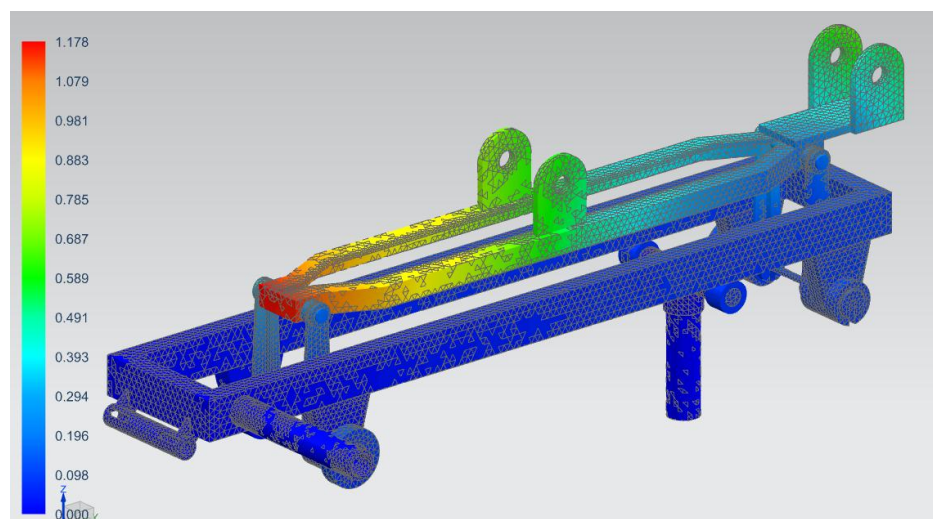


Figura 4-4 Desplazamiento total

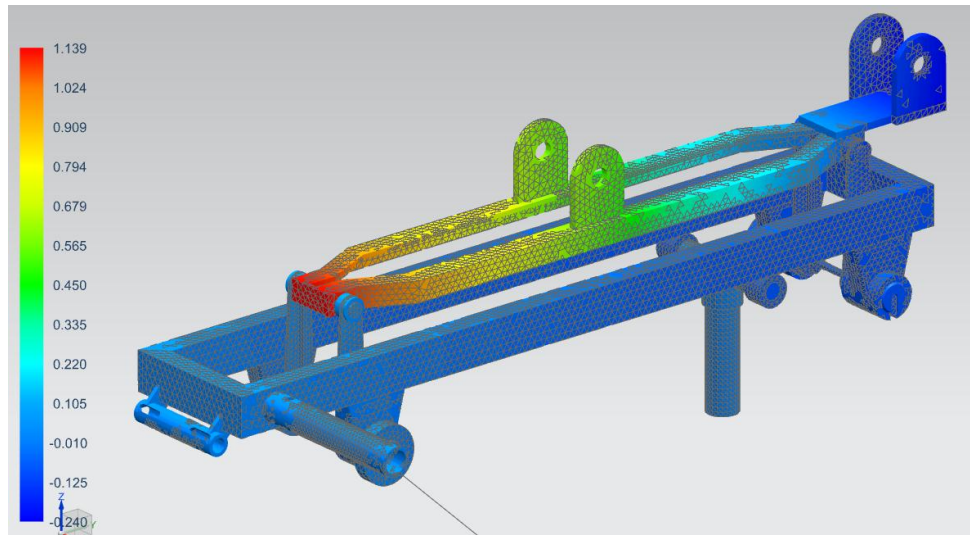


Figura 4-5 Desplazamiento en el eje X

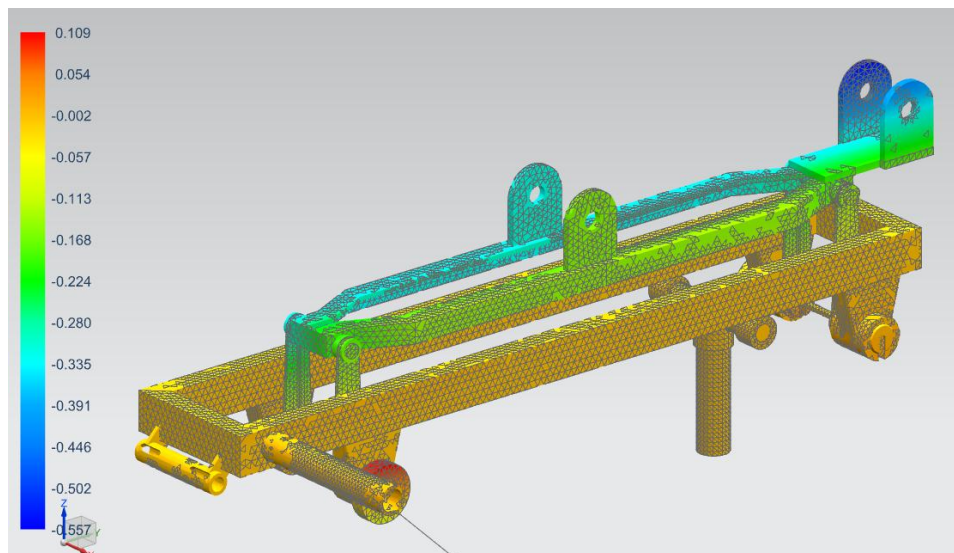


Figura 4-6 Desplazamiento en el eje Y

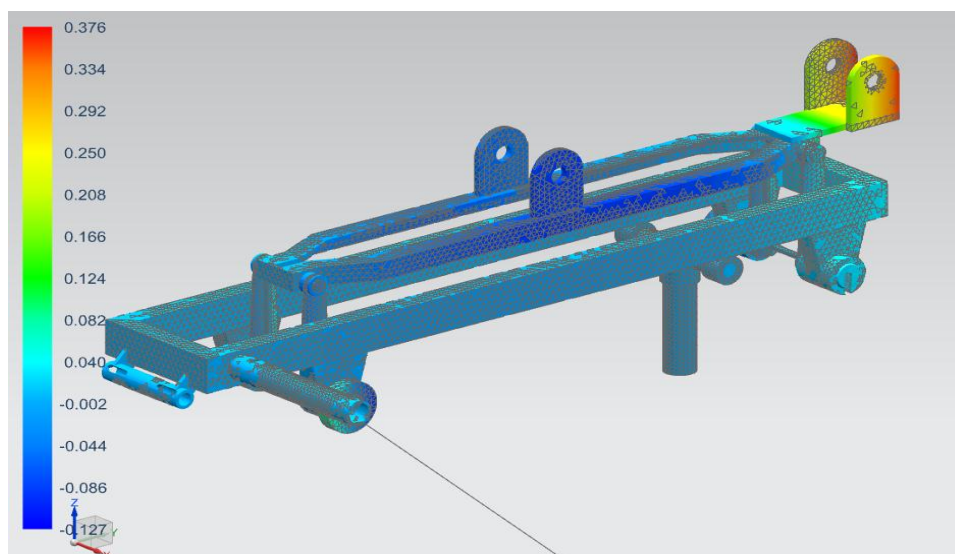


Figura 4-7 Desplazamiento en el eje Z

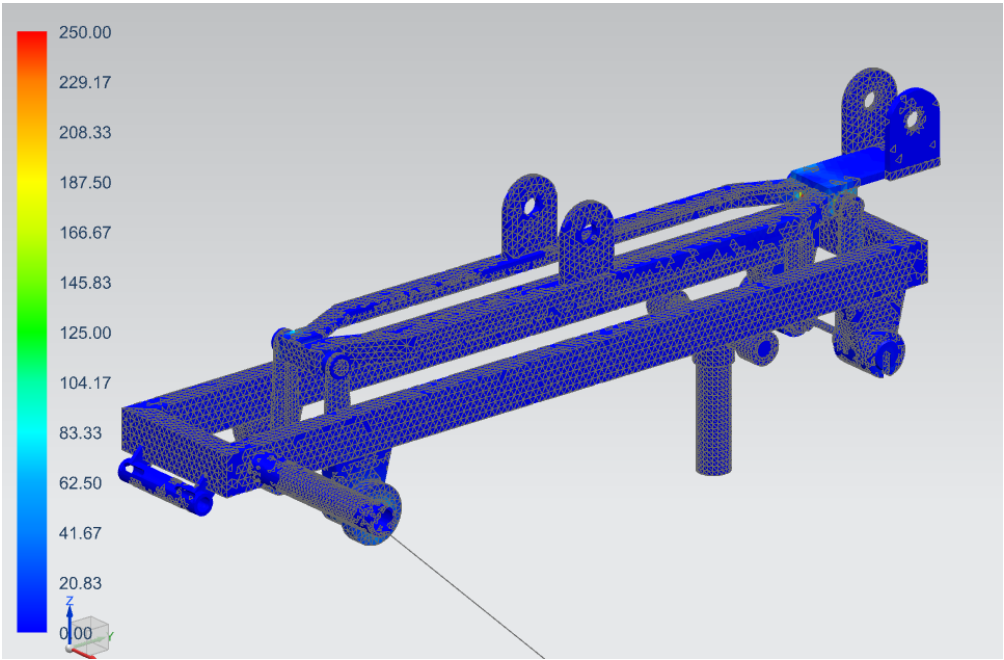


Figura 4-8 Tensión de Von Misses

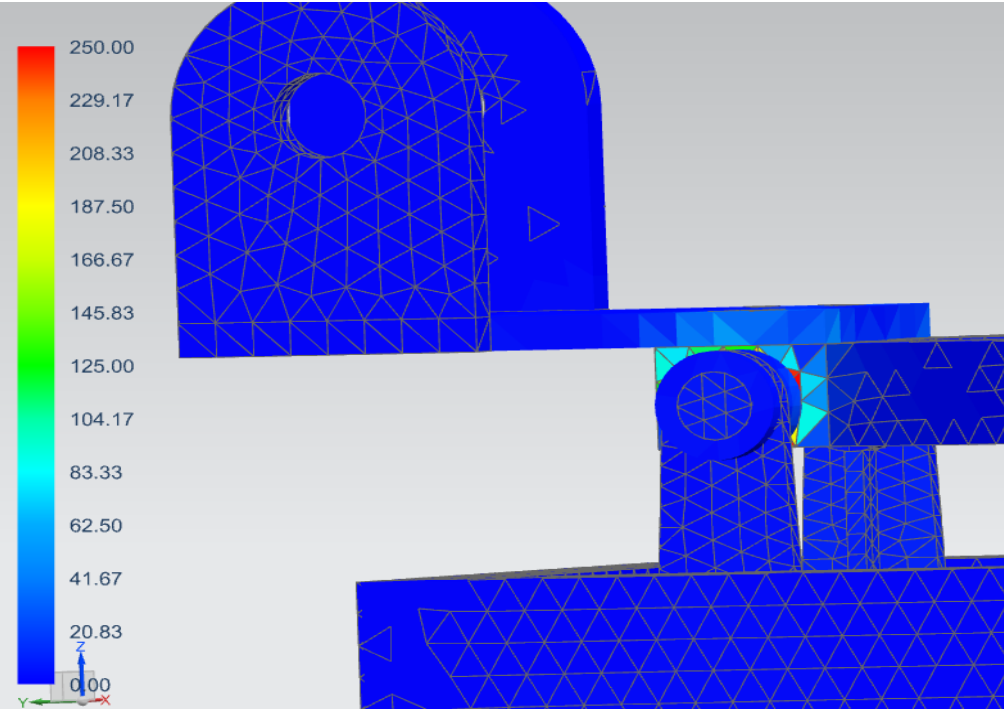


Figura 4-9 Detalle tensión de von Misses

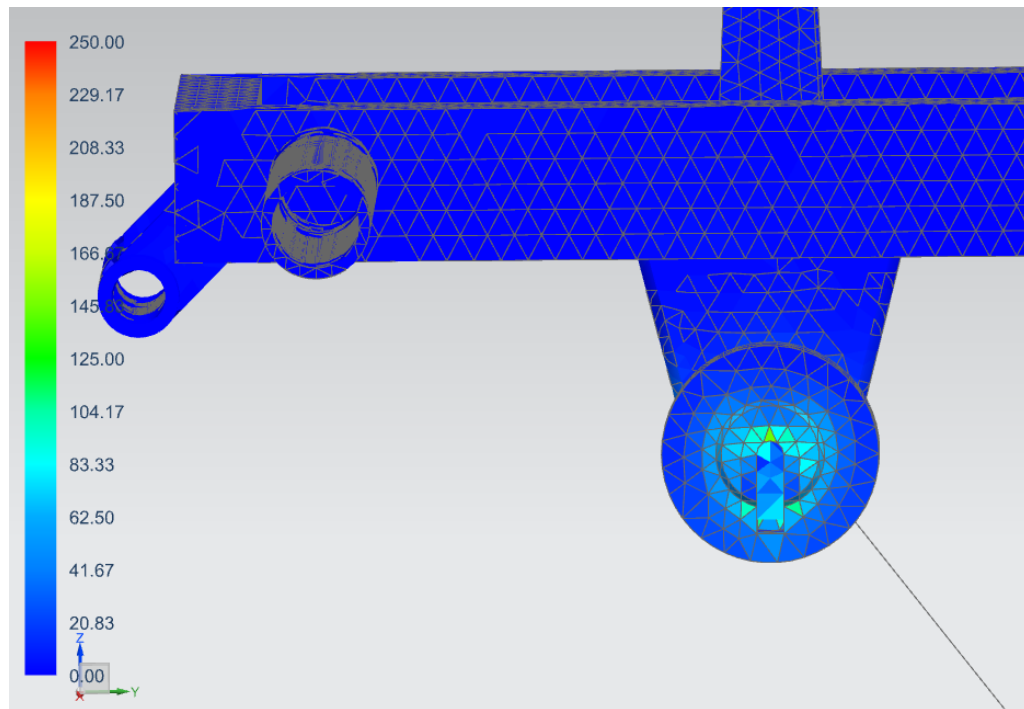


Figura 4-10 Detalle tensión de Von Misses

4.1.4 Simulación de una caída con el arma

Otro de los ensayos que se realiza es la simulación de una caída de la base de tiro estando el arma situada en ella. Esta sería una situación muy extraña, ya que el arma no se coloca sobre la base de tiro hasta que la base de tiro está colocada, pero es una situación que podría darse.

Para simular esta caída se aplican sobre las mismas superficies que en el ensayo anterior cuatro fuerzas simulando 10 veces el peso del arma. Esta es la fuerza que se considera que ejercerá el arma sobre la base de tiro.

El máximo desplazamiento que se sufre en esta caída es de 0,35mm.

