

Ballari, Agustín

Cavadini, Juan Ignacio

Muleta plegable de material compuesto

**Tesis para la obtención del título de grado de
Ingeniero Mecánico**

Directores: Campasso, Diego Esteban ; Ferrero,
Miguel Angel; Monteoliva, Rafael Agustín

Documento disponible para su consulta y descarga en **Biblioteca Digital - Producción Académica**, repositorio institucional de la **Universidad Católica de Córdoba**, gestionado por el **Sistema de Bibliotecas de la UCC**.



Esta obra está bajo licencia 2.5 de Creative Commons Argentina.

Atribución-No comercial-Sin obras derivadas 2.5

FACULTAD de INGENIERÍA
CARRERA de INGENIERÍA MECÁNICA



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CÓRDOBA

Universidad Jesuita

“MULETA PLEGABLE DE MATERIAL
COMPUESTO”

Presentado por:

BALLARI AGUSTÍN

CAVADINI JUAN IGNACIO

Tutores:

Ing. CAMPASSO DIEGO

Ing. FERRERO MIGUEL ÁNGEL

Ing. MONTEOLIVA RAFAEL

2017



ACEPTACIÓN DEL TRABAJO FINAL

Universidad Católica de Córdoba
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Mecánica

Título: Muleta plegable de material compuesto

Autor/es: Ballari Agustín, Cavadini Juan Ignacio

Calificación:

.....
Firma y Aclaración de Presidente de Mesa Examinadora

.....
Firma y Aclaración de Vocal de Mesa Examinadora

.....
Firma y Aclaración de Vocal de Mesa Examinadora

Córdoba, de de 20....



Agradecimientos:

A nuestras familias y amigos, por ser un pilar fundamental durante esta etapa, no sólo por el apoyo, el afecto y el aliento brindado, sino que también por los valores que nos han inculcado: el trabajo, la dedicación, la perseverancia y el compromiso.

A todos ustedes les dedicamos este trabajo, ya que sin ustedes todo lo alcanzado no hubiera sido posible.



Prólogo:

Este trabajo ha sido elaborado con el propósito de obtener el título de Ingeniero Mecánico y constituye la instancia final de evaluación curricular de la carrera.

Aquí se detallan los pasos seguidos para el diseño y construcción de una muleta axilar plegable de material compuesto. La identificación de un problema para la búsqueda de una solución de ingeniería estuvo alineada con las políticas de Responsabilidad Social de la Universidad Católica de Córdoba: "... *la promoción de la justicia, la solidaridad y la equidad social, mediante la construcción de respuestas exitosas para atender los retos que implica promover el desarrollo humano sustentable*" (AUSJAL, 2009, P. 18).

En esa línea de interés y motivación, entre otros problemas considerados, identificamos las dificultades que presenta para las personas con discapacidad o lesión en sus miembros inferiores el uso de las muletas convencionales. A partir de esta observación, comenzamos una exploración de los artefactos ortopédicos existentes en el mercado y evaluamos sus características y prestaciones. Dicho estudio nos proporcionó importante y amplia información para plantear distintas alternativas de diseño y material que brindaran una solución innovadora para mejorar la maniobrabilidad y el transporte de las muletas para sus usuarios.

En este documento se exponen las etapas del diseño, los diferentes modelos que se consideraron, sus aspectos positivos y negativos, hasta dar con el diseño final del producto. Se presentan también las especificaciones técnicas del diseño y la composición y pruebas de resistencia del material compuesto con el que se construyó el prototipo.

Asimismo, se realiza un análisis socio-ambiental que permite evaluar y determinar tanto la potencial población impactada con la solución propuesta como la factibilidad del producto en términos comerciales.



Índice

Resumen:	7 -
Abstract:	7 -
Descriptores:	8 -
1 Introducción:	9 -
2 Objetivo del proyecto:	11 -
2.1 Problema identificado.....	11 -
2.2 Beneficios de la innovación.....	11 -
2.3 Alcance del proyecto.....	11 -
3 Desarrollo:	12 -
3.1 Estudio socio-ambiental:	12 -
3.2 Requisitos y beneficios del proyecto:	15 -
3.2.1 Ventajas.....	15 -
3.2.2 Requisitos.....	15 -
4 Marco técnico:	16 -
4.1 Historia:	16 -
4.1.1 Muletas axilares	17 -
4.1.2 Muletas de antebrazo	17 -
4.1.3 Muletas cangrejo	18 -
4.2 Definición del problema	19 -
4.3 Diseño de muleta:	20 -
4.4 Vinculaciones de Pliegue:	32 -
4.5 Acople axilar:	39 -
4.6 Conjunto de todas las partes diseñadas:	40 -
4.7 Conjunto final:	41 -
4.8 Material:	44 -
4.8.1 Verificación de resistencia mecánica del material propuesto:	46 -
4.8.2 Cálculo longitud crítica de pandeo:.....	49 -
4.9 Ensayos:	51 -



4.9.1 Fabricación de probetas:.....	- 51 -
4.9.2 Ensayo de Compresión:.....	- 55 -
4.10 Prototipo:.....	- 62 -
4.10.1 Parte Superior e Inferior:	- 62 -
4.10.2 Parte Media:.....	- 62 -
4.10.3 Tiempos de Laminación:	- 63 -
4.11 Diferencias Prototipo vs Producción en Serie:.....	- 64 -
5 Análisis Económico:	- 65 -
5.1 Prototipo:.....	- 65 -
5.1.1 Costos del prototipo:	- 65 -
5.2 Producto en serie:	- 66 -
5.2.1 Inversión para la fabricación en serie:	- 66 -
5.2.2 Capacidad de planta:.....	- 67 -
5.2.3 Costos del producto en serie:	- 69 -
5.3 Criterios de ubicación de planta:	- 74 -
5.4 Zonas de la planta:.....	- 74 -
5.5 Competencia en el mercado:.....	- 77 -
5.6 Conclusión económica:	- 79 -
6 Conclusión final:.....	- 80 -
7 Bibliografía:	- 81 -
8 Anexos:.....	82
8.1 Planos:	82
8.2 Tablas:	97
8.2.1 Características PRFV:.....	97
8.2.2 Características PLA:	99
8.2.3 Características PP:	100
8.3 Experiencia de trabajo con PRFV:	101
9 Abreviaturas:	108



Resumen:

En el presente trabajo se describe el diseño de una muleta axilar plegable y liviana, producto concebido para resolver las dificultades observadas en el uso de las muletas convencionales. Como primera etapa del diseño se realiza un estudio socio-ambiental a través del cual se determina la magnitud, características y necesidades de la población usuaria de este tipo de artefacto ortopédico, para tener en cuenta y definir hacia el mercado que va ir dirigido este producto. A continuación, se describe una serie de bocetos preliminares que sirvieron para evaluar las características técnicas y prestaciones que demandaba el diseño final del producto. De esta manera, se procede a identificar un diseño y un tipo de material compuesto, comprobando que reúnen las mejores características técnicas para satisfacer las necesidades relevadas. Finalmente, se analizan los aspectos económicos para la elaboración de un prototipo de la muleta y para su producción en serie, de los que se extrae la viabilidad del proyecto.