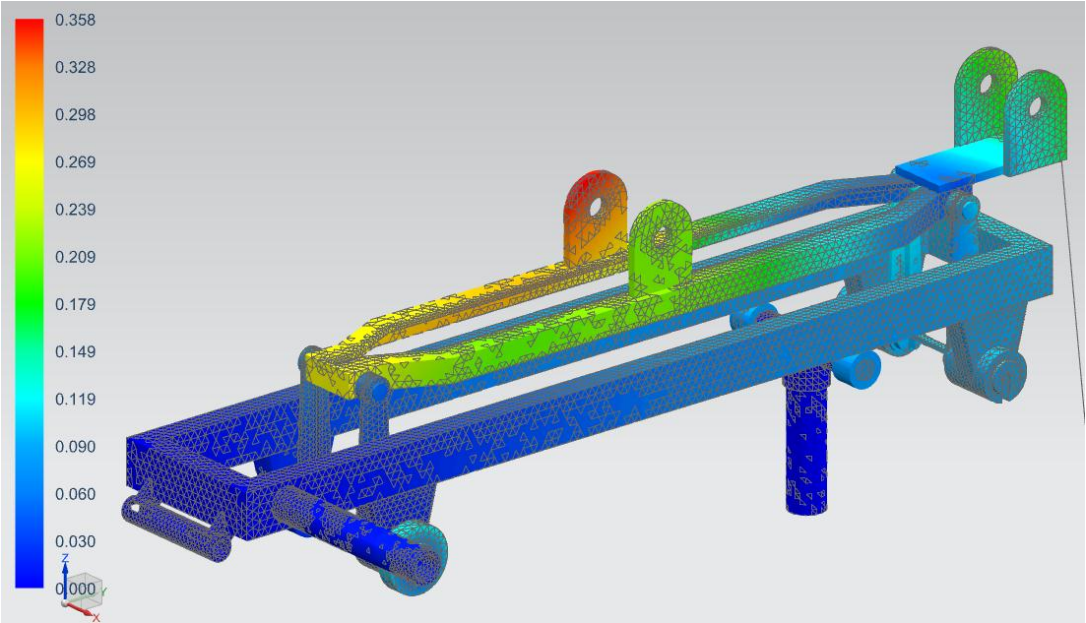


Figura 4-11 Desplazamiento Absoluto

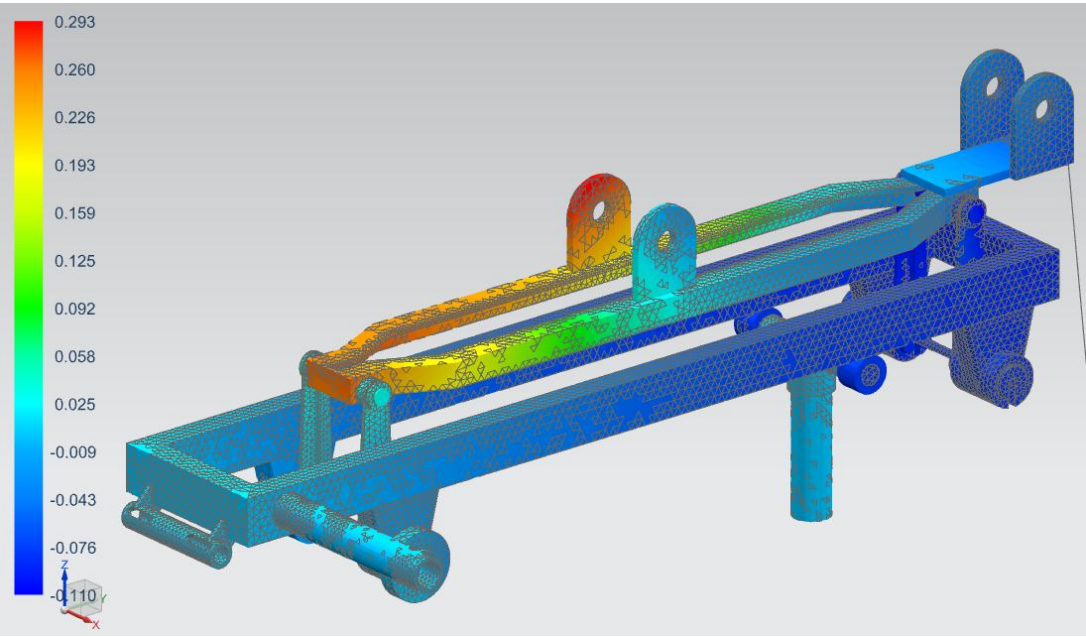


Figura 4-12 Desplazamiento en el eje X

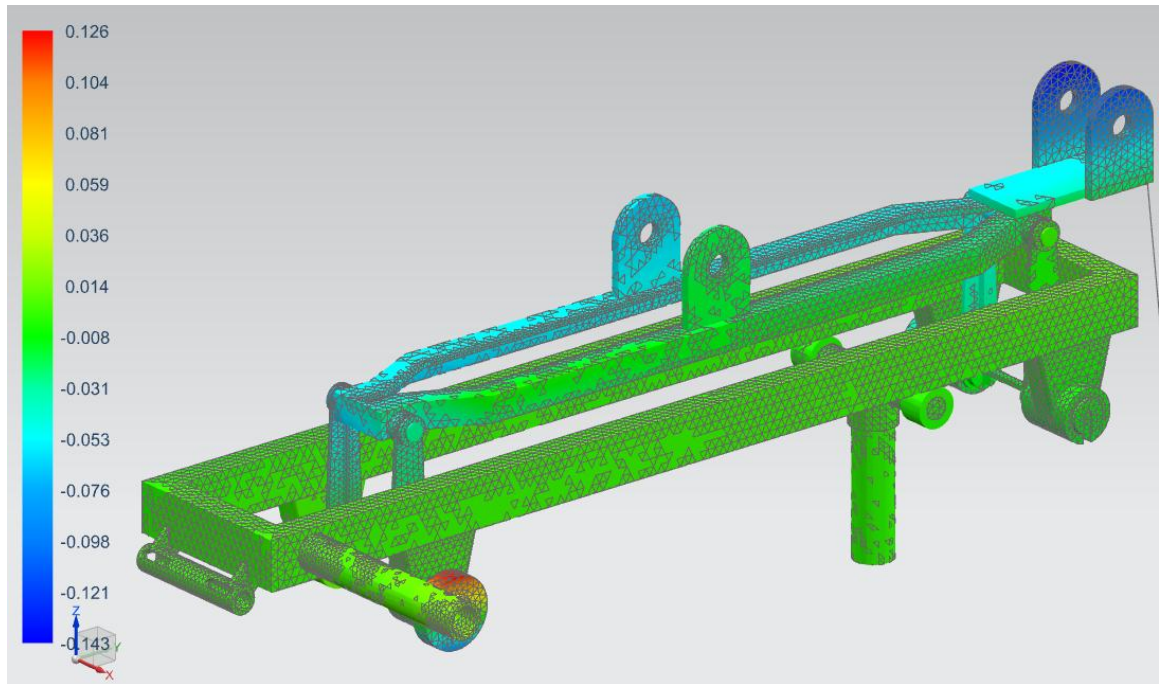


Figura 4-13 Desplazamiento en el eje Y

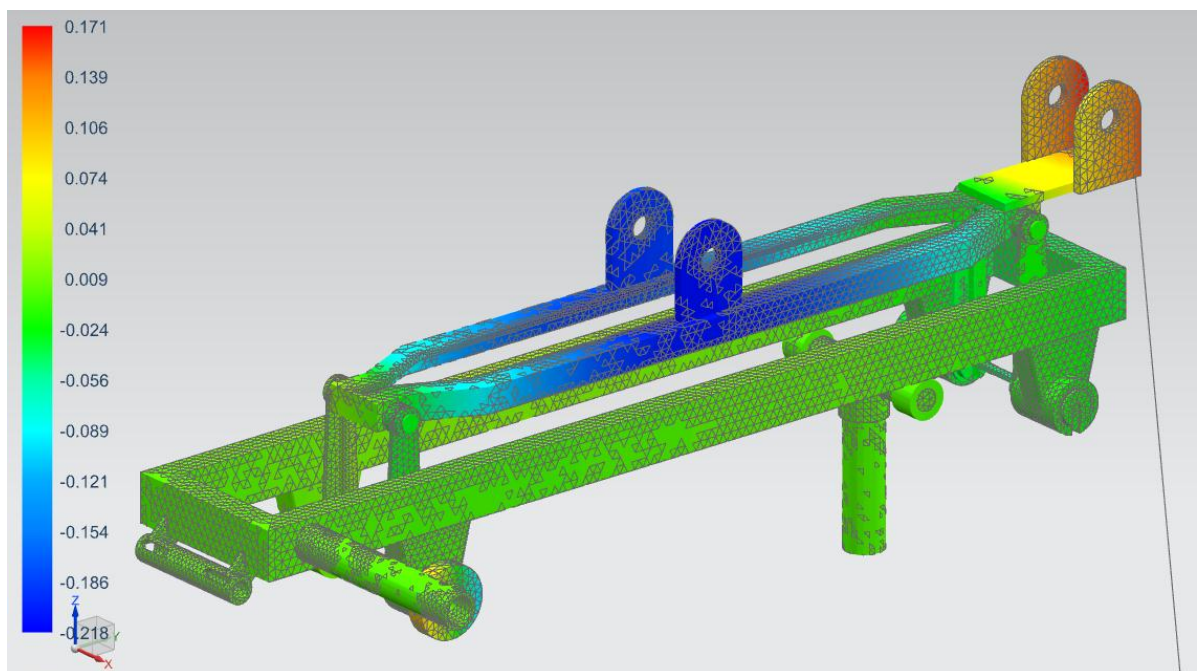


Figura 4-14 Desplazamiento en el eje Z

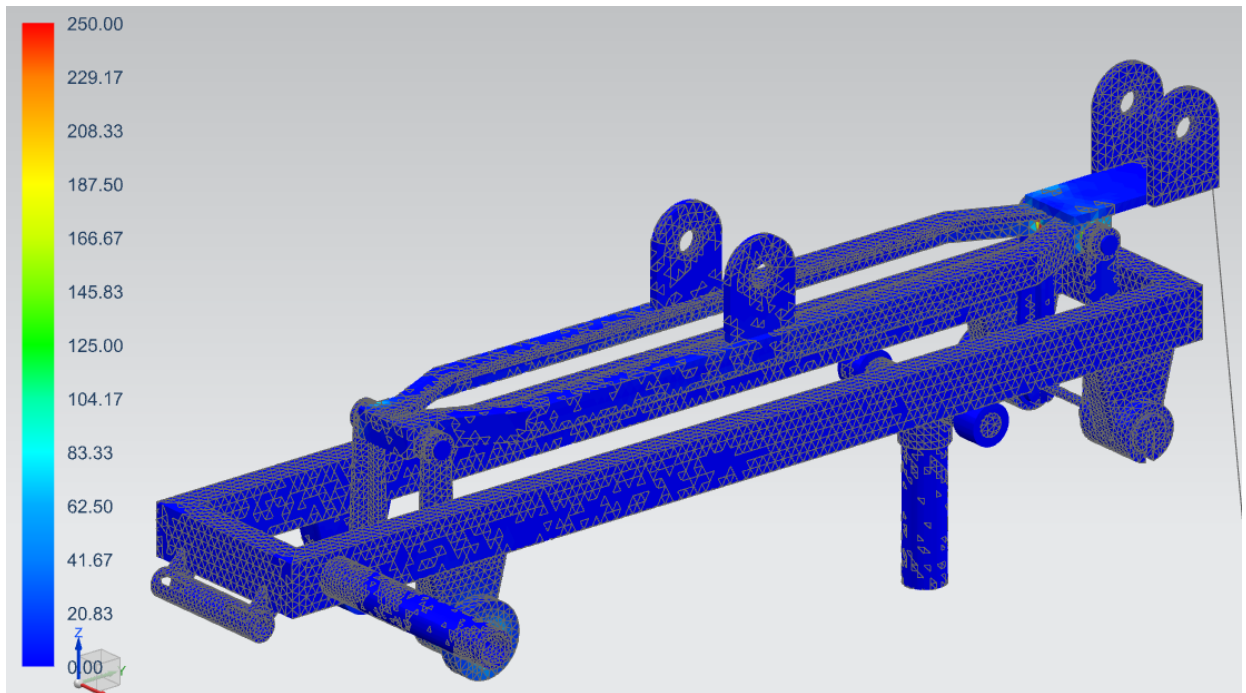


Figura 4-15 Tensión de Von Mises

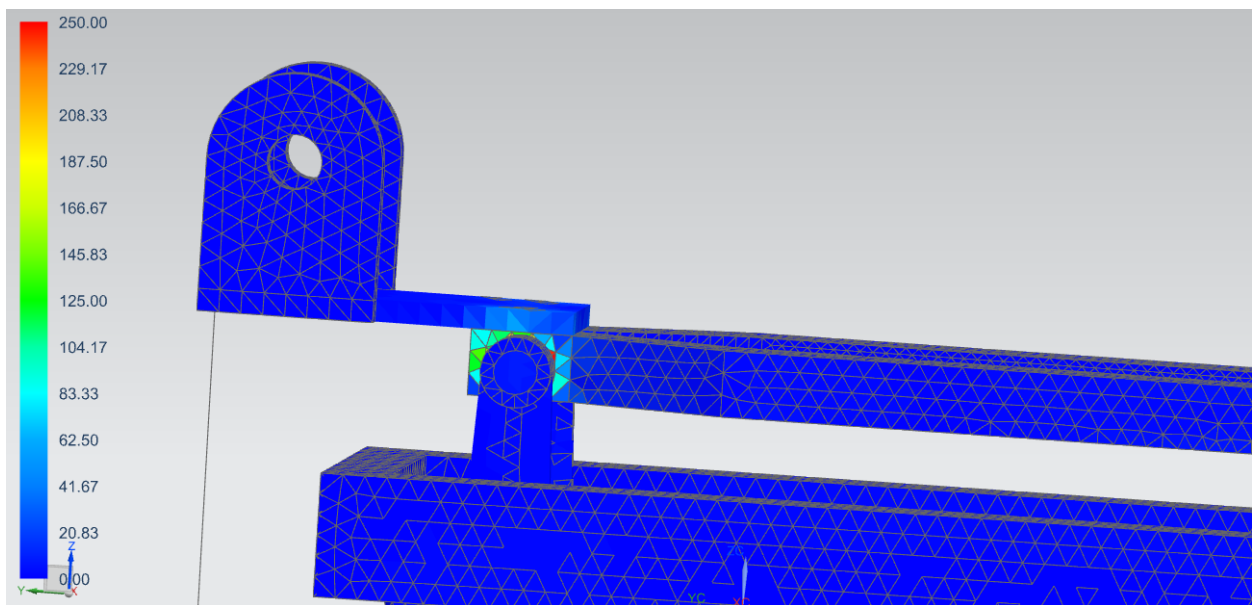


Figura 4-16 Detalle tensión de Von Mises

4.2 Pruebas de resonancia

Para comprobar cuáles son las frecuencias de disparo en las que la base de tiro entraría en resonancia se realiza un ensayo de resonancia utilizando la herramienta CAE. Los resultados obtenidos con este ensayo son confusos y poco fiables por lo que se decide realizar el cálculo de manera manual.

El cálculo se realiza sobre las barras de torsión, que son los elementos que presentaran las mayores cargas cíclicas.

$$\omega = 2 \times \pi \times fn = \sqrt[2]{\frac{k}{m}} = \sqrt[2]{\frac{T}{I}}$$

Siendo fn la frecuencia natural de resonancia del elemento estudiado, k el factor de rigidez, m la masa del conjunto, T el factor de rigidez a torsión de la barra e I el momento de inercia.

El factor de rigidez en una barra de sección uniforme es la relación entre el momento torsor aplicado en uno de sus extremos y el ángulo girado por ese extremo, al mantener fijo el otro extremo de la barra. Este se calcula multiplicando el módulo elástico transversal por el momento de inercia torsional y dividiéndolo por la longitud de la barra.

$$T = \frac{G \times J}{L} = \frac{26300 \times Ip}{0.125}$$

Una vez operados los resultados, podemos comprobar que la base de tiro presenta una primera frecuencia natural en 95 Hz, lo que hace una cadencia de disparo necesaria de cerca de 6000 disparos por minuto. La máxima cadencia de fuego de las ametralladoras MINIMI es de 1000 disparos por minuto, por tanto no tendremos problemas de resonancia a la hora de disparar la ametralladora.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Se ha realizado un análisis del arma y de los distintos sistemas de soporte para esta y otras armas similares con objeto de conocer las soluciones más comúnmente aceptadas.

Se ha realizado un diseño más simple que los otros similares.

La utilización del aluminio permite dejar el peso total de la base de tiro en 4,8kg, un peso mucho menor que si se hubiese utilizado por ejemplo acero, que habría alcanzado casi los 15kg. Esto se debe a que la posibilidad de deterioro en golpes y los efectos de posibles pandeos localizados no permiten reducir apenas el espesor de los distintos elementos, a pesar de que la resistencia del acero es mayor.

Se ha empleado con éxito una herramienta CAD-CAE que ha permitido desarrollar el trabajo con mayor agilidad y eficiencia si bien no todos los aspectos fueron positivos. La realización de ensayos sobre ensamblajes se ha mostrado compleja y en algunos casos, incluso, poco fiable.

La geometría presentada se ha verificado con éxito en los ensayos, validando el diseño propuesto.

5.2 Líneas futuras

Una vez desarrollada la base de tiro sostenido de la MINIMI se podría estudiar el diseño de un nuevo trípode específico para esta, haciéndolo también útil para la ametralladora MG3 ya que el diseño de este trípode es de mediados del siglo XX.

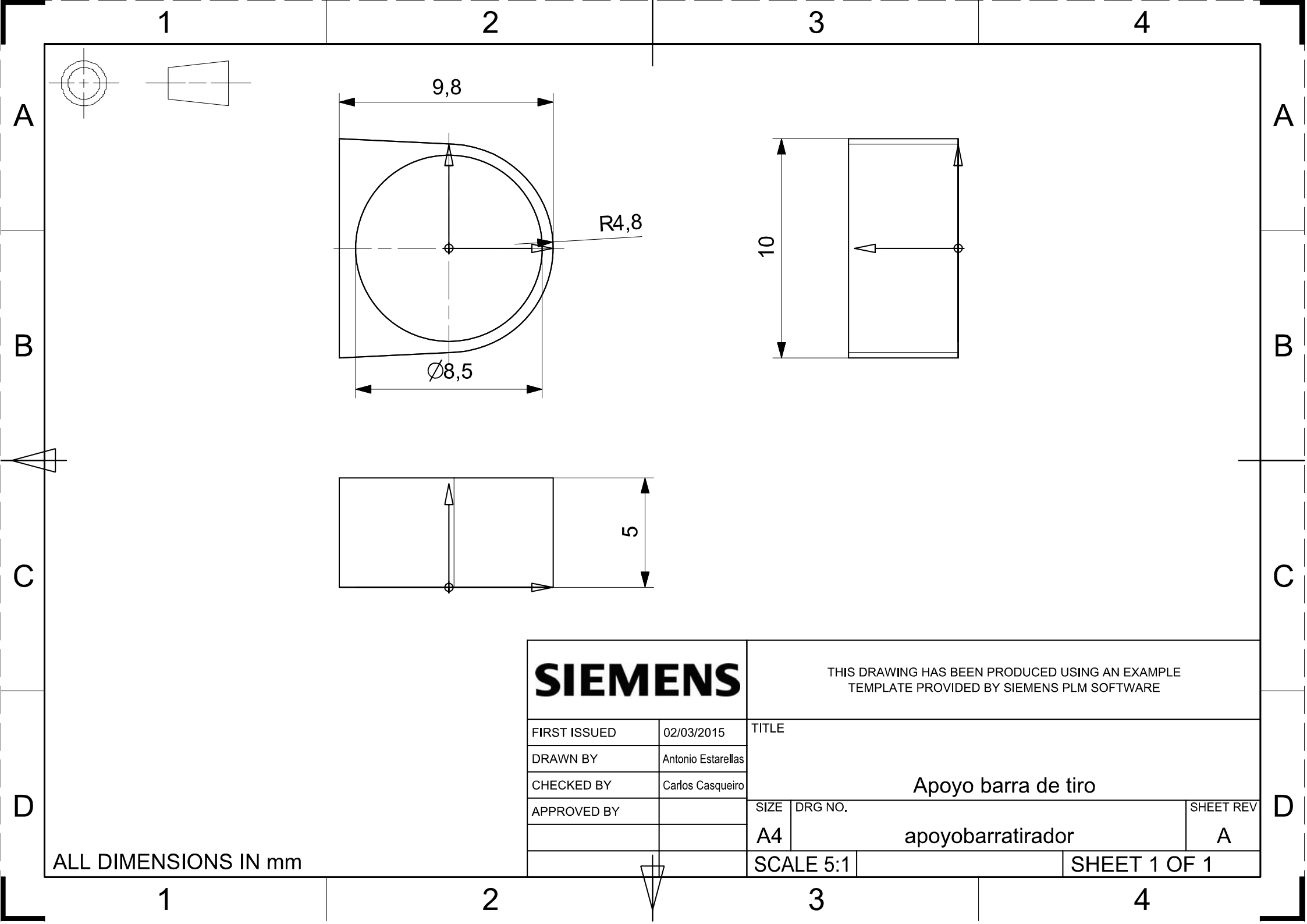
También se podría estudiar la posibilidad de dotar de un sistema para manejar el afuste y la ametralladora a distancia evitando así la presencia de los operadores del arma cerca de la misma en exteriores. Esto es especialmente importante en el caso de utilizar este afuste a bordo de los buques de la Armada, ya que si no es necesario que haya nadie operando el arma directamente se disminuirá considerablemente el tiempo que los operadores del arma han de estar expuestos al fuego enemigo. Solo será necesario que estén expuestos el tiempo requerido para municionar el arma o cambiarle la caña.

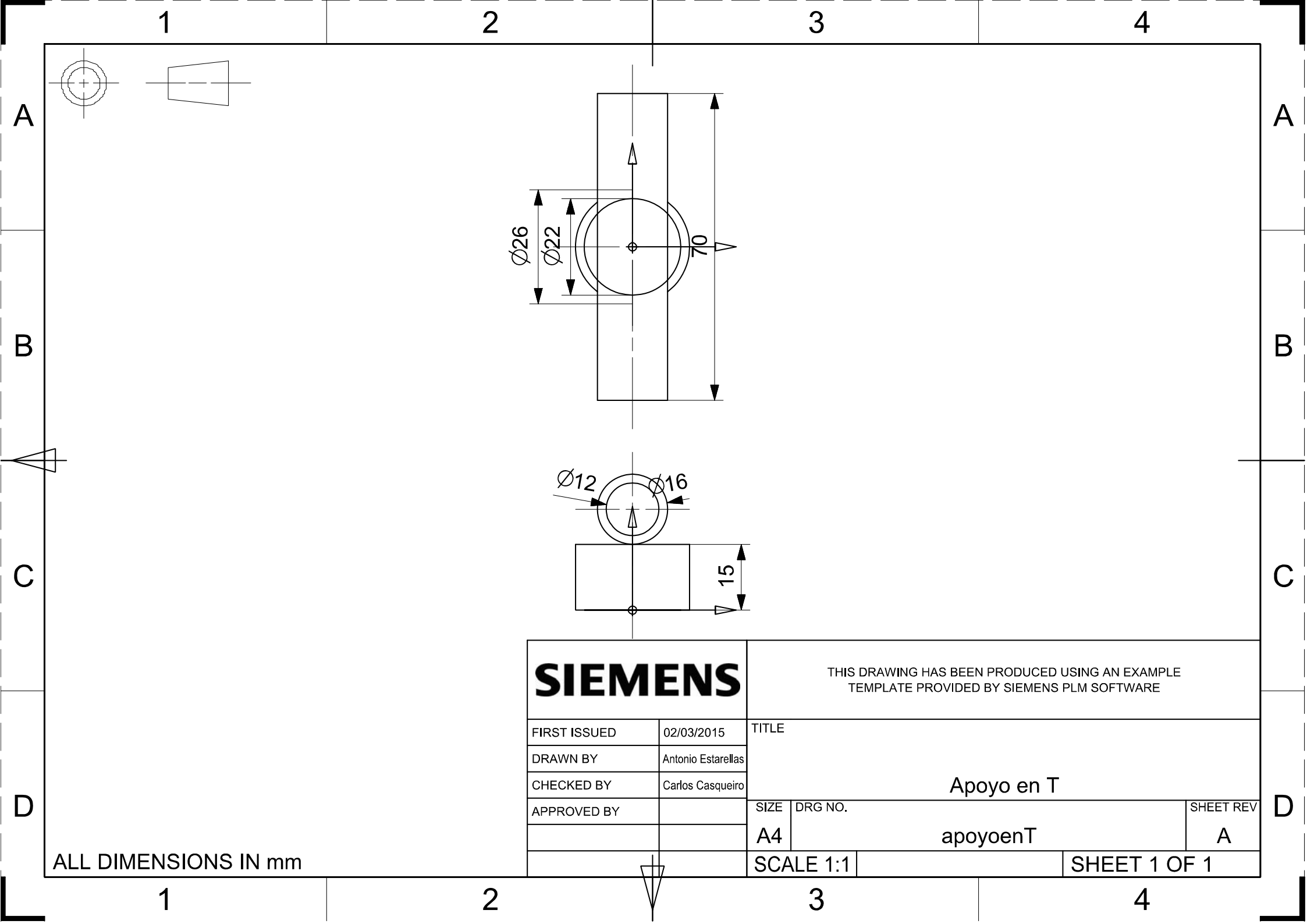
El tipo de misiones para las que se utilizaría esta ametralladora en la situación actual sería para defender la unidad de un ataque asimétrico, es decir, ataque perpetrado por fuerzas de una menor capacidad ofensiva, como sería el caso de un esquife pirata en las aguas del golfo de Adén. Si los operadores del arma se sitúan en el interior de la superestructura del buque no se verán bajo fuego enemigo, ya que el armamento utilizado por el atacante en un ataque asimétrico es armamento ligero, armamento para el cual la superestructura de los buques está blindado.

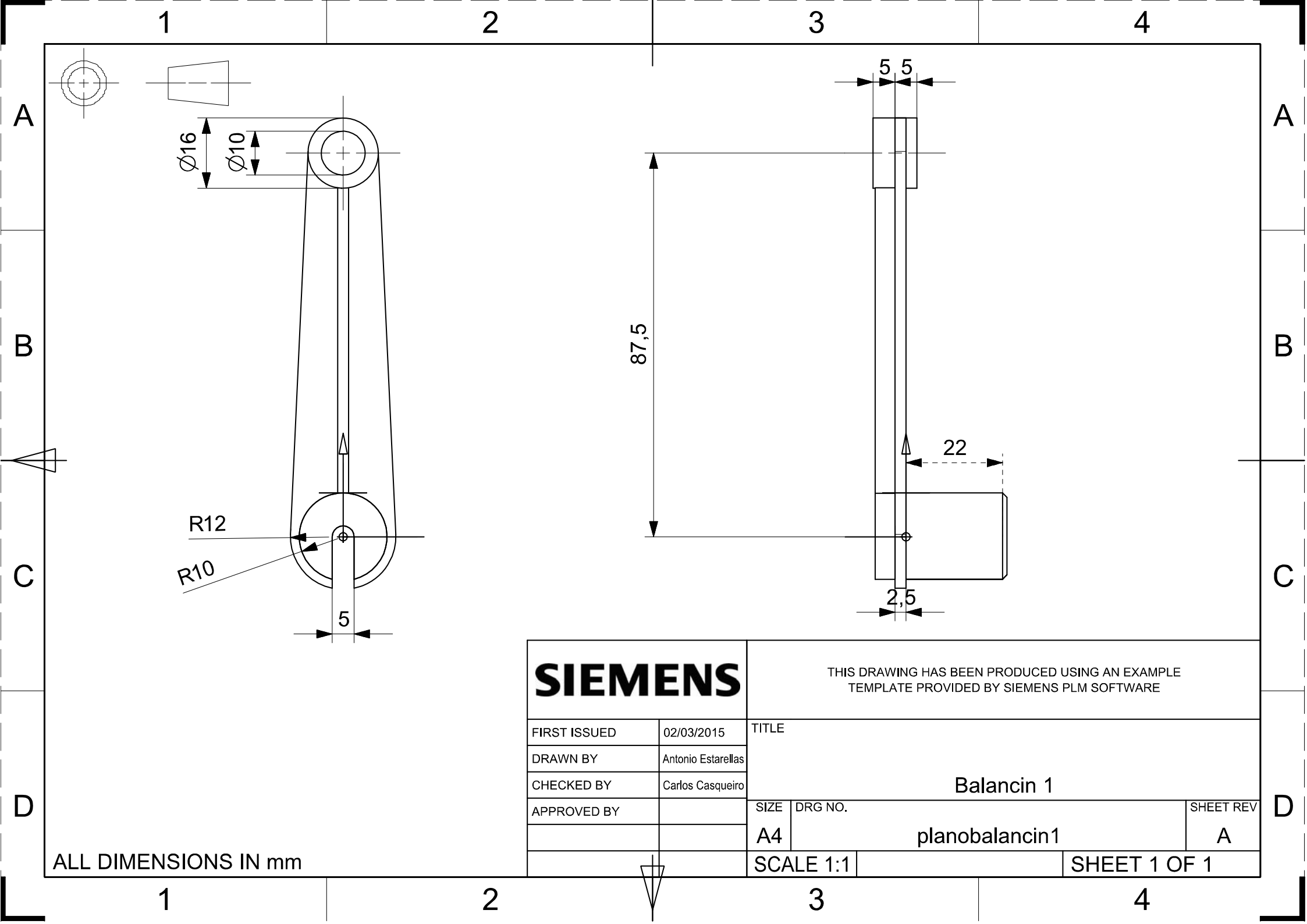
6 BIBLIOGRAFÍA

- FN HERSTAL, «web de FN HERSTAL,» [En línea]. Available:
1] http://www.fnherstal.com/primary-menu/products-capabilities/machine-guns/general/product/306/233/306/2/_/fn-minimiR-556-mk3.html. [Último acceso: 16 FEBRERO 2015].
- FN HERSTAL, Catálogo de piezas y accesorios MINIMI, Herstal, 2009.
2]
- Armada Española, «Web de Armada Española,» [En línea]. Available:
3] http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buques_infanteria/prefLang_es/. [Último acceso: 2 Marzo 2015].
- Armada Española, RIM 06-004 La sección y la Cia. de fusiles de la I.M..
4]
- A. Bonilla, Guía Básica para la aplicación de las TIC's en PYMES, Zamudio: ROBOTIKER,
5] 2003.
- Cuvicad, «web de Cuvicad,» [En línea]. Available: <http://www.cuvicad.com/images/PMI.jpg>.
6] [Último acceso: 6 febrero 2015].
- FN HERSTAL, Manual de Mantenimiento MINIMI, HERSTAL, 2007.
7]
- Platt Mounts, «web de Platt Mounts,» [En línea]. Available:
8] <http://www.plattmounts.com/index.php?id=45>. [Último acceso: 9 febrero 2015].
- RHEINMETALL, Manual Técnico para la AMETRALLADORA MG 3 y el AFUSTE DE
9] CAMPAÑA, Düsseldorf, 1971.

ANEXO I: PLANOS







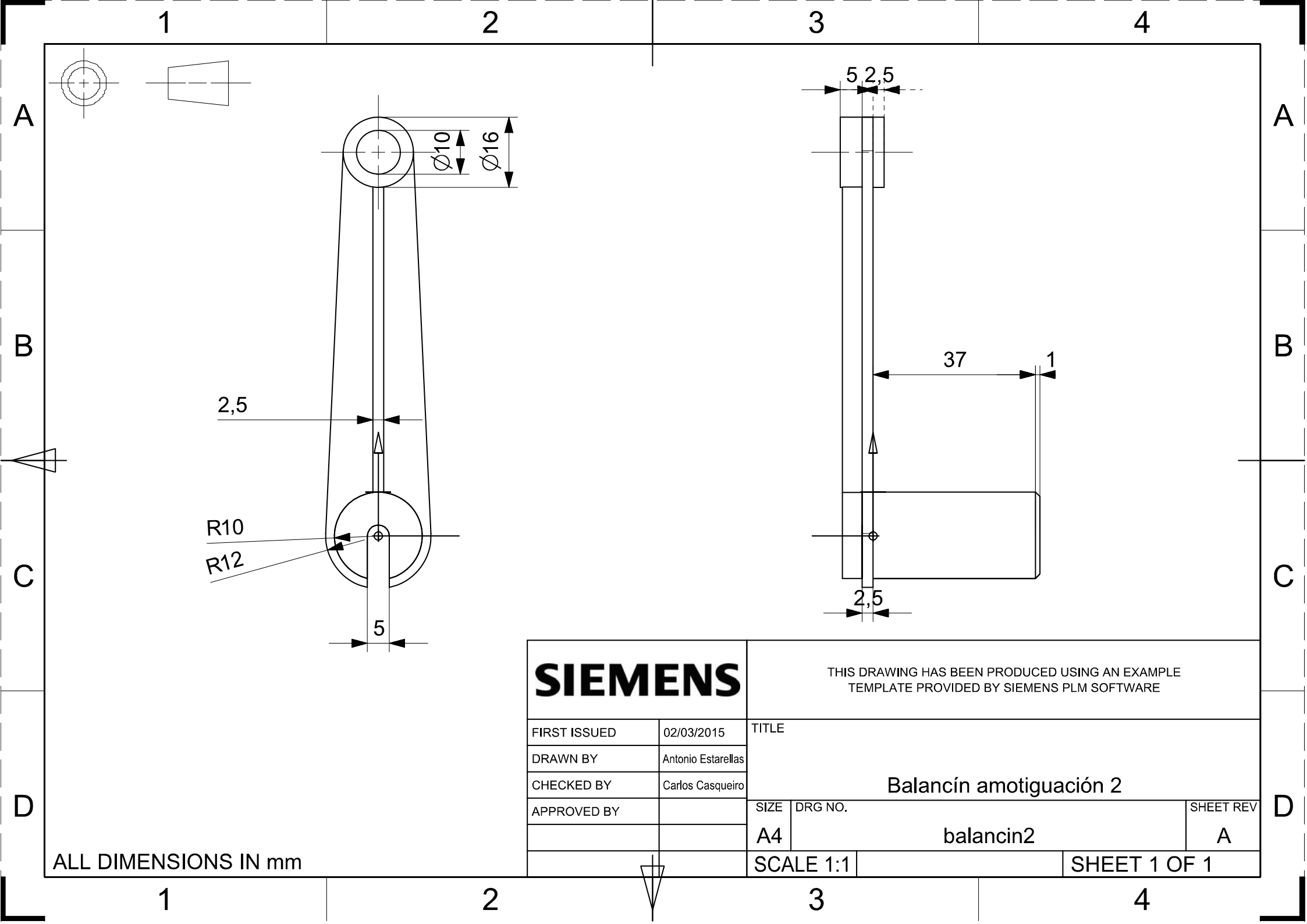
SIEMENS

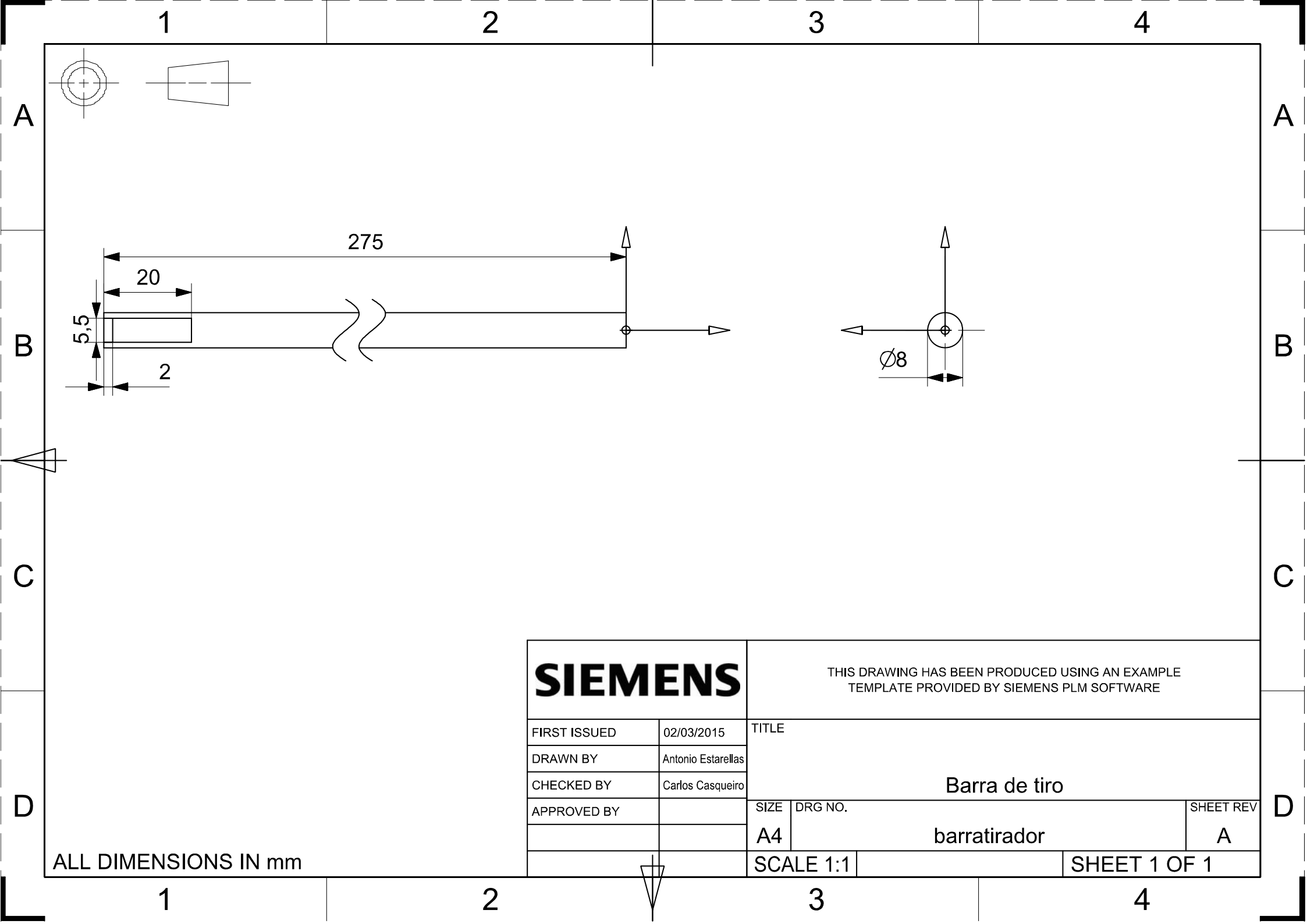
THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