Abstract:

This paper describes the design of a foldable and light axillary crutches, a product designed to solve the difficulties observed in the use of conventional crutches. As a first stage of the design, a socio-environmental study is carried out through which the magnitude, characteristics and needs of the population of this type of orthopedic device are determined, in order to take into account and define towards the market that this product will be directed. Next, a series of preliminary sketches are described that evaluate the technical characteristics and performance that demanded the final design of the product. In this way, we proceed to identify a design and a type of composite material, proving that they meet the best technical characteristics to satisfy the needs relieved. Finally, the economic aspects for the elaboration of a prototype of the crutch and for its production in series, from which the viability of the project is extracted, are analyzed.



Descriptores:

Muleta, Material compuesto, innovación, diseño, pliegues, motora inferior, Inyección plástica.



1 Introducción:

La elección de una temática para realizar este Trabajo Final dirigido a la obtención del título de Ingeniero Mecánico estuvo en sintonía con el compromiso de la UCC de desarrollar soluciones a problemáticas sociales, en el marco del ejercicio de su Responsabilidad Social Universitaria (RSU). Con ese propósito, nos abocamos a la observación e indagación de necesidades para las que podíamos plantear soluciones ingenieriles creativas y accesibles. Este análisis nos permitió identificar las dificultades que presenta el uso de las muletas de antebrazo y las axilares a las personas con alguna discapacidad o lesión en los miembros inferiores. En una primera instancia, los inconvenientes detectados en estos artefactos ortopédicos estuvieron relacionados con su maniobrabilidad y transporte, debido, según al diseño, al peso, al material y la extensión.

En vistas a una mejor y más amplia determinación de las complicaciones funcionales que presentaban las muletas, mediante la técnica de Golden Circle, recurrimos a una consulta a usuarios y ortopedistas, de este modo iniciando el proyecto desde el ¿Por qué realizarlo? obteniendo un panorama de las necesidades de los usuarios. Luego ¿Cómo hacerlo? planteando los pasos a seguir en el proyecto para cumplir con el ¿Por qué?. Y por último ¿Qué? hacer para poder satisfacer las necesidades. La información relevada a través de este instrumento permitió plantear el desarrollo del proyecto desde los requerimientos del usuario final del producto y orientar la definición de las características funcionales de las muletas propuestas en el presente trabajo con el objetivo de crear un diseño innovador y ofrecer a los usuarios un producto funcional y estéticamente cuidado. Surge así la idea de explorar las alternativas mecánicas que permitiesen reducir la extensión del artefacto mediante su plegado, sin perder resistencia ni seguridad.

El diseño de las muletas no ha variado significativamente desde la aparición de las primeras muletas axilares hace más de un siglo, lo único que ha evolucionado es el material. Actualmente, se cuenta tanto con la tecnología necesaria como con materiales muy resistentes y livianos que permiten introducir importantes mejoras en la seguridad y confort de los usuarios.

Se optó por explorar las innovaciones que se podían introducir en el diseño de las muletas de tipo axilar porque se constató que pese a ser las más utilizadas, son las que menos desarrollo presentan en su diseño. Luego de examinar exhaustivamente los antecedentes, se verificó que no existe en el mercado, nacional e internacional, una muleta axilar plegable con las características de la que se propone en el presente trabajo. Si bien la plegabilidad ya se encuentra en uso, está más desarrollada en muletas de antebrazo. Existe una muleta axilar plegable desarrollada por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la



Universidad Nacional de Colombia¹ utilizando materiales convencionales como el aluminio, tornillos y remaches. Sin embargo, el producto que se presenta aquí combina la funcionalidad del plegado con la innovación en el material utilizado en el dispositivo: material compuesto.

Se detallan a continuación los objetivos y alcances del proyecto y en los apartados siguientes, se presenta un análisis social y económico que permite valorar la viabilidad y factibilidad de la solución propuesta. En el análisis mecánico se describen los componentes de la muleta, a los efectos de poner de relieve las características técnicas que aportan funcionalidad al diseño.

¹<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/muletas-plegables-facilitan-movilidad-de->



2 Objetivo del proyecto:

Mejorar la comodidad de transporte de las muletas axilares con un diseño ergonómico, liviano y estético. Para personas de peso máximo de 150 kg.

2.1 Problema identificado: Dificultad para almacenar y transportar las muletas.

2.2 Beneficios de la innovación: Permite ubicar la muleta en lugares reducidos, haciendo de esta forma que la muleta no sea un estorbo y protegerla de posibles golpes.

2.3 Alcance del proyecto: El trabajo final tiene como objetivo que los alumnos apliquen lo aprendido en la carrera con lo que este proyecto comprende el análisis mecánico, económico y social del diseño propuesto; y la fabricación de una muleta prototipo.



3 Desarrollo:

3.1 Estudio socio-ambiental:

Las muletas son utilizadas en personas con lesiones o con discapacidad en los miembros inferiores. Discapacidad es un término general que abarca las deficiencias, limitaciones de la actividad y restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales.

Por consiguiente, la discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive. Según la Organización mundial de la salud *“Más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad; de ellas, casi 200 millones experimentan dificultades considerables en su funcionamiento. En todo el mundo, las personas con discapacidad tienen peores resultados sanitarios, peores resultados académicos, una menor participación económica y unas tasas de pobreza más altas que las personas sin discapacidad. En parte, ello es consecuencia de los obstáculos que entorpecen el acceso de las personas con discapacidad a servicios que muchos de nosotros consideramos obvios, en particular la salud, la educación, el empleo, el transporte, o la información. Esas dificultades se exacerban en las comunidades menos favorecidas”*. Observando esto y teniendo en cuenta que el programa de trabajo final de la UCC está enfocado en lo que se llama RSU es que se ve necesario el proyecto de muletas plegables.