FIRST ISSUED	02/03/2015
DRAWN BY	Antonio Estarellas
CHECKED BY	Carlos Casqueiro
APPROVED BY	

TITLE			
Balancin 1			
SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
A4	planobalancin1	A	
SCALE 1:1		SHEET 1 OF 1	

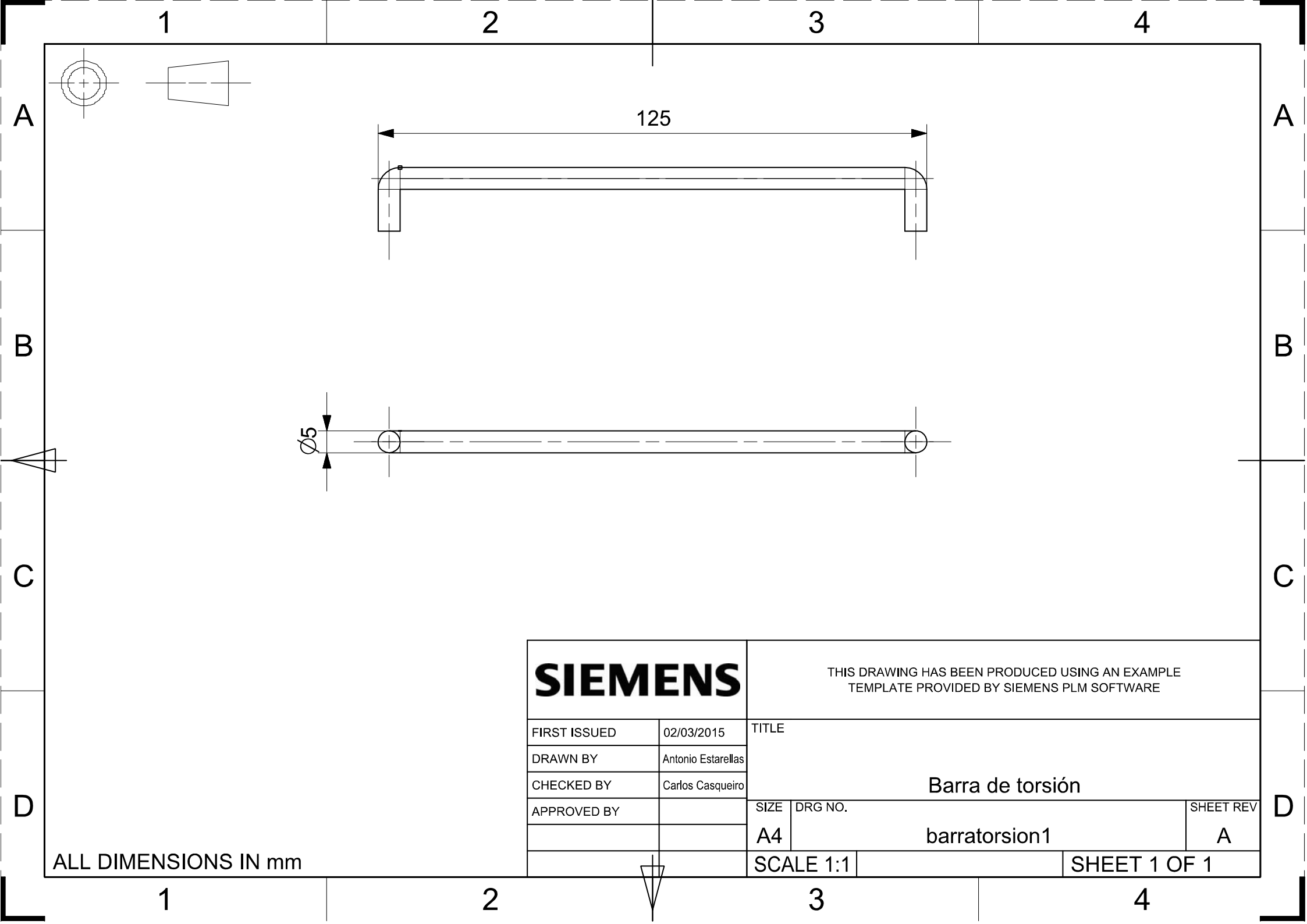
ALL DIMENSIONS IN mm





SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE			
FIRST ISSUED	02/03/2015	TITLE Barra de tiro			
DRAWN BY	Antonio Estarellas				
CHECKED BY	Carlos Casqueiro				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.		SHEET REV
		A4	barratirador		A
		SCALE 1:1		SHEET 1 OF 1	

ALL DIMENSIONS IN mm



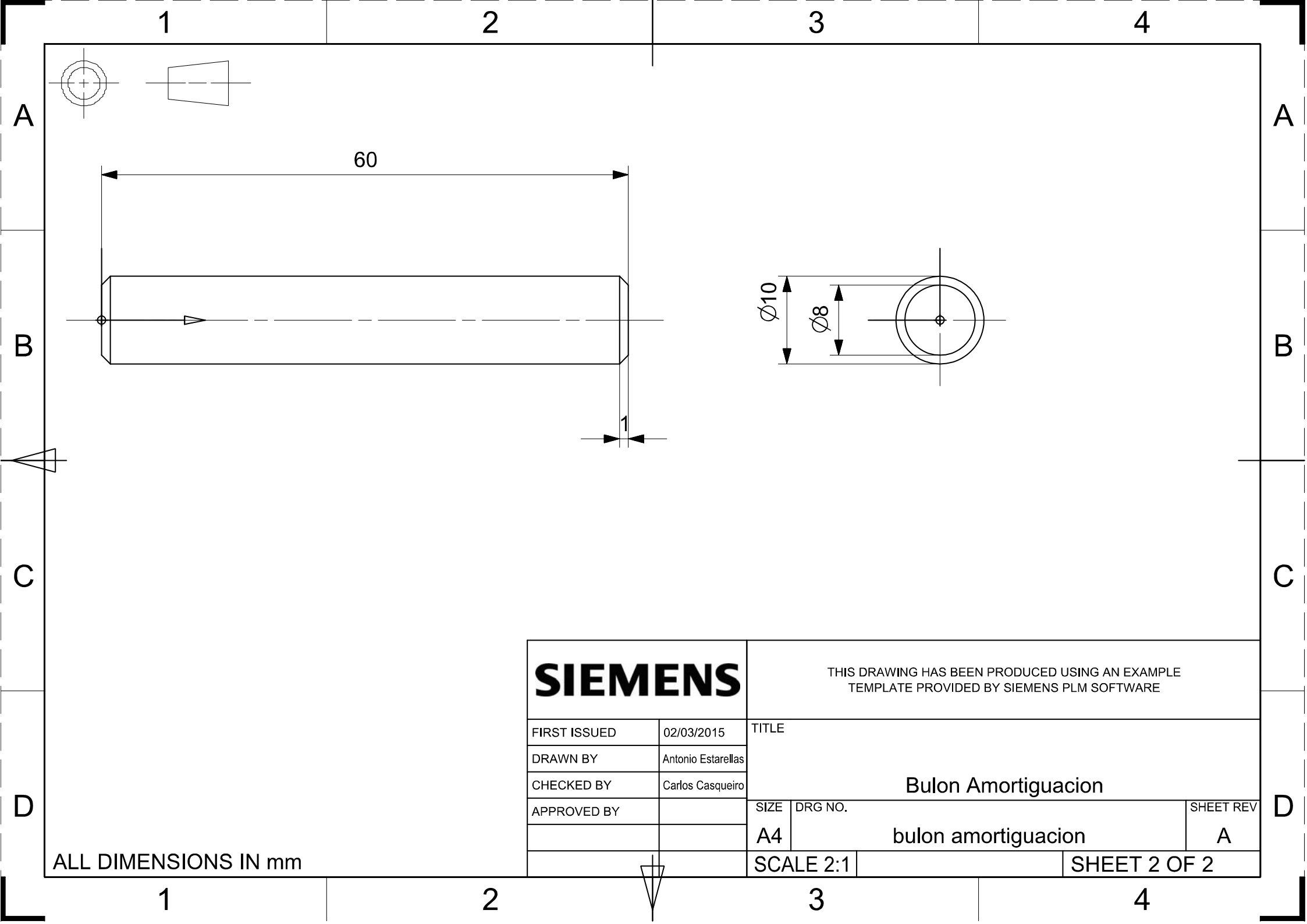
ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

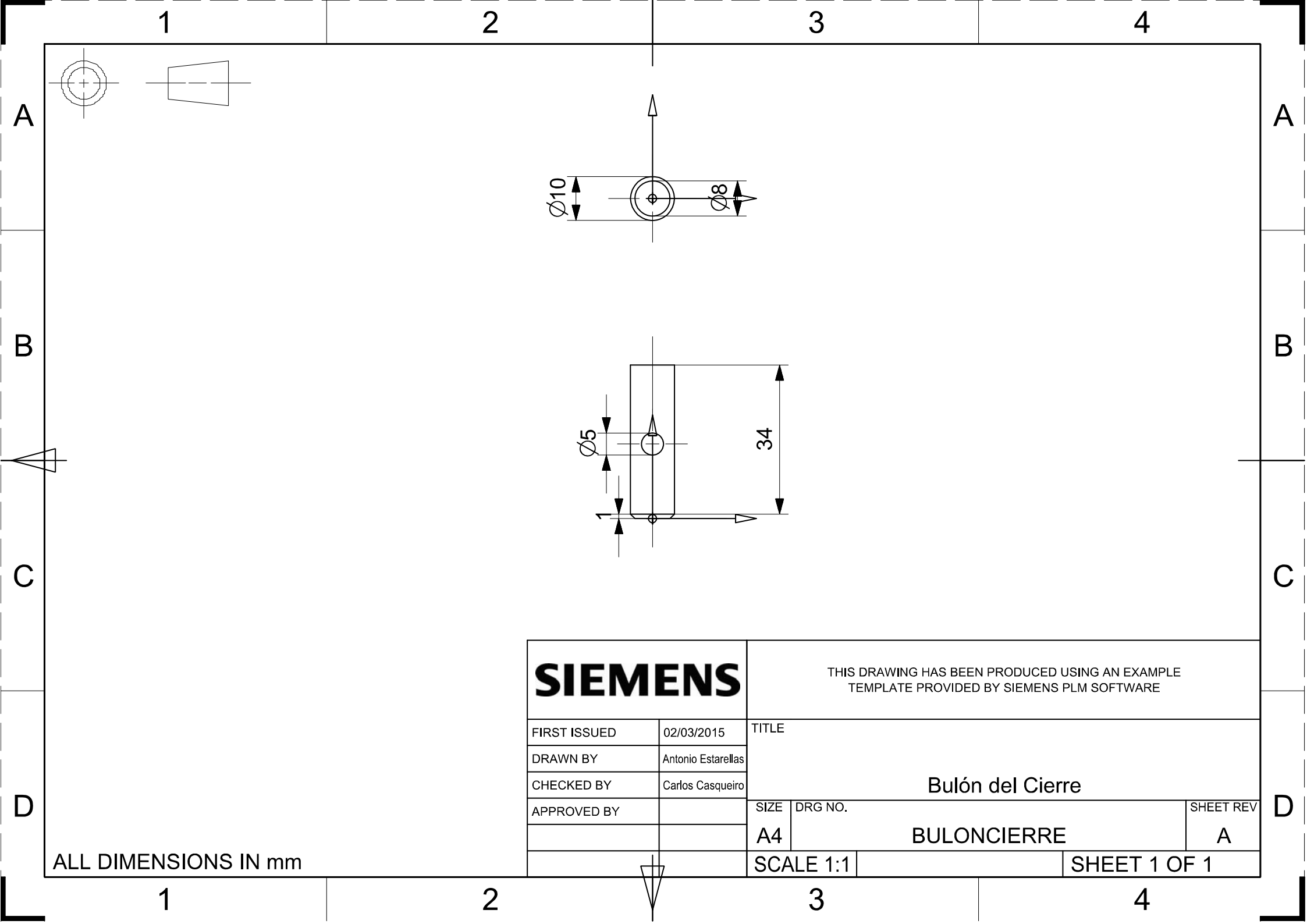
FIRST ISSUED	02/03/2015
DRAWN BY	Antonio Estarellas
CHECKED BY	Carlos Casqueiro
APPROVED BY	

TITLE			
Barra de torsión			
SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
A4	barratorsion1	A	
SCALE 1:1		SHEET 1 OF 1	



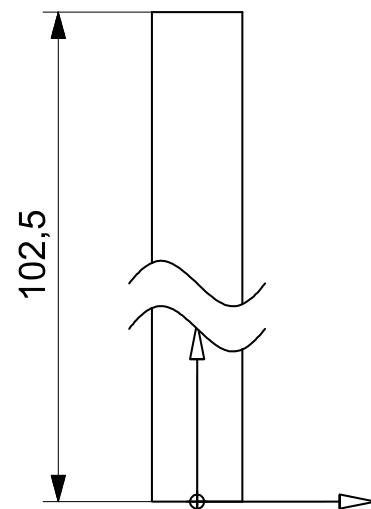
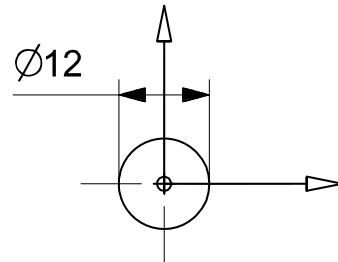
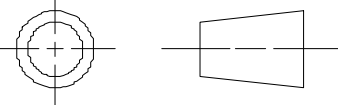
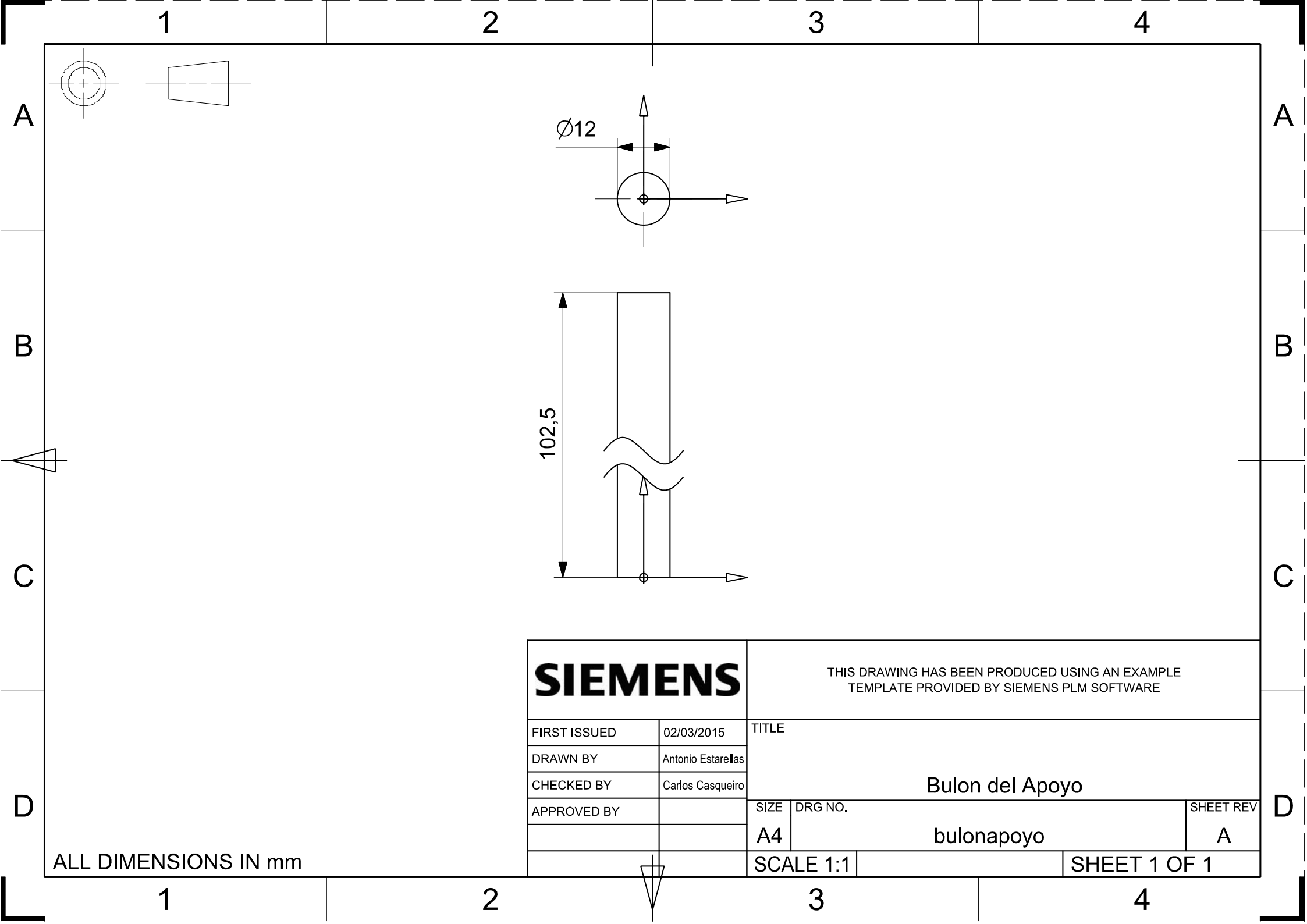
ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED	02/03/2015	TITLE Bulon Amortiguacion		
DRAWN BY	Antonio Estarellas			
CHECKED BY	Carlos Casqueiro			
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
		A4	bulon amortiguacion	A
		SCALE 2:1		SHEET 2 OF 2



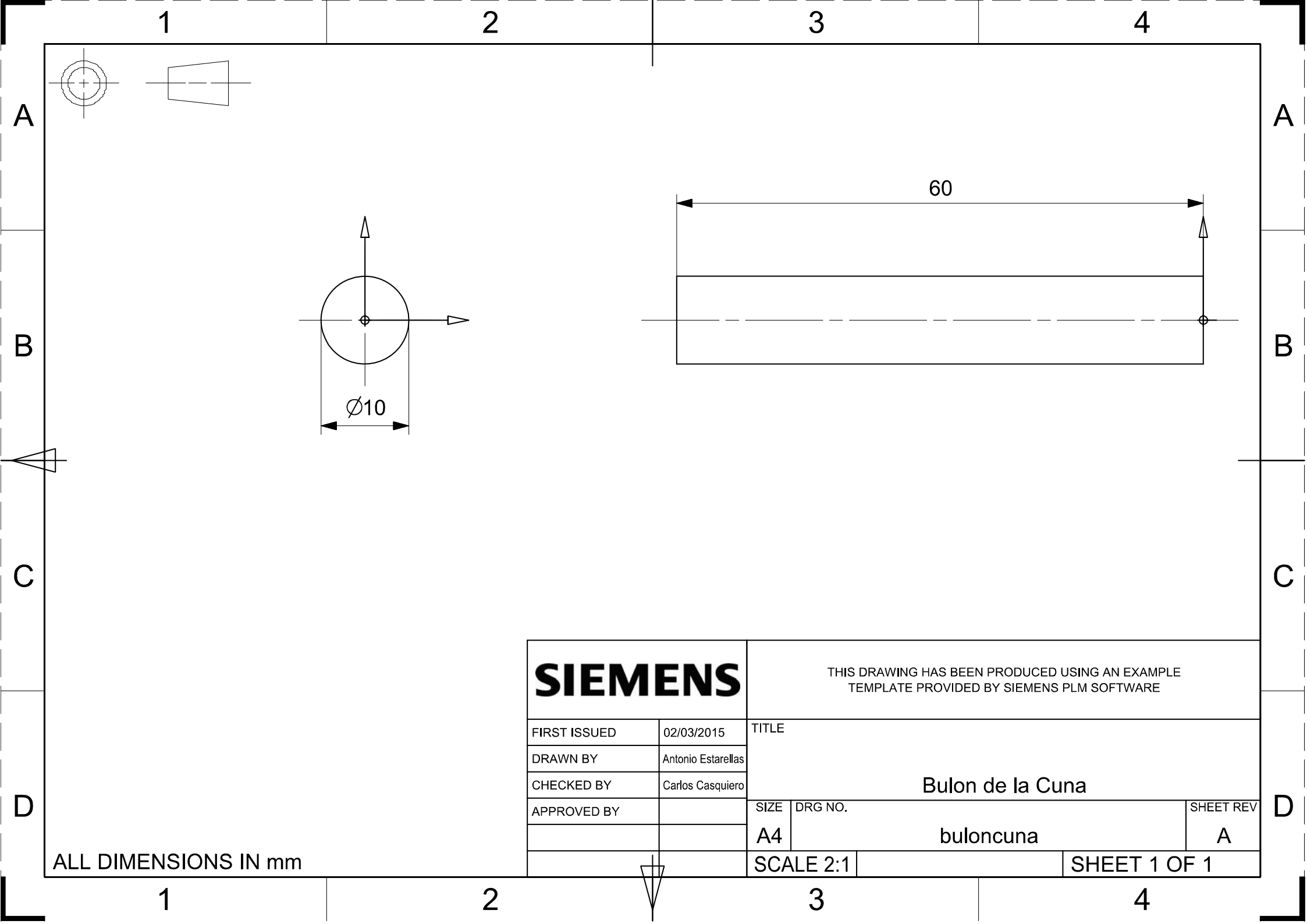
ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE			
FIRST ISSUED	02/03/2015	TITLE Bulón del Cierre			
DRAWN BY	Antonio Estarellas				
CHECKED BY	Carlos Casqueiro				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
		A4	BULONCIERRE	A	
		SCALE 1:1		SHEET 1 OF 1	

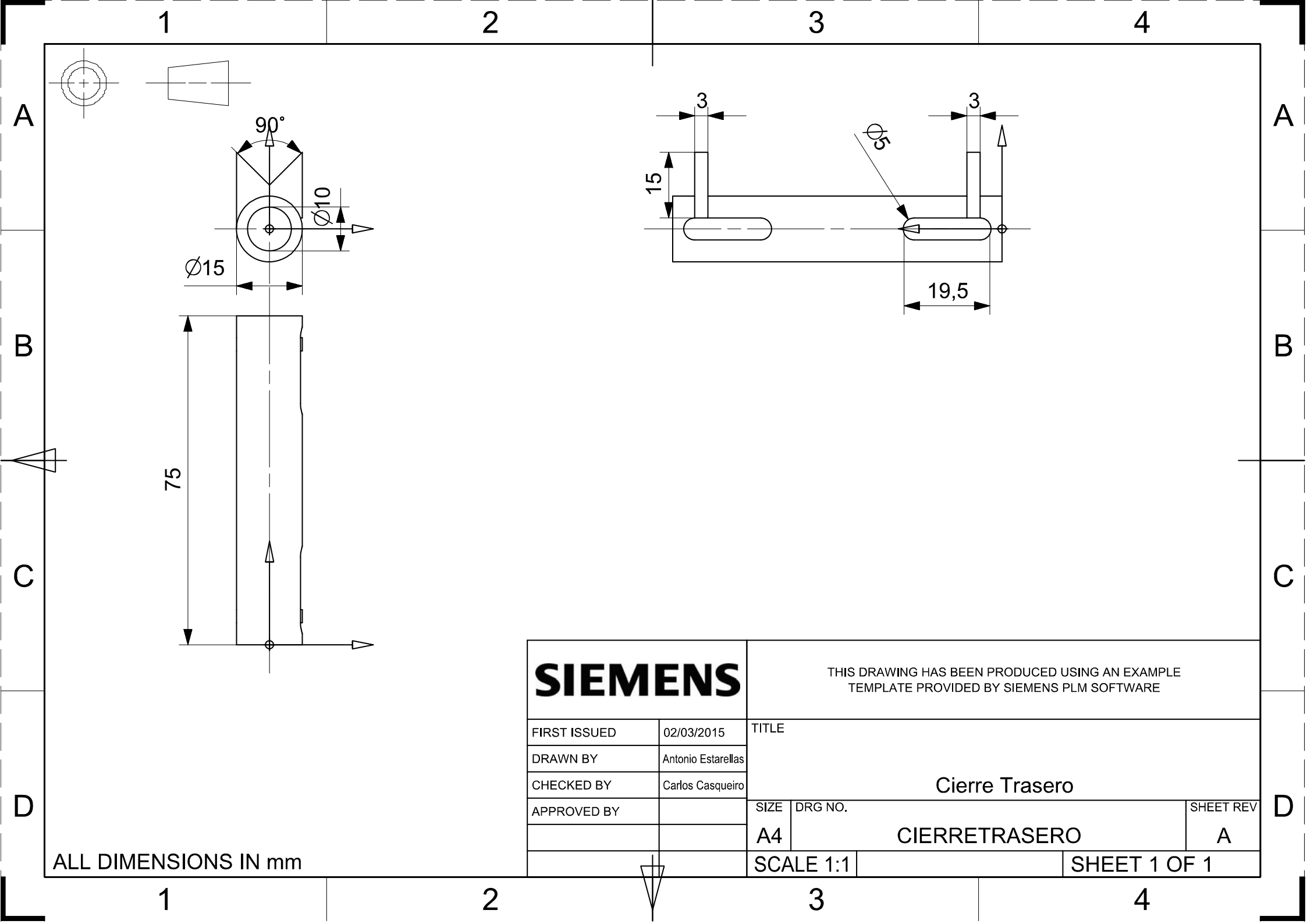


SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE			
FIRST ISSUED	02/03/2015	TITLE Bulon del Apoyo			
DRAWN BY	Antonio Estarellas				
CHECKED BY	Carlos Casqueiro				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.		SHEET REV
		A4	bulonapoyo		A
		SCALE 1:1		SHEET 1 OF 1	

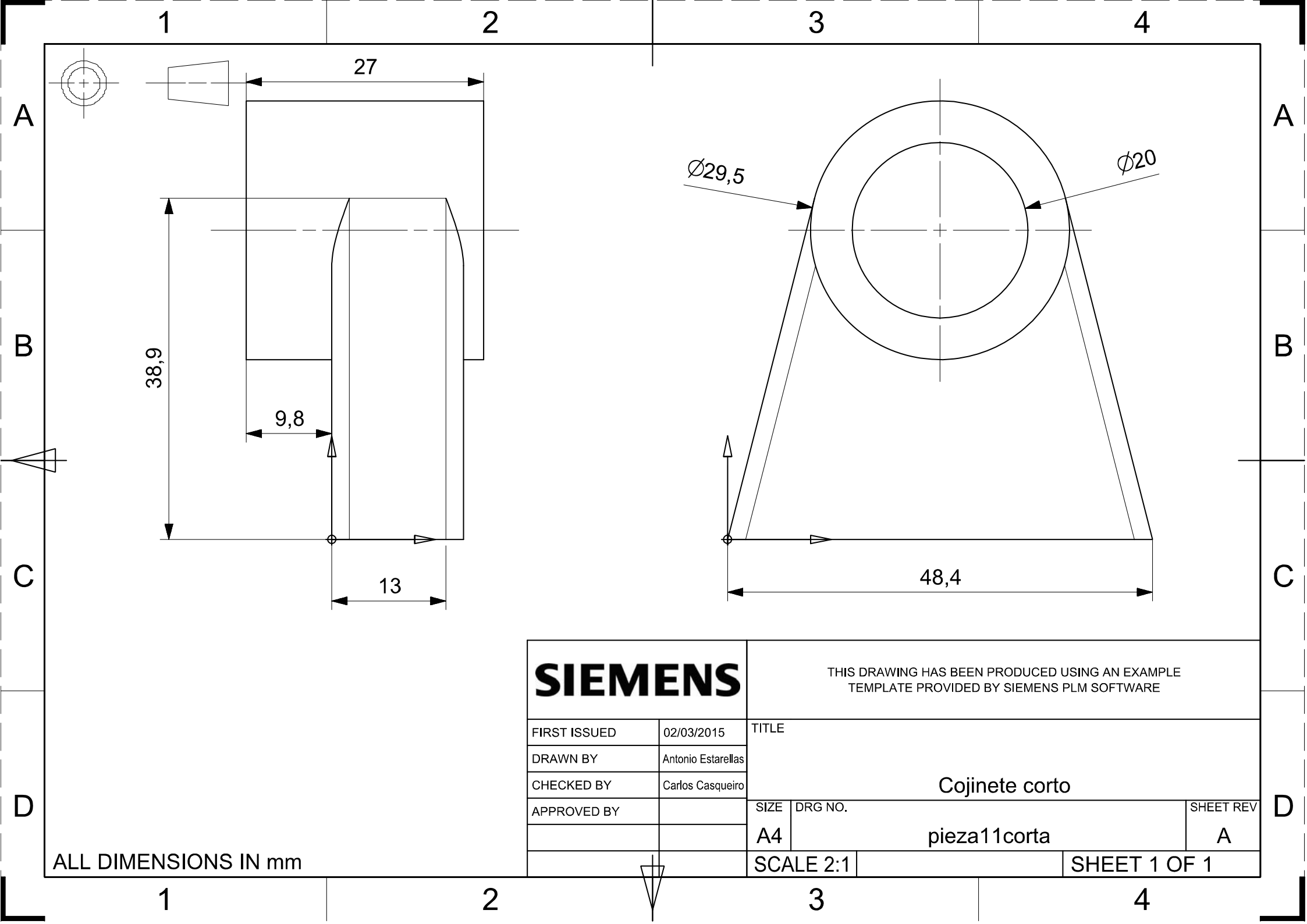
ALL DIMENSIONS IN mm



SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE			
FIRST ISSUED	02/03/2015	TITLE Bulon de la Cuna			
DRAWN BY	Antonio Estarellas				
CHECKED BY	Carlos Casquero				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
		A4	buloncuna	A	
		SCALE 2:1		SHEET 1 OF 1	