Se investigó sobre la cantidad aproximada de personas con discapacidad y/o lesiones en los miembros inferiores, para esto el proyecto se apoyó en las estadísticas de la población argentina, acerca de las personas que con dificultad o limitación permanente y específicamente en este caso con dificultades motrices inferiores, realizada en el censo 2010 llevado a cabo por el INDEC². Obteniendo así que el 12,9 % de la población presenta algún tipo de dificultad o limitación, lo que representa a 5.114.190 personas. Este porcentaje se atribuye a las limitaciones tanto auditivas, visuales, cognitivas, motoras superior y motoras inferiores. Esta última (inferior) se refiere a personas con anomalías congénitas y/o adquiridas, óseas, articulares, amputaciones en piernas y/o rodillas, tobillos o pies, con dificultad permanente de movilidad y representa el 20% de las limitaciones, como se presenta en la figura 1

²Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

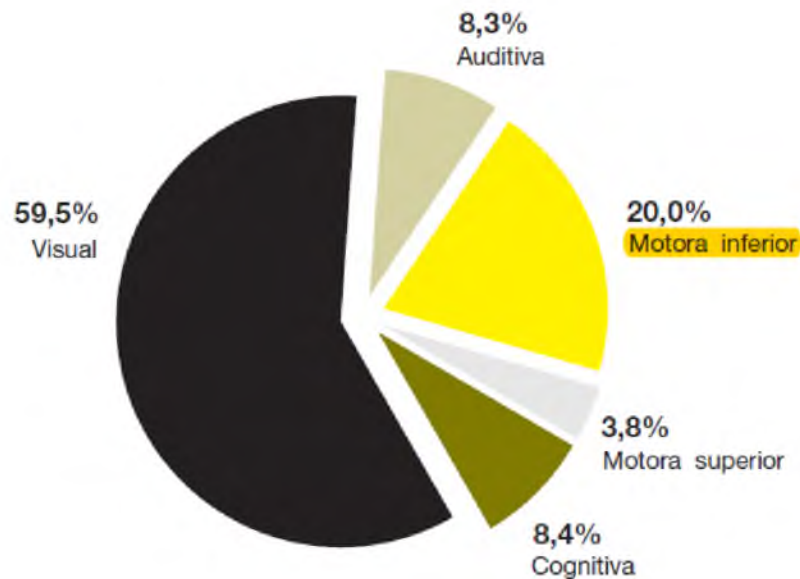


Fig. 1 (20,0% de personas con limitaciones motora inferior)

Las políticas de los últimos años hacen hincapié en la inclusión de las personas con algún tipo de discapacidad, las muletas son una forma de igualar las condiciones de vida a estas personas que poseen dificultades de movilidad. Se sabe que las personas con capacidades especiales sufren de marginación al ser considerados como una carga o personas no productiva dentro de la sociedad como así también en el ámbito familiar, lo cual afecta su autoestima. Hoy en día se busca constantemente un mayor confort para las personas con discapacidad en la implementación de espacios y medios dentro de la sociedad para su fácil integración, éstos no cumplen los requisitos necesarios para facilitar su libre acceso dentro de transportes, edificios, escuelas o dentro de sus propias casa, dado a que pueden encontrarse las herramientas pero no son utilizadas.

Este proyecto se enfoca en la necesidad de innovar en un diseño que le brinde al usuario la comodidad de poder plegar su muleta a la hora de entrar en un vehículo o acomodarla en su lugar de trabajo y así poder mejorar la calidad de vida del usuario, ayudando a su mejor integración en la sociedad como un mayor bienestar a la hora de relacionarse con otras personas. En complemento a esto se optó por un material liviano, resistente y que pueda proporcionar un uso seguro para el paciente.

Sin dejar fuera de foco que las personas con discapacidades en algunos casos no tienen la misma participación económica que las demás, se presenta un producto accesible con las innovaciones implementadas. Sabiendo que la calidad está relacionada con el nivel o eficacia de las prestaciones que el producto es capaz de ofrecer, es decir, en qué medida es



capaz de realizar satisfactoriamente la función básica con respecto a los otros productos o marcas.

Los consumidores utilizan, como indicios para evaluar la calidad:

- Atributos específicos o formales: Color, forma, tamaño.
- Atributos añadidos (muy importantes para marcar la diferencia con los demás): precio, marca, publicidad.

Algunos de los criterios técnicos (calidad real, que se puede medir desde un punto de vista técnico) acerca del producto son los siguientes:

- Posición de las funciones
- Rendimiento
- Grado de acercamiento
- Duración
- Fiabilidad
- Reparabilidad
- Estilo

Suele decirse que existe una relación calidad-precio. Si bien esta relación es de doble sentido donde la calidad del producto influye en la formación de expectativas acerca del precio del mismo, pero a la vez, el precio es utilizado como un indicador en la formación de la percepción de la calidad del producto. Una mejora en la calidad del producto puede modificar el precio y el consumidor estará dispuesto a pagar un mayor valor o menor si fuera el caso.

Con esto se pretende decir que la principal idea de este trabajo es innovar un producto existente en el mercado, realizando una investigación para poder llevar a cabo la innovación y buscando obtener un balance justo entre beneficio/precio.



3.2 Requisitos y beneficios del proyecto:

La muleta plegable de material compuesto le dará al paciente un confort en el uso corriente, permitiéndole a estos moverse como una persona sin problemas de motricidad ya sea durante el uso de la muleta como en el momento de guardarla gracias a la posibilidad de plegarse.

3.2.1 Ventajas:

- Liviana
- Resistente
- Plegable
- Larga durabilidad
- Atractiva
- Apta para rayos x

3.2.2 Requisitos:

- La muleta plegable no debe perder su funcionalidad, por lo que los pliegues deben ser seguros, confiables y rápidos.
- Brindar seguridad al usuario.
- Confort en la posición de uso y que se encuentre dentro de los parámetros ergonómicos
- Bajo costo de adquisición, competitivo y accesible.