ALL DIMENSIONS IN mm



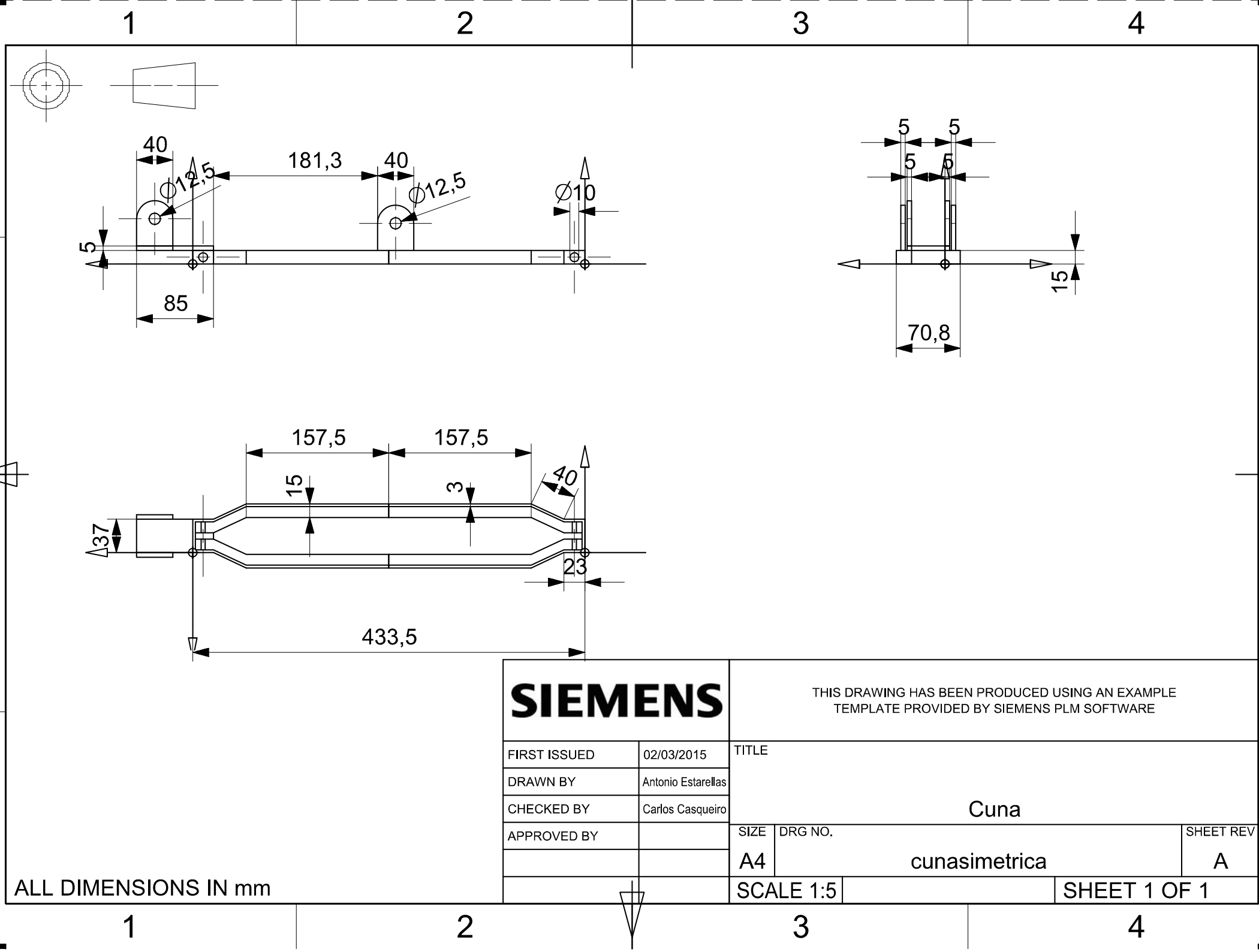
ALL DIMENSIONS IN mm

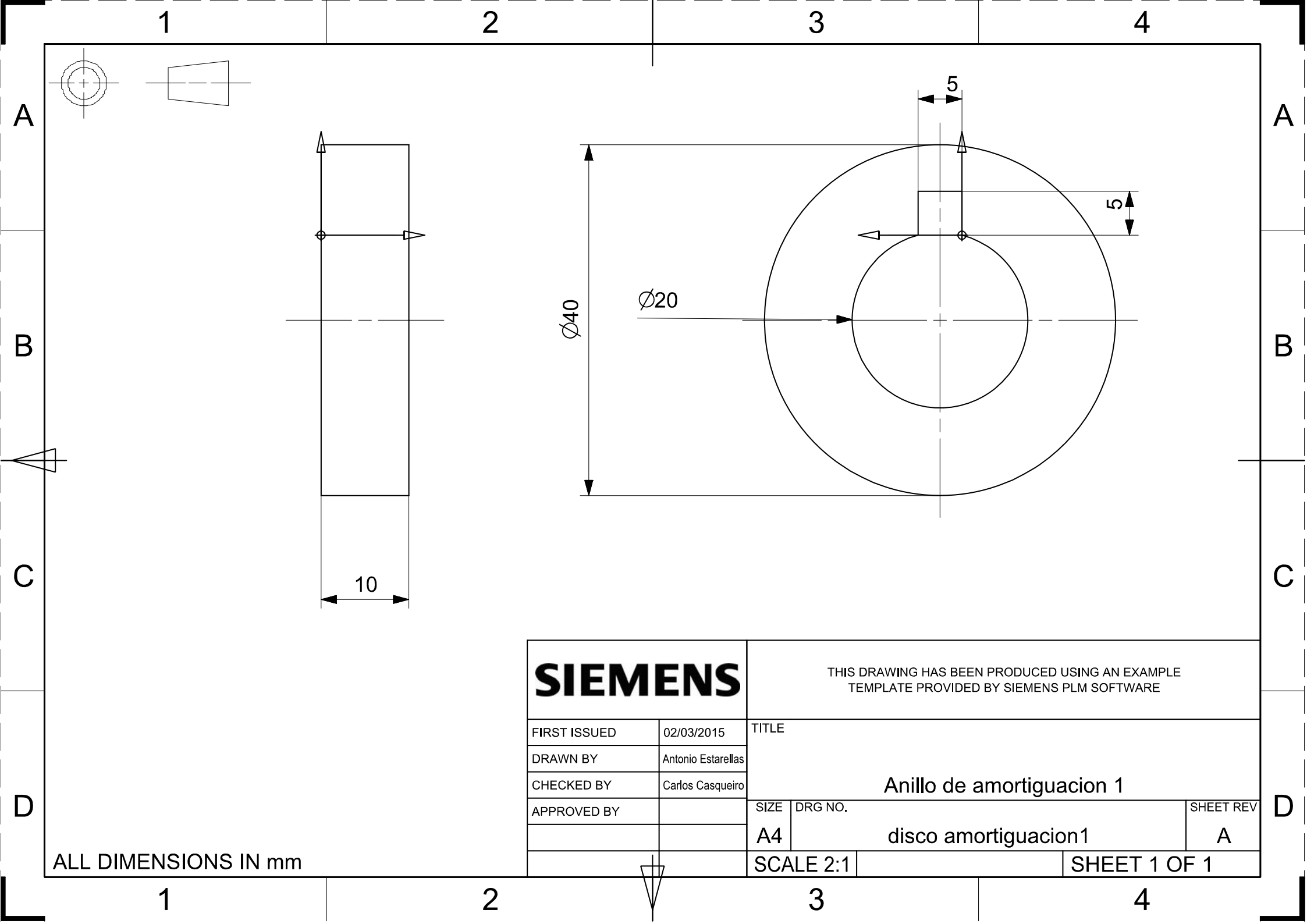
SIEMENS

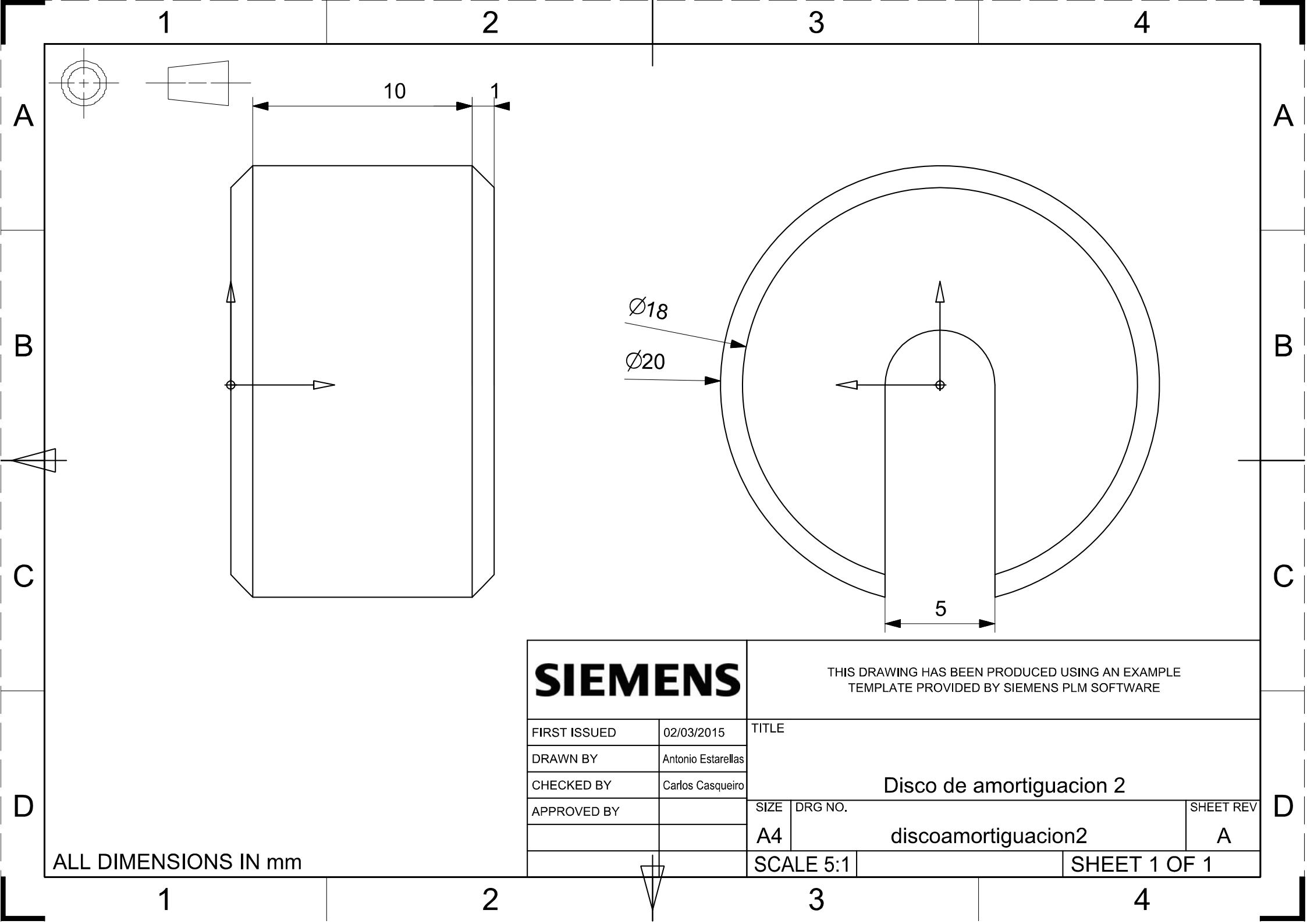
THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

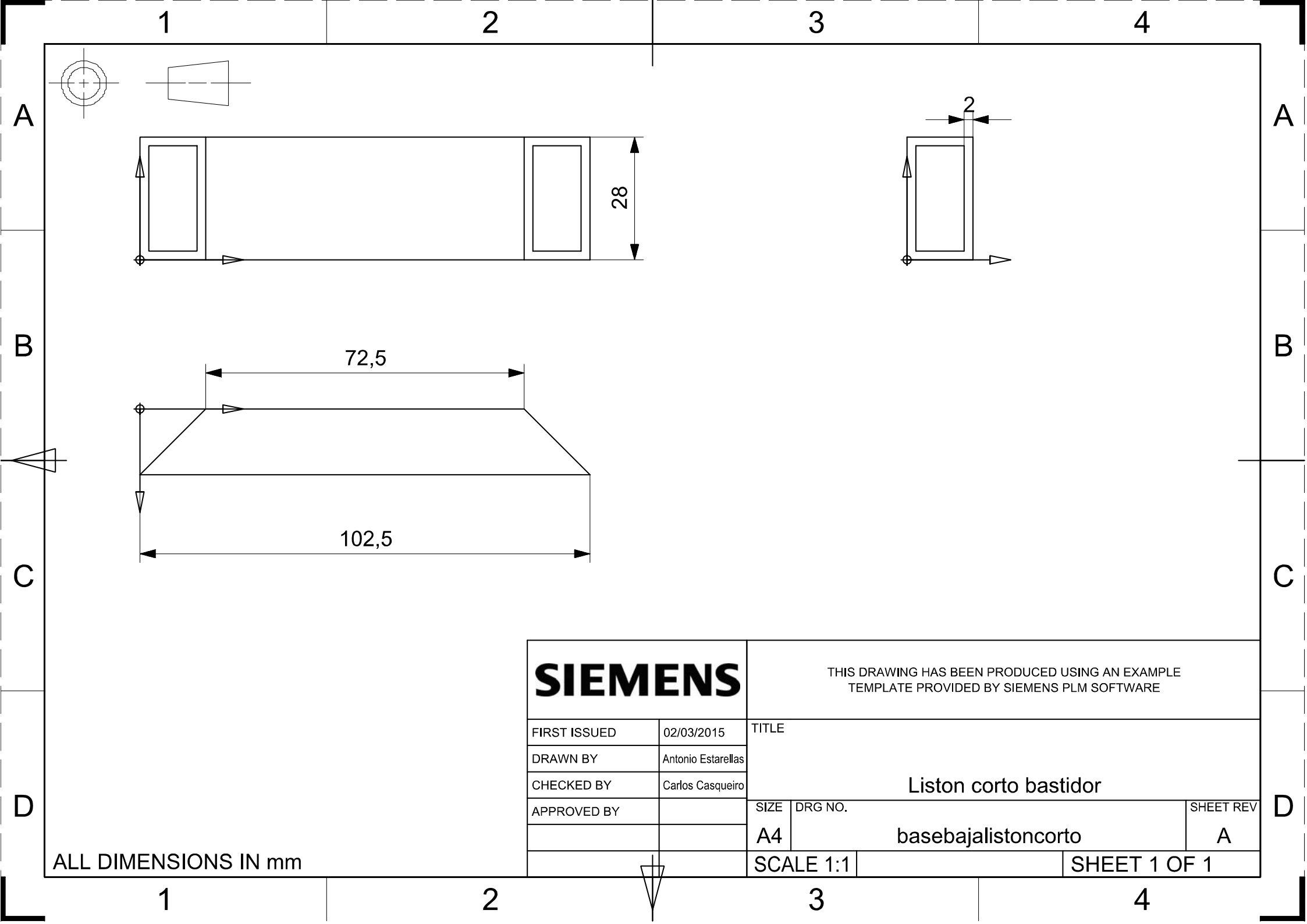
FIRST ISSUED	02/03/2015
DRAWN BY	Antonio Estarellas
CHECKED BY	Carlos Casqueiro
APPROVED BY	

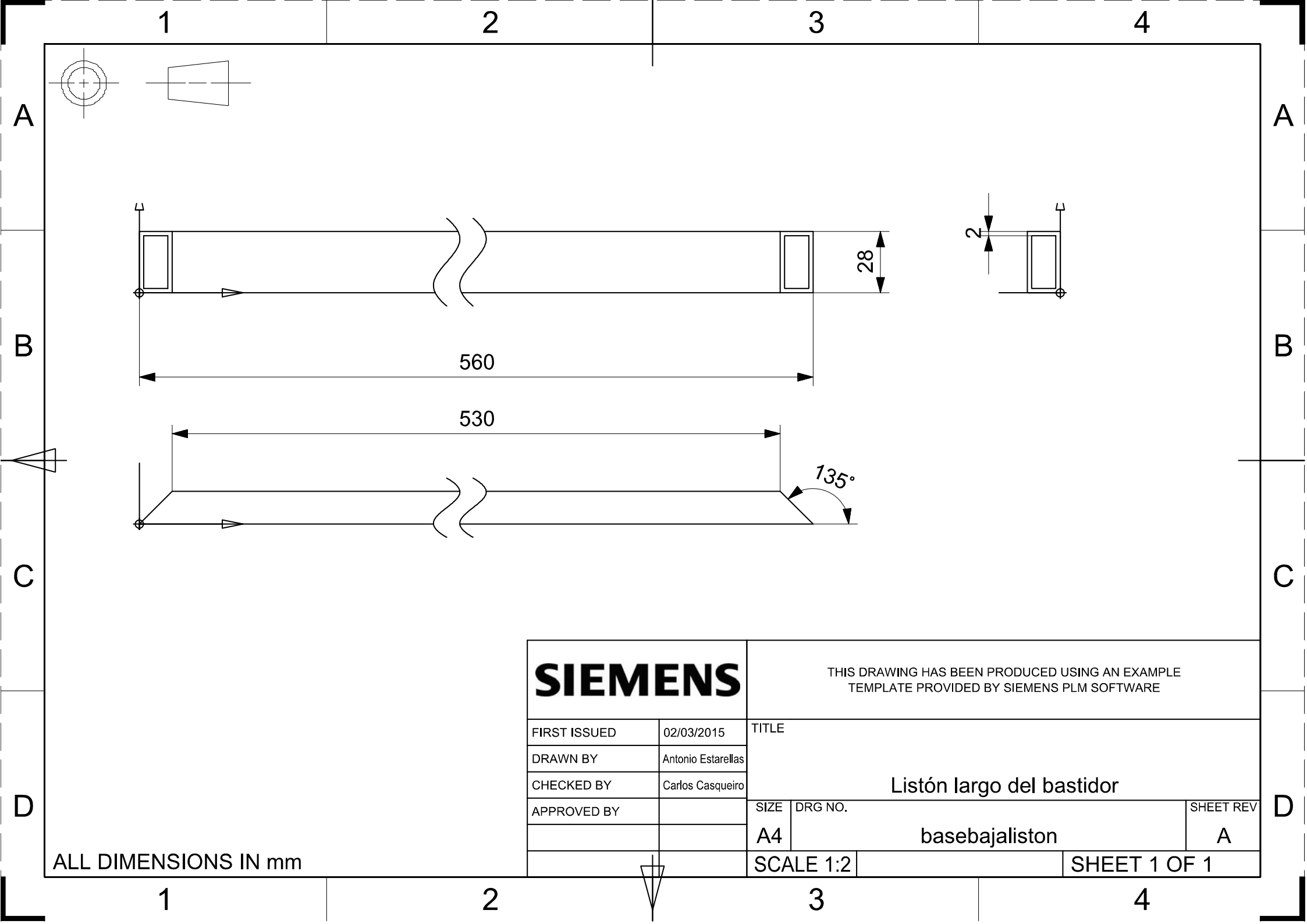
TITLE			
Cojinete corto			
SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
A4	pieza11corta	A	
SCALE 2:1		SHEET 1 OF 1	

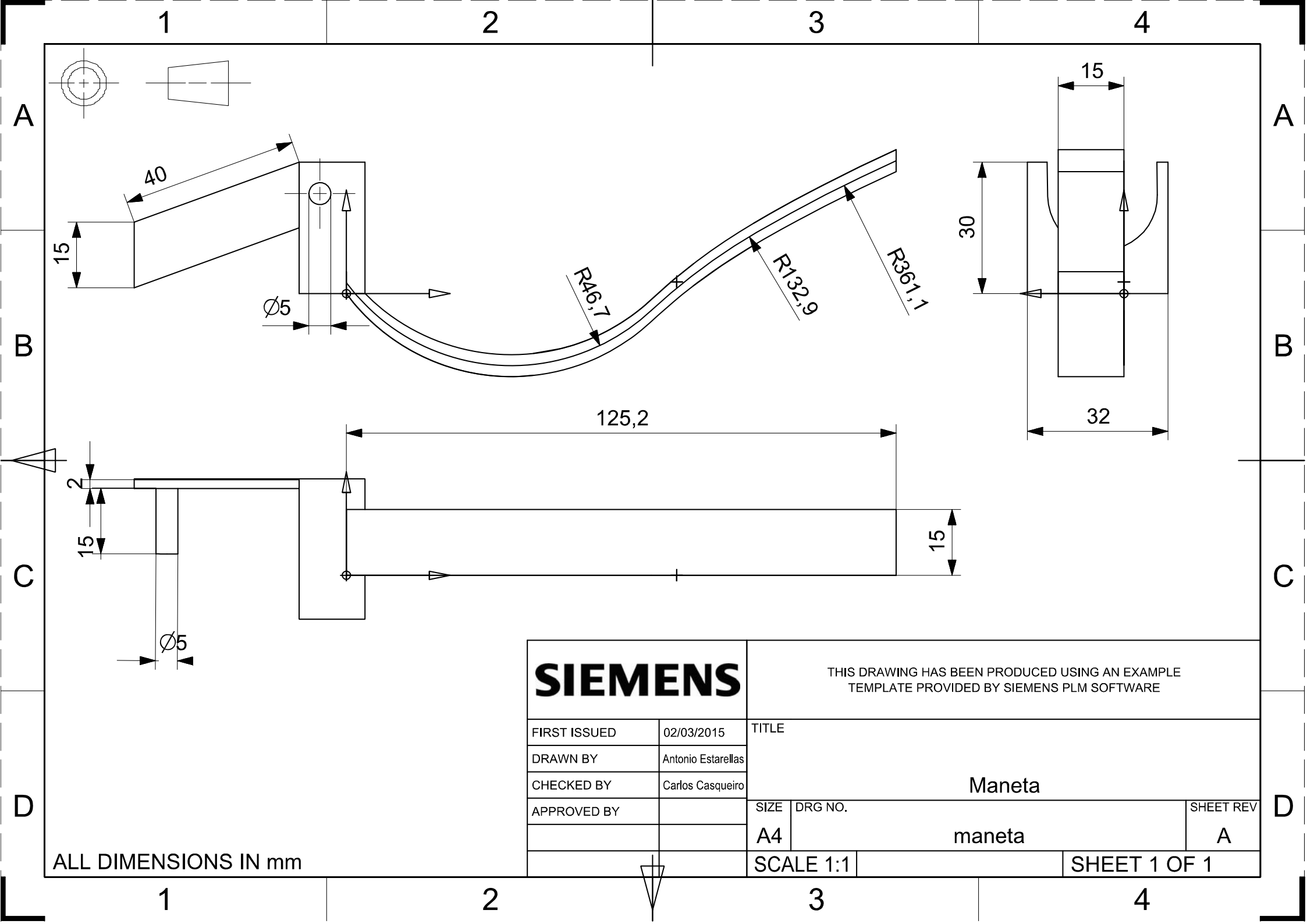


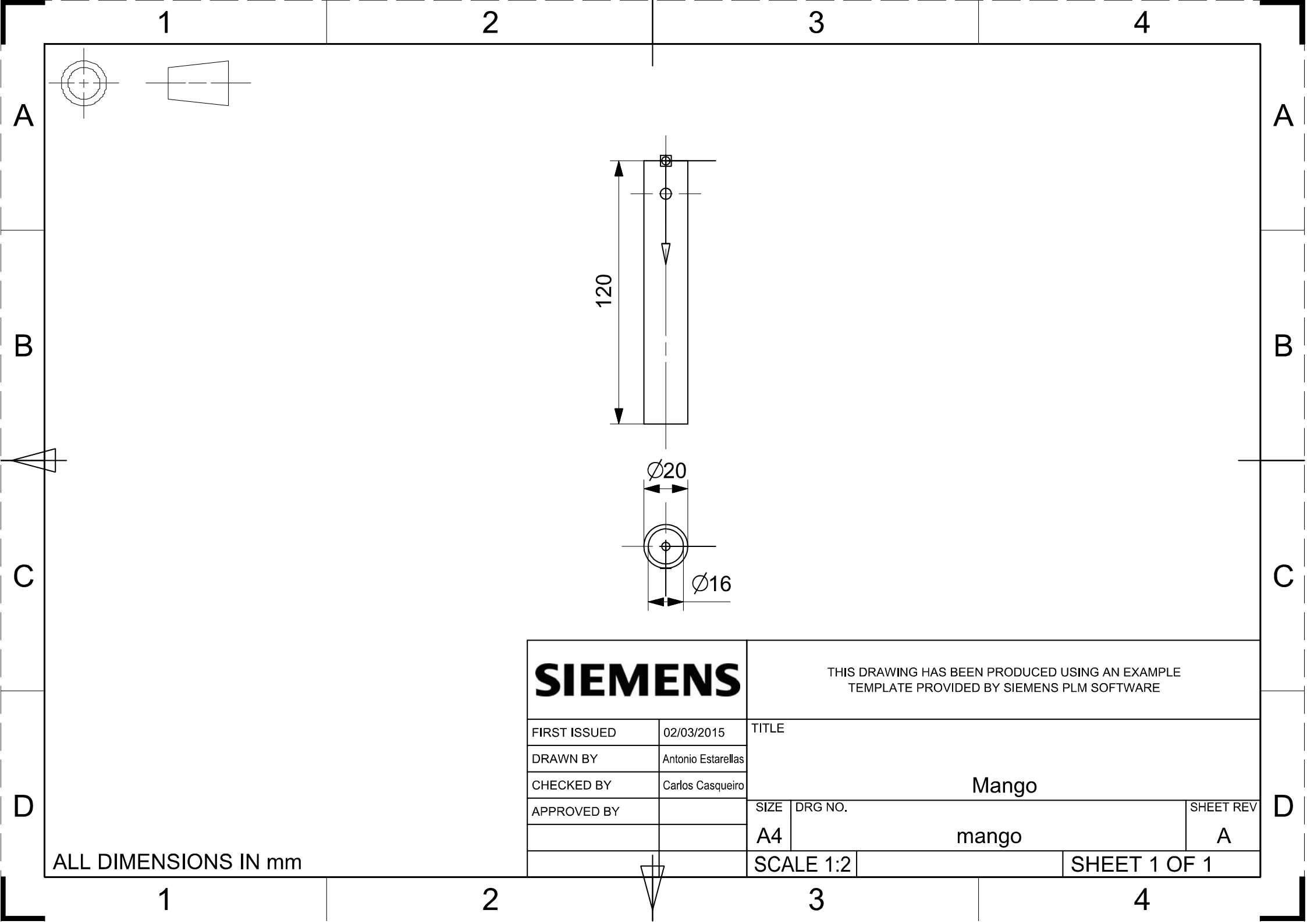


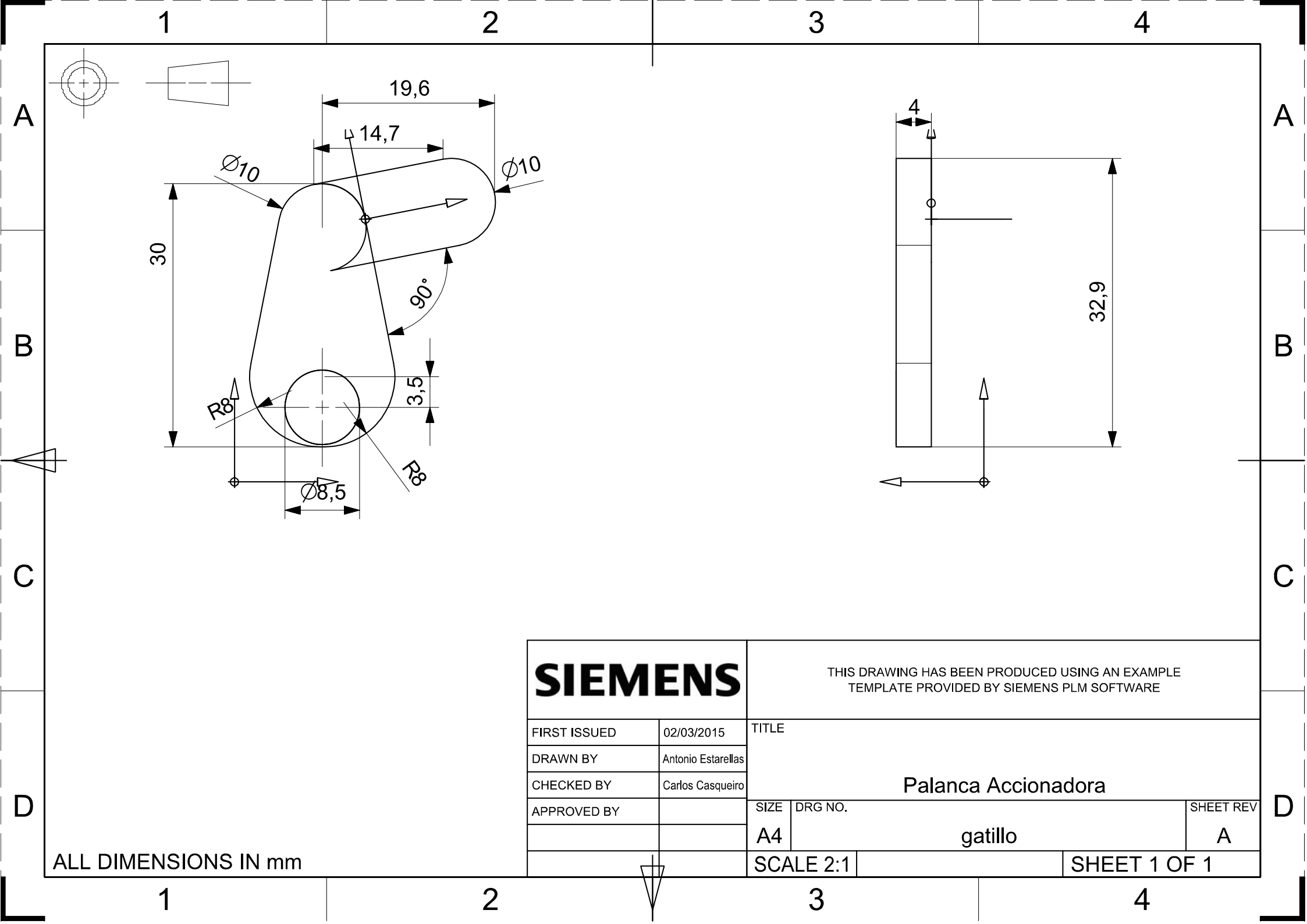


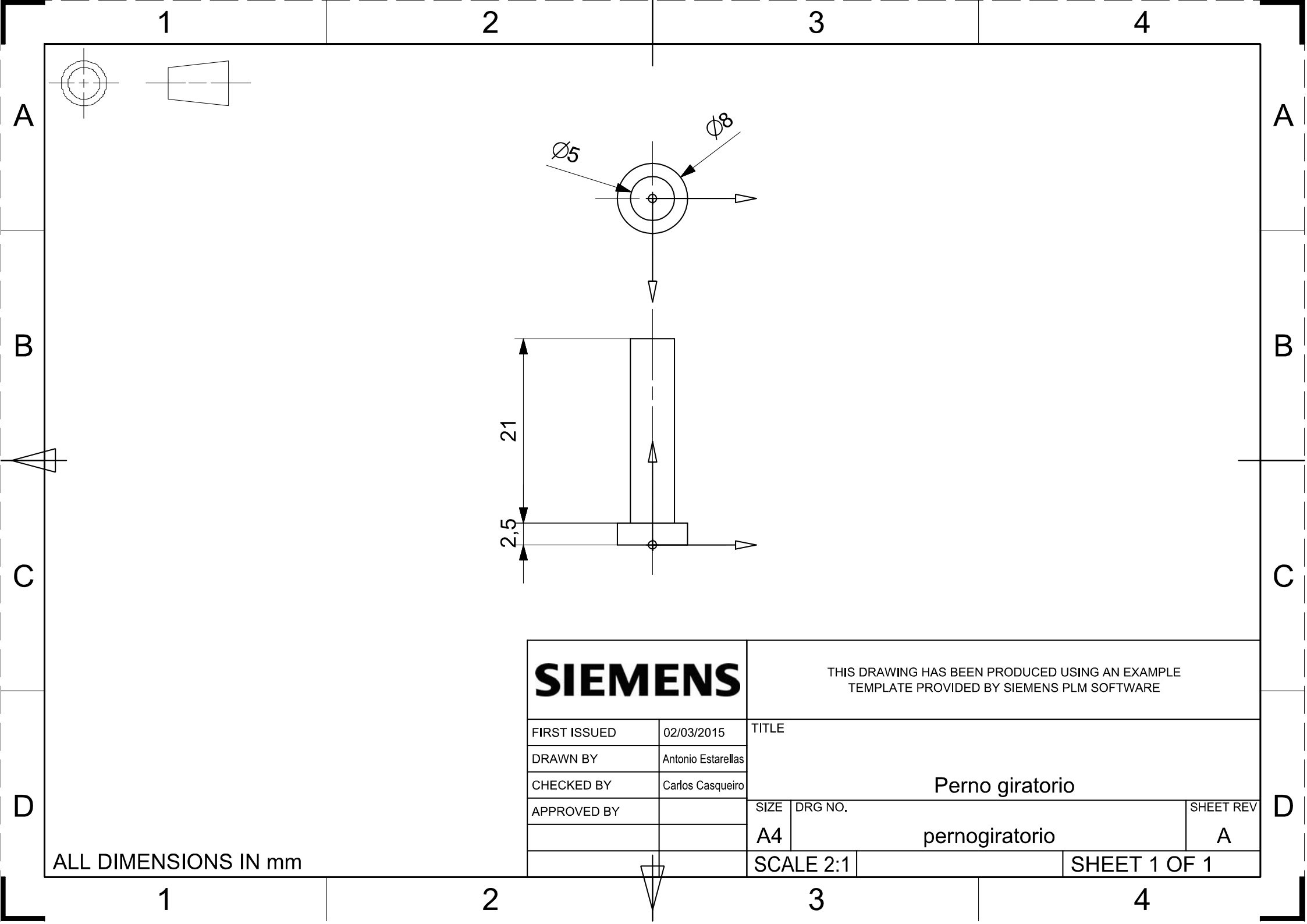


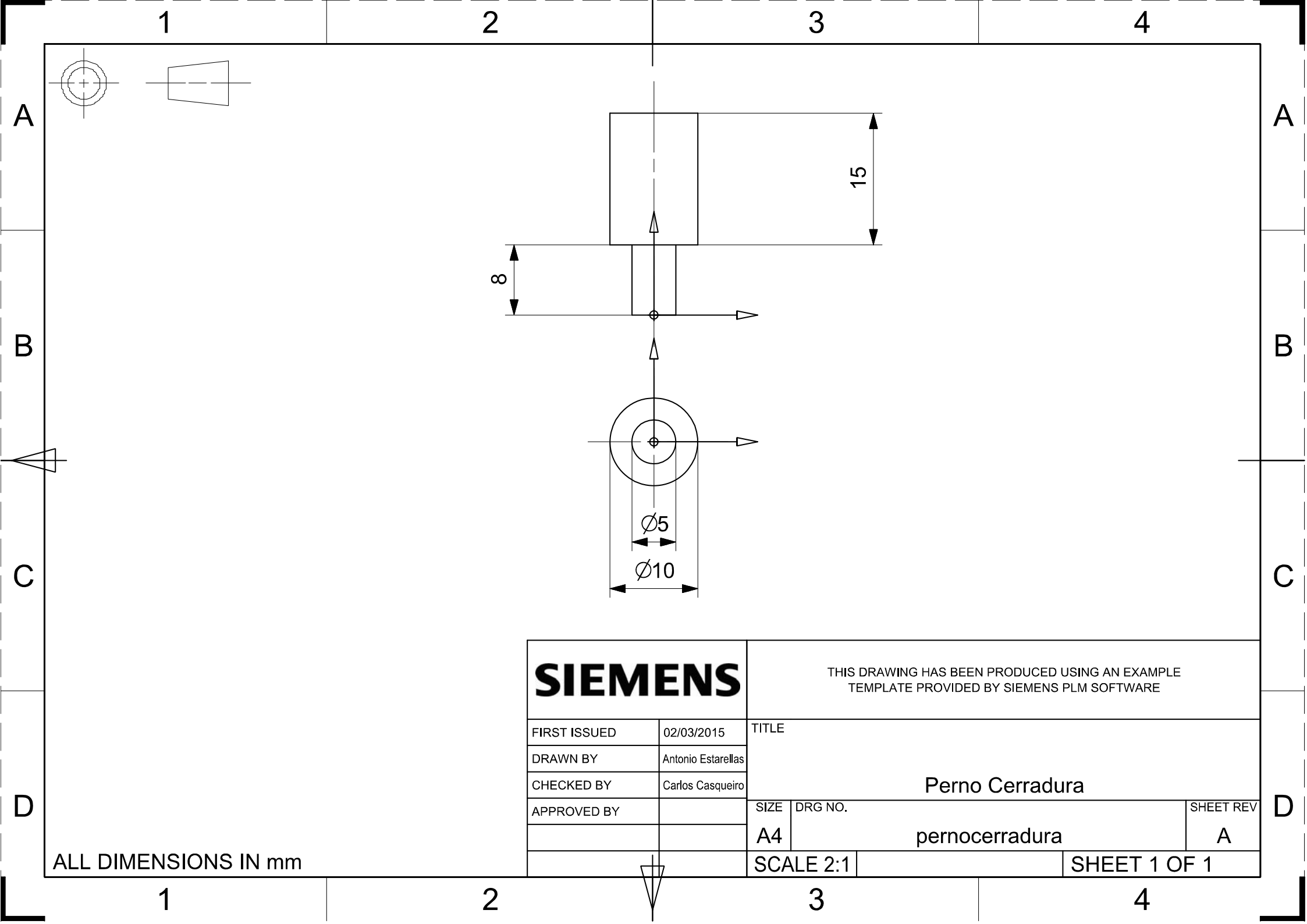












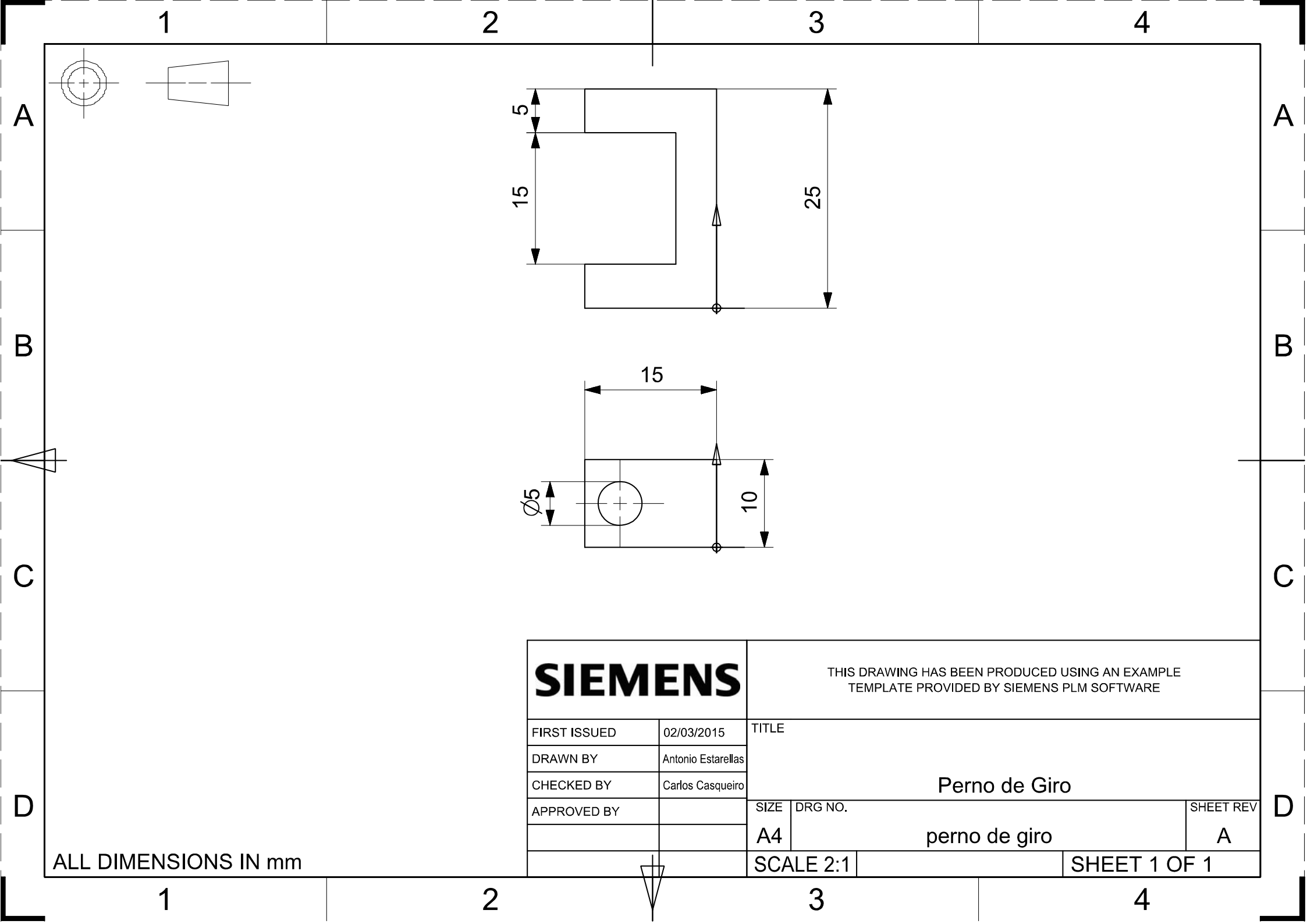
SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