4 Marco técnico:

4.1 Historia:

La muleta es un apoyo para el cuerpo humano diseñado con el propósito de asistir al caminar cuando una de las extremidades inferiores requiere soporte adicional durante el desplazamiento, comúnmente cuando el ser humano sufre algún tipo de incapacidad para caminar con alguna de estas. No existe una fecha exacta de su invención, se cree que las muletas datan de la edad de piedra, estas estaban hechas de palos y pieles de animales.

Los cuerpos momificados, pinturas murales y los jeroglíficos, nos han mostrado que los antiguos egipcios sufrían las mismas afecciones que padecemos hoy en día. Se han hallado férulas en momias fabricadas con bambú, caña, madera o cortezas de árboles, almohadilladas con lienzo. Asimismo existen pruebas del uso de muletas, siendo el testimonio más antiguo del uso de una muleta un grabado realizado en el año 2.830 antes de Cristo en la entrada de la tumba de Hirkouf. Luego de eso, en 1917, Emile Schlick patentó la primera muleta producida comercialmente, el diseño consistía en un bastón con el apoyo del brazo superior (Figura 2)

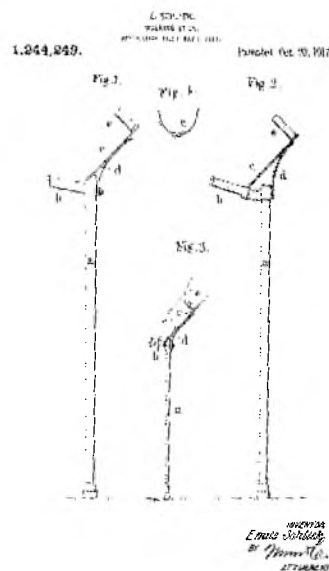


Fig. 2 (Boceto Primer diseño de muleta)

En 1945 Lofstrand, Jr. desarrolló las primeras muletas con una característica ajustable en altura que hace que las muletas sean personalizables.

A lo largo del tiempo, el diseño de las muletas no ha cambiado tanto el diseño clásico, existen distintos tipos de muletas como se muestra a continuación:

4.1.1 Muletas axilares:



Fig. 3

4.1.2 Muletas de antebrazo:



Fig. 4



4.1.3 Muletas cangrejo:



Fig. 5



4.2 Definición del problema

Para establecer el tema a investigar, se debe partir de una necesidad que esté presente actualmente, y de esa forma poder satisfacerla. Para esto se buscó una lista de necesidades y se evaluó su factible investigación y posterior viabilidad para su fabricación y producción.

Se optó por una muleta plegable de material compuesto, realizando una innovación desde el punto de vista del diseño, aportando la plegabilidad para el traslado o guardado. Utilizando un material compuesto ya que tiene múltiples aplicaciones debido a sus excelentes características y fabricando las partes adicionales de las muletas con plástico inyectado con el fin de no utilizar materiales metálicos para poder ser empleada durante una sesión de rayos X.

Se aclara que para realizar el prototipo, las partes adicionales a los caños estructurales de material compuesto, se fabricaran en impresión 3D, solamente para poder mostrar el diseño y su funcionabilidad, no así en el producto fabricado en serie que en el capítulo 4.11 se explica la diferencia de materiales y procesos de fabricación con respecto al prototipo.

4.3 Diseño de muleta:

La forma optada para la fabricación de los tubos de la muleta es circular por varios motivos. El primero y principal es que el producto va a estar expuesto a una carga de compresión y por lo tanto está expuesto a pandeo. El pandeo se produce en la dirección en que la sección del elemento comprimido es más pequeña, si la sección es rectangular (Fig. 6A) tiene mucha facilidad para pandearse en dos direcciones, en cambio en la sección circular (Fig. 6B) puede pandearse en cualquier dirección, sin predominio de ninguna, siendo así la forma más efectiva para prevenir esta deformación. Por otro lado esta forma se adapta mejor para el agarre y manipulación producto.

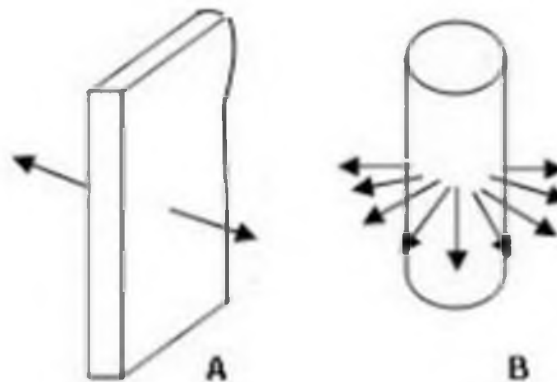


Fig. 6

Se utilizó el método del BrainStorming³, para poder cumplir con las necesidades observadas lo que primero se hizo fue una “lluvia” de ideas teniendo en foco las características que los usuarios manifestaron.

Este BrainStorming empezó en primer lugar por definir el diseño de muleta, lo que arrojó todo tipo de muletas. Estos diseños son los que a lo largo de la investigación fueron surgiendo como ideas a implementar, algunos descartados por su estética, otros por su dificultad de pliegue, algunos por la imposibilidad de fabricación y otros por no cumplir con la funcionalidad de la muleta. Con dicho método surgieron los siguientes diseños:

³ https://es.wikipedia.org/wiki/Lluvia_de_ideas

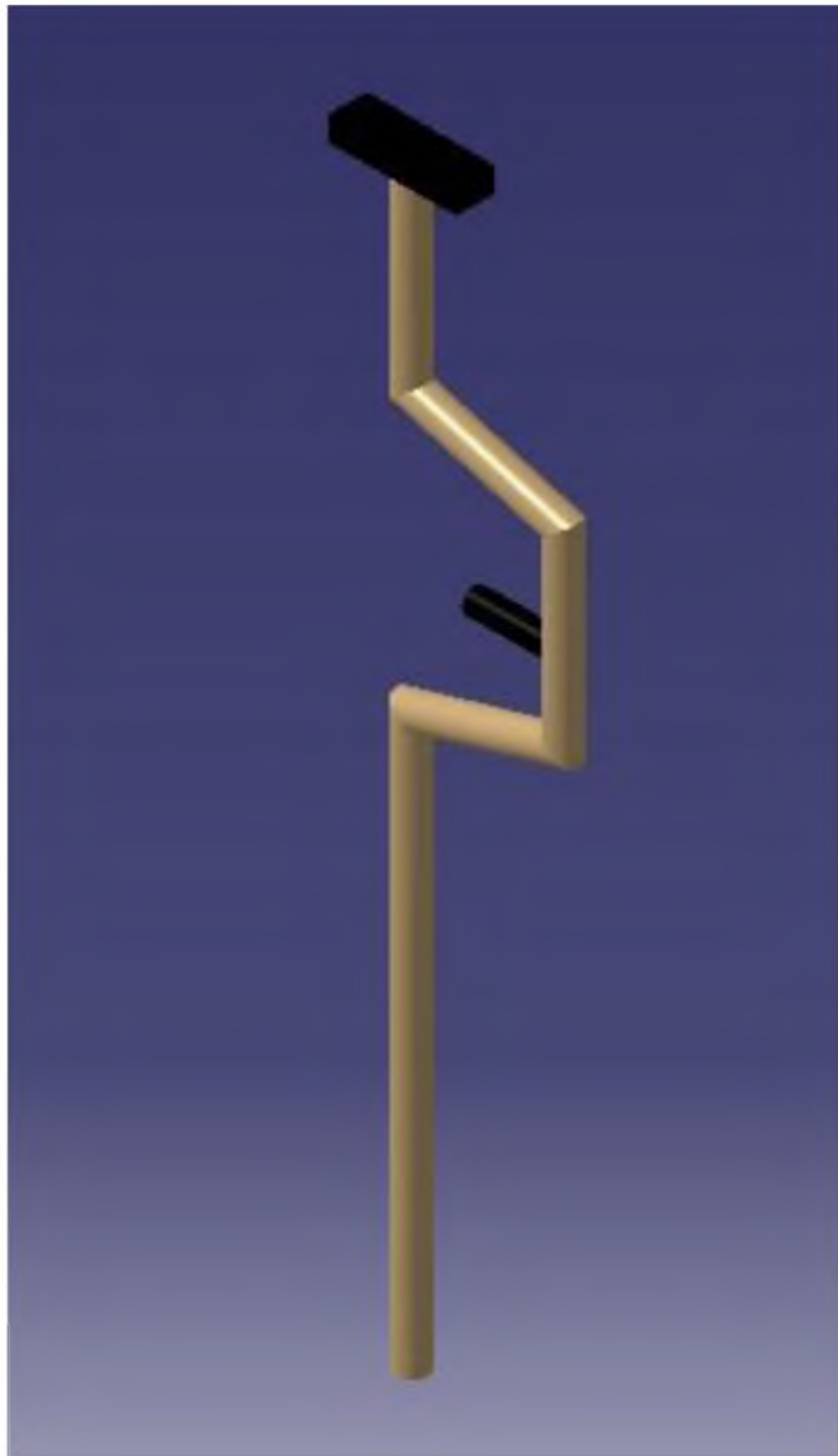


Fig. 7 Diseño 1



Fig. 8 Diseño 2

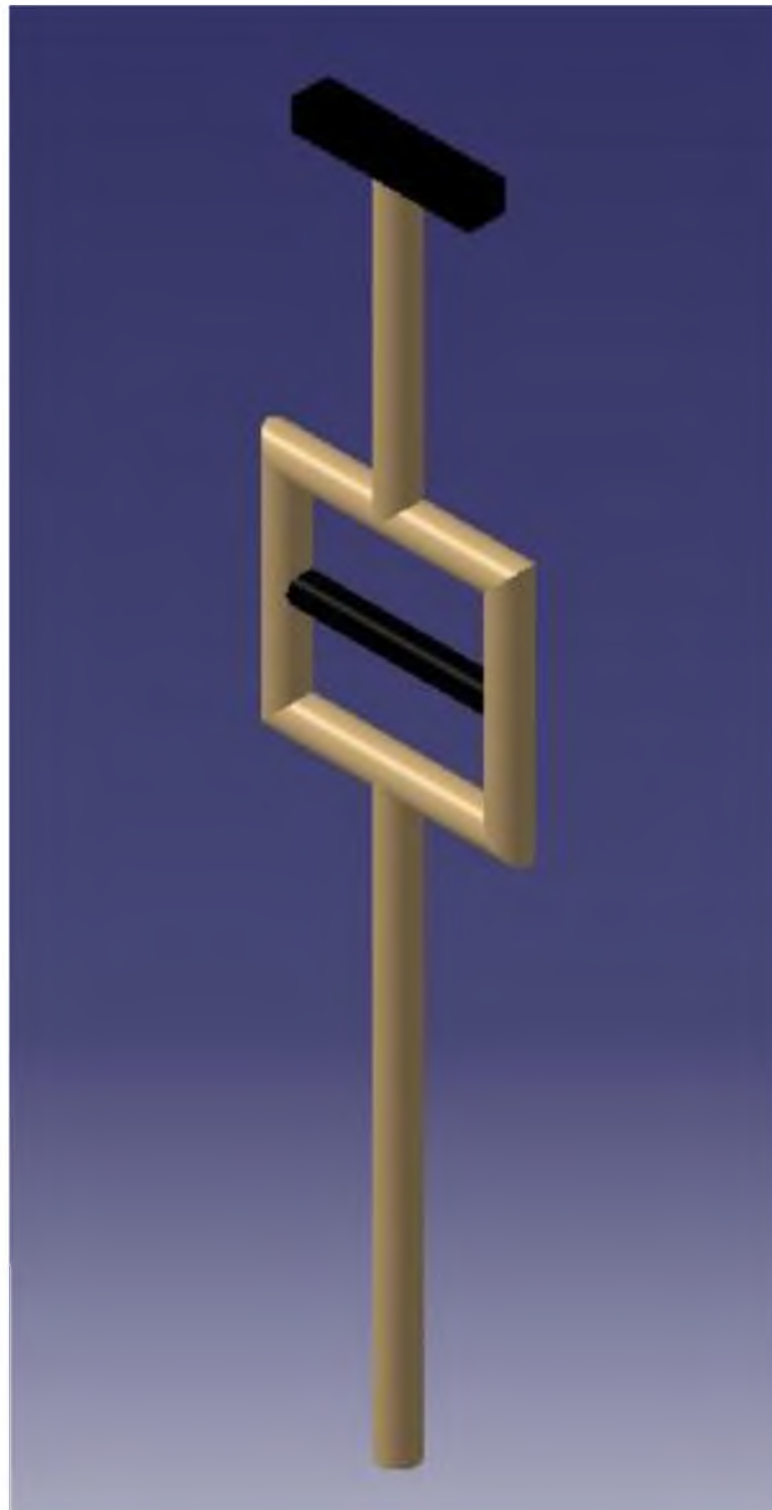


Fig. 9 Diseño 3



Fig. 10 Diseño 4

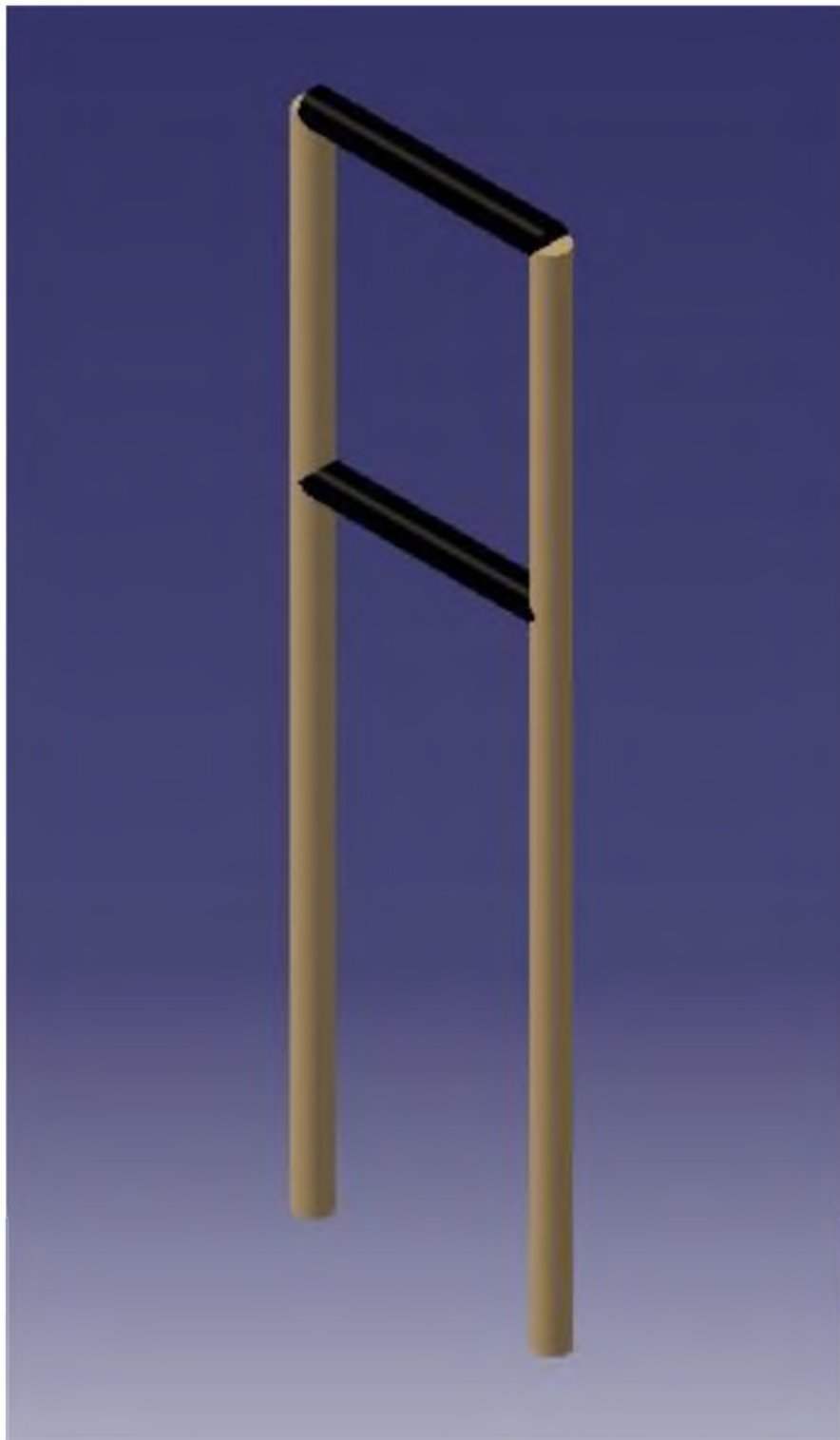


Fig. 11 Diseño 5

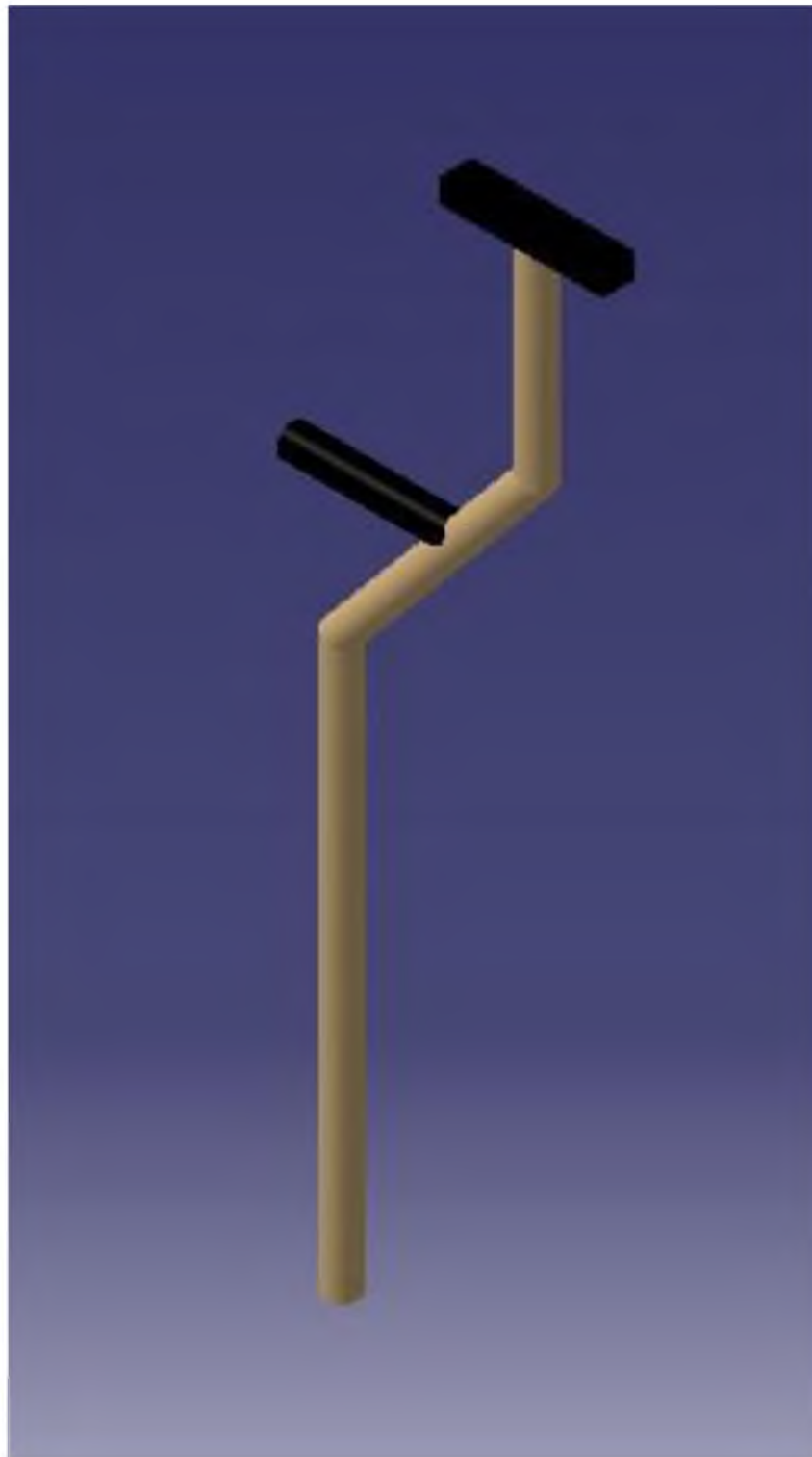


Fig. 12 Diseño 6



Fig. 13 Diseño 7

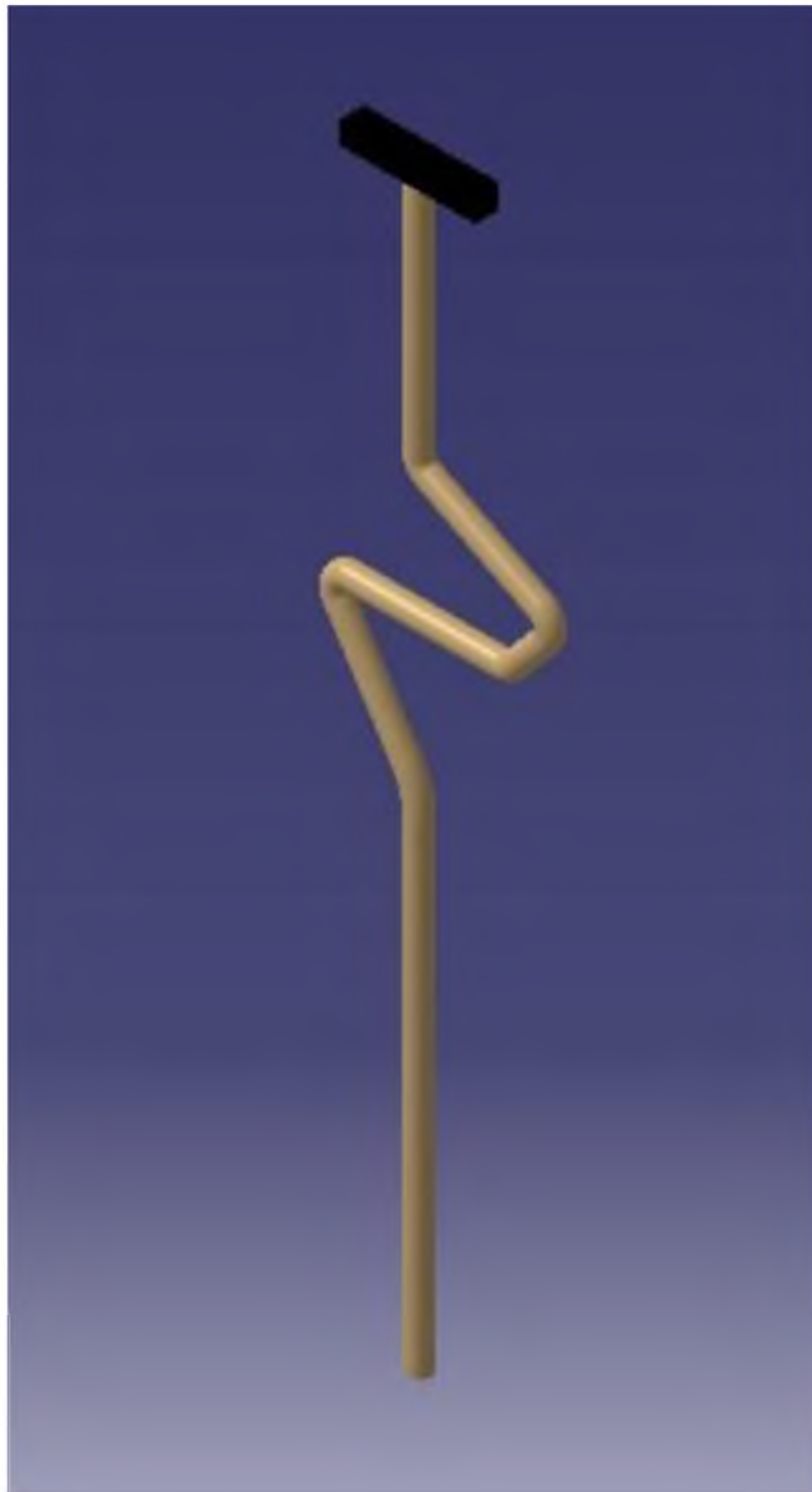


Fig. 14 Diseño 8



Para la toma de decisiones sobre el diseño a seleccionar se empleó una matriz de decisiones, puntuando cada característica con un valor de 1(muy bajo), 2(bajo), 3(regular), 4(alto), 5 (muy alto) como se muestra en la tabla 1:

DISEÑO	ESTÉTICA	CONFIABILIDAD	FABRICACION	PLIEGUE	TOTAL
1	3	2	3	4	12
2	2	4	2	1	9
3	2	4	2	4	12
4	4	4	2	5	15
5	1	4	5	3	13
6	4	2	3	5	14
7	1	4	2	1	8
8	5	5	4	5	19

Tabla 1

Los valores exhibidos en la matriz de decisiones se seleccionaron con un criterio basado en la experiencia de fabricación, y la previa investigación.