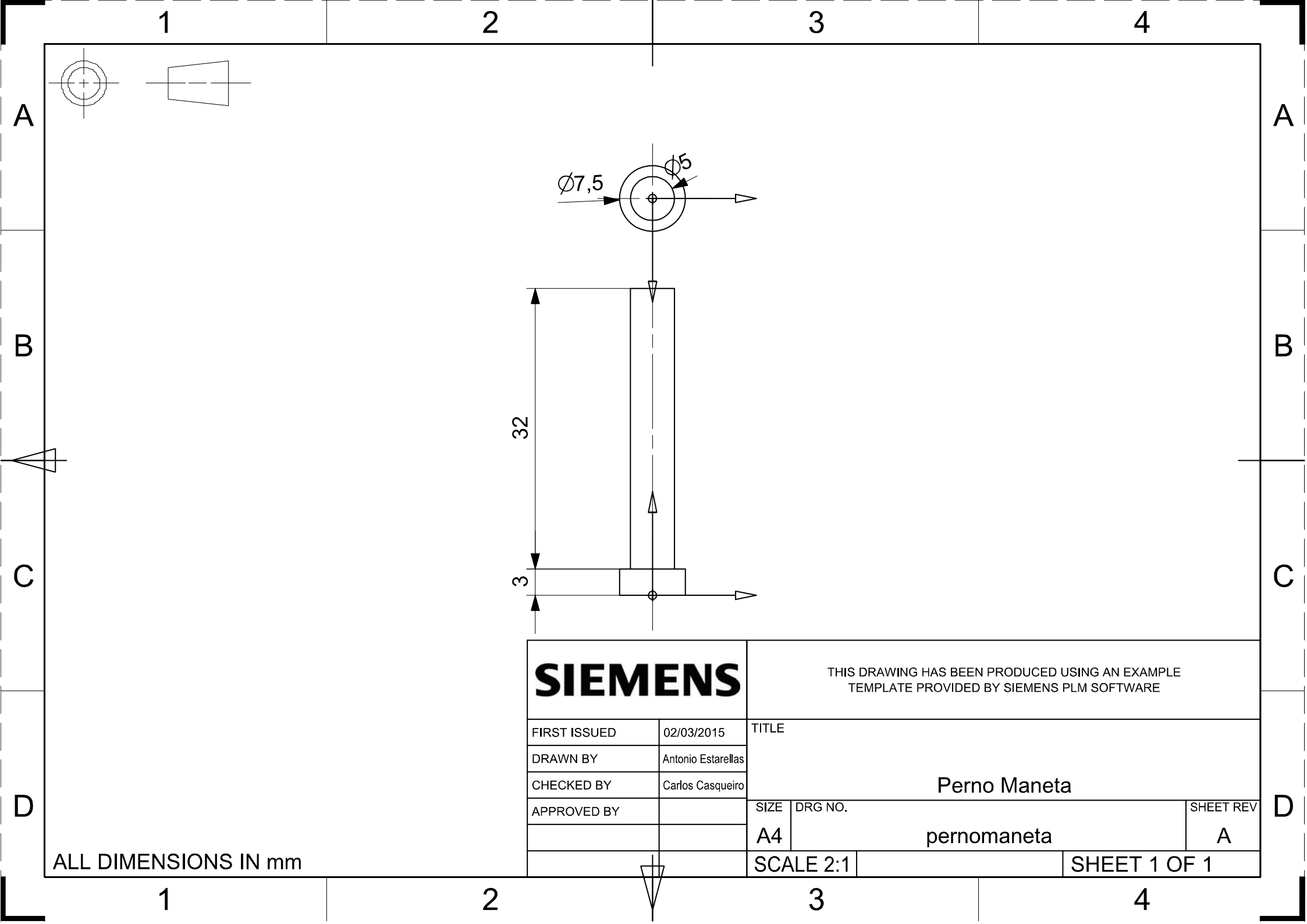
FIRST ISSUED	02/03/2015
DRAWN BY	Antonio Estarellas
CHECKED BY	Carlos Casqueiro
APPROVED BY	

TITLE Perno Cerradura			
SIZE	DRG NO.		SHEET REV
A4	pernocerradura		A
SCALE 2:1		SHEET 1 OF 1	

ALL DIMENSIONS IN mm



ALL DIMENSIONS IN mm



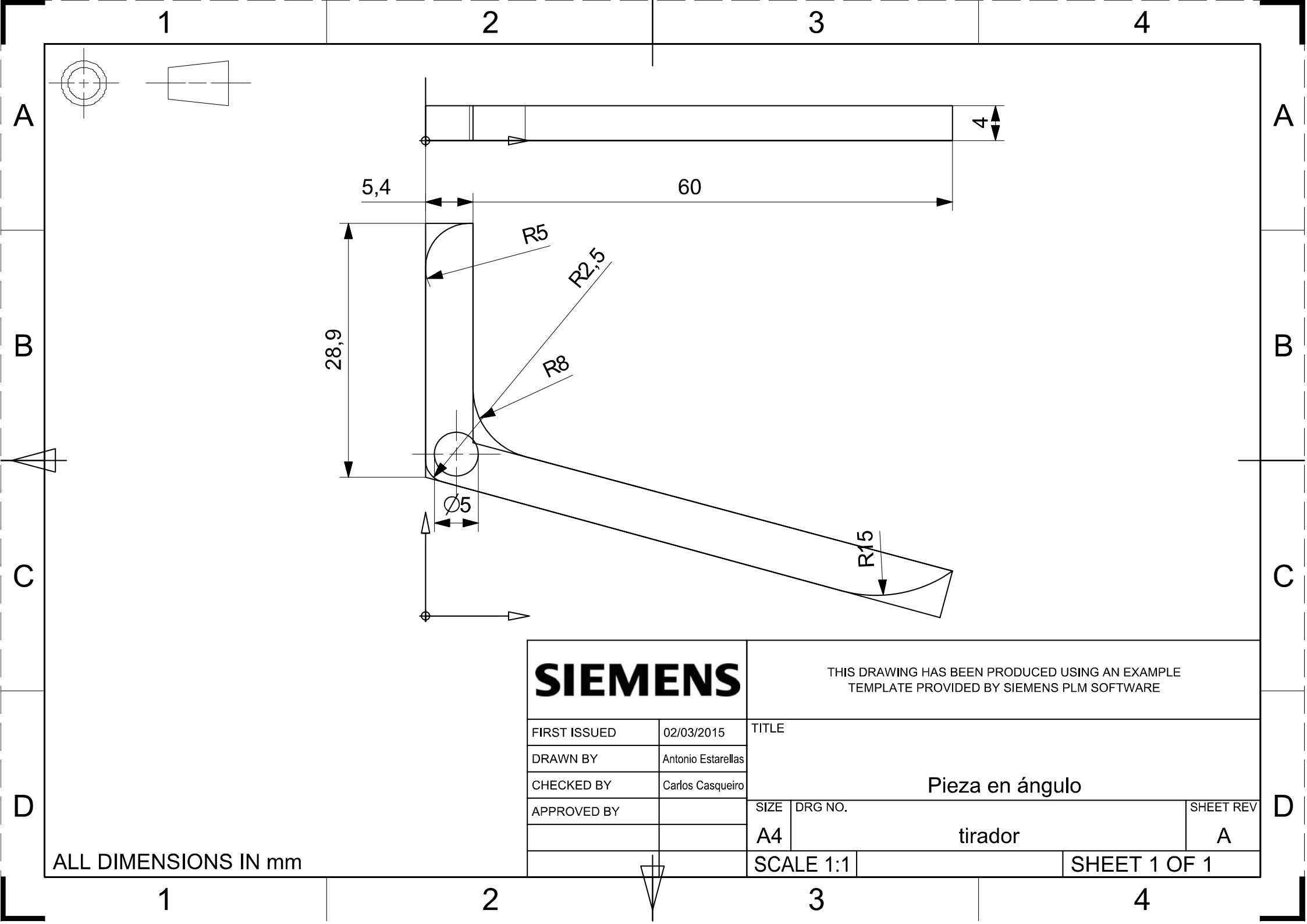
SIEMENS

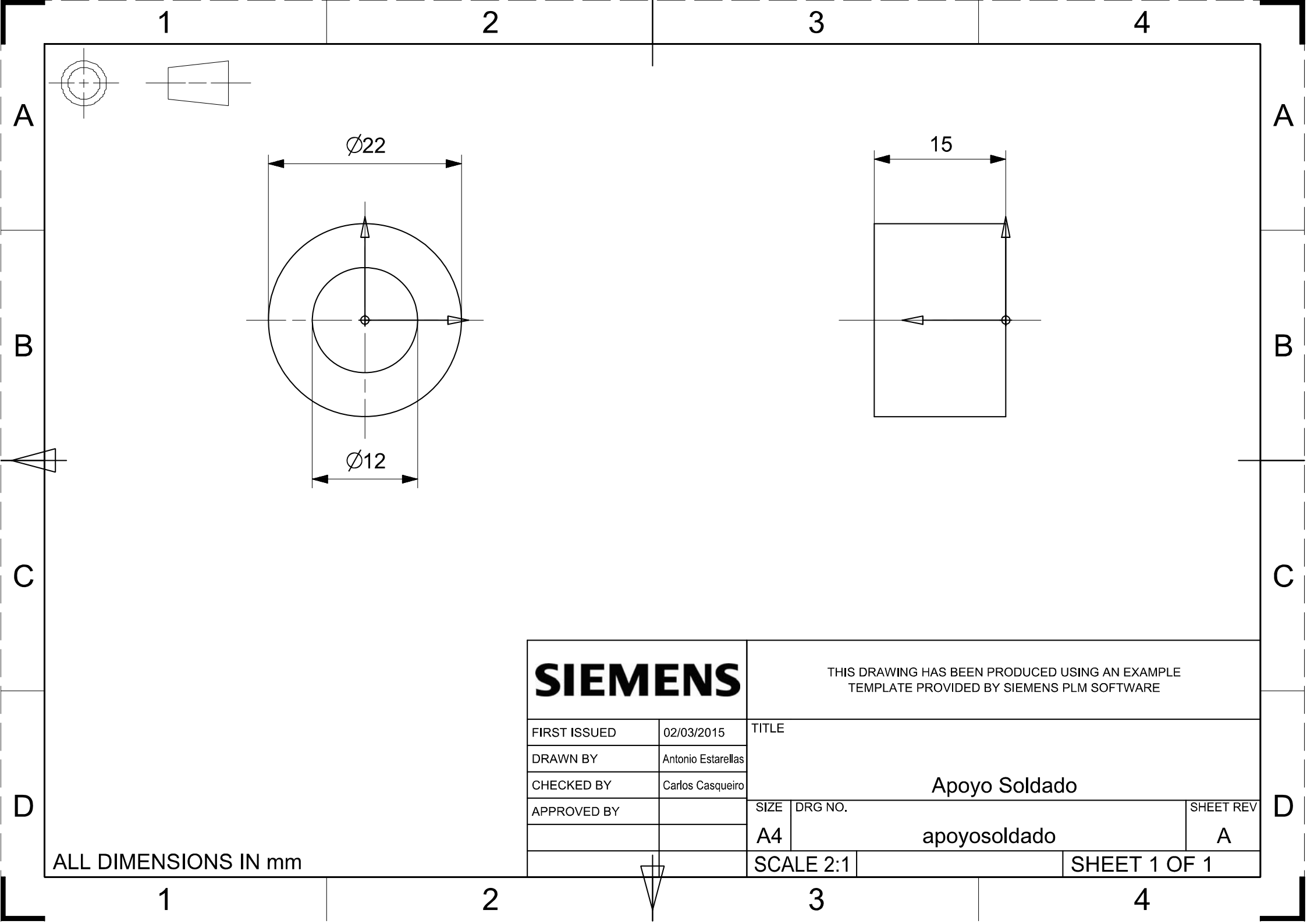
THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

FIRST ISSUED	02/03/2015
DRAWN BY	Antonio Estarellas
CHECKED BY	Carlos Casqueiro
APPROVED BY	

TITLE			
Perno Maneta			
SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
A4	pernomaneta	A	
SCALE 2:1		SHEET 1 OF 1	

ALL DIMENSIONS IN mm





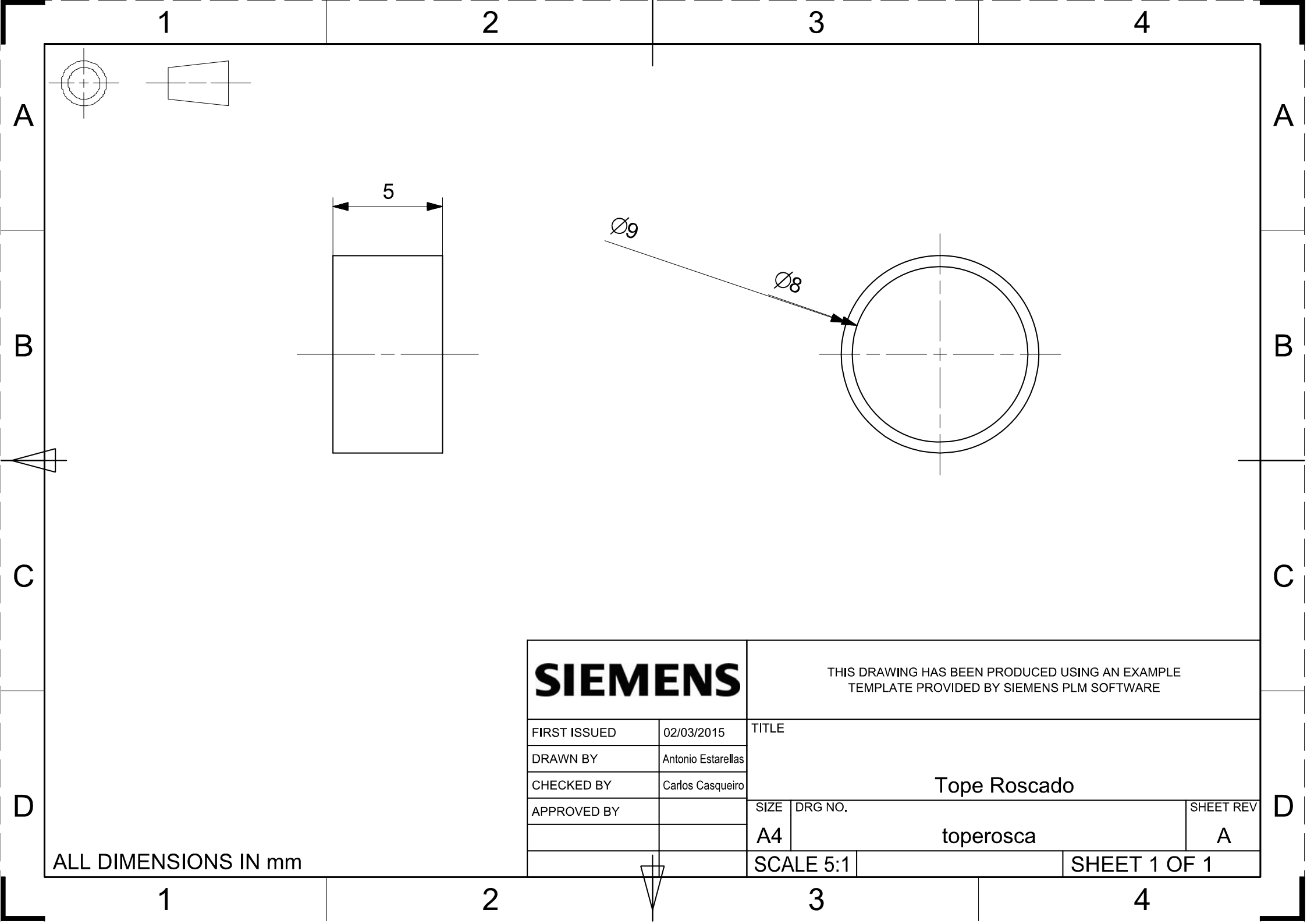
ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

FIRST ISSUED	02/03/2015
DRAWN BY	Antonio Estarellas
CHECKED BY	Carlos Casqueiro
APPROVED BY	

TITLE			
Apoyo Soldado			
SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
A4	apoyosoldado	A	
SCALE 2:1		SHEET 1 OF 1	



ALL DIMENSIONS IN mm