- Diseño 1:
Estética: Innovadora y simple.
Confiabilidad: La empuñadura empotrada no brinda máxima seguridad.
Fabricación: Zona superior e inferior fáciles de fabricar, zona media complicada por los ángulos y la necesidad del empotramiento para la empuñadura.
Pliegue: Necesidad de sólo dos bisagras, por lo tanto es simple y se logra un plegado homogéneo.
- Diseño 2:
Estética: Simple y poco innovadora.
Confiabilidad: Diseño similar a las muletas convencionales, por lo que aporta seguridad.
Fabricación: Complicación en la unión de la zona inferior.
Pliegue: Necesidad de tres bisagras generando mayor tiempo de plegado.
- Diseño 3:
Estética: Mala. Se nota tosca y pesada.
Confiabilidad: Buena, se nota resistente y esto aporta seguridad.
Fabricación: Zona media complicada por la bifurcación que presenta.
Pliegue: Necesidad de sólo dos bisagras, por lo tanto es simple y se logra un plegado homogéneo.



- **Diseño 4:**
Estética: Innovadora y simple
Confiabilidad: Buena porque la empuñadura forma parte de la misma muleta, evitando partes adicionales y posibles problemas.
Fabricación: Complicada por los ángulos pequeños en la zona media.
Pliegue: Necesidad de sólo dos bisagras, por lo tanto es simple y se logra un plegado homogéneo.
- **Diseño 5:**
Estética: Mala y poco satisfactoria.
Confiabilidad: Buena por contar con dos apoyos para evitar deslizamientos.
Fabricación: Sin complicaciones de geometría.
Pliegue: Necesidad de 4 bisagras generando mayor tiempo de plegado.
- **Diseño 6:**
Estética: Innovadora y simple
Confiabilidad: La empuñadura empotrada no brinda máxima seguridad.
Fabricación: Ensamble de zona media con la superior e inferior complicado.
Pliegue: Necesidad de sólo dos bisagras, por lo tanto es simple y se logra un plegado homogéneo.
- **Diseño 7:**
Estética: Similar a las muletas de madera.
Confiabilidad: Diseño similar a las muletas convencionales, por lo que aporta seguridad.
Fabricación: Dificultad en la unión de la zona inferior.
Pliegue: Imposible de plegar con bisagras.

- Diseño 8:

Estética: Innovadora, simple.

Confiabilidad: Buena porque la empuñadura forma parte de la misma muleta, evitando partes adicionales y posibles problemas de cargas en la misma.

Fabricación: La zona superior e inferior son simples de fabricar, la zona media se ve complicada por los ángulos que esta tiene.

Pliegue: Necesidad de sólo dos bisagras, por lo tanto es simple y se logra un plegado homogéneo.

Como resultado de la matriz se seleccionó el diseño que muestra la figura 15 pues representa el mejor compromiso entre las distintas características requeridas⁴:



Fig. 15

⁴ Ver Anexo 8.1 Planos



4.4 Vinculaciones de Pliegue:

Para definir la plegabilidad de la muleta, se implementa el mismo método de Brain Storming con el objetivo de obtener un diseño final. Se debe buscar un diseño que permita ser plegada, y a su vez, lo más importante, brindar una máxima seguridad en su uso. Además este diseño debe aportar un rápido pliegue y/o despliegue.

Los requisitos a tener en cuenta para definir el diseño de pliegue son la funcionalidad donde se resalta la disposición final de la muleta cuando esta plegada y la fuerza que el usuario debe ejercer, estética, confiabilidad y tiempo de plegado. Una vez definidas las características técnicas de la vinculación se emplea una matriz de decisiones para el diseño y posterior análisis.

Los diseños que se muestran a continuación son fruto del método empleado:

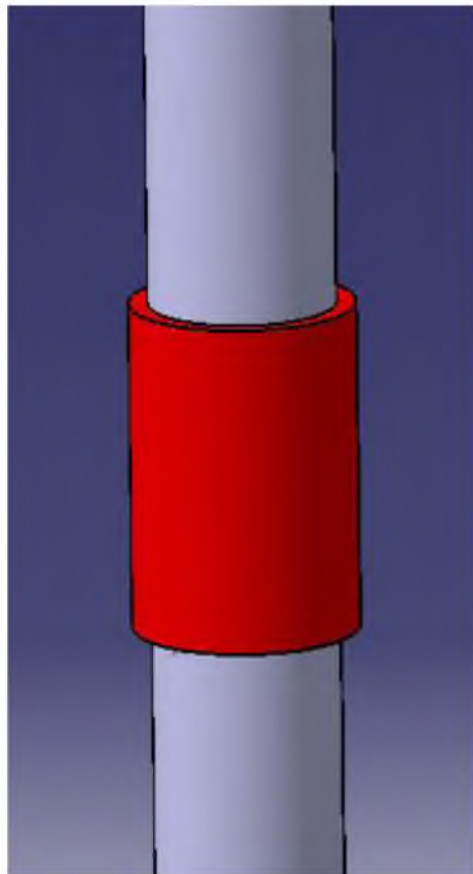
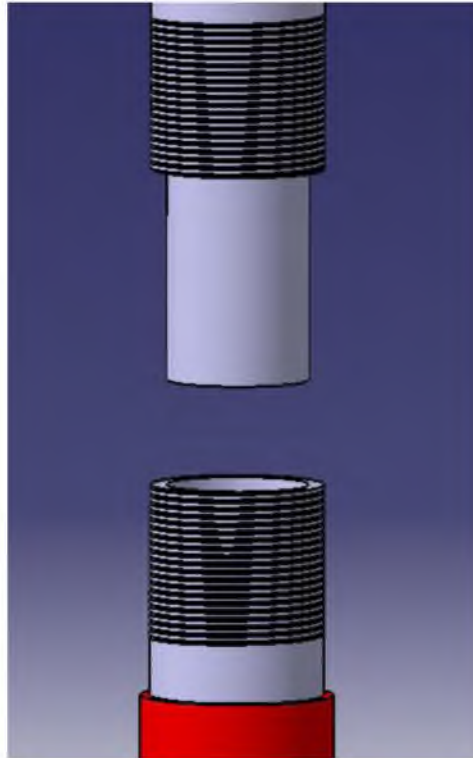


Fig. 16 Diseño 1 (Desvinculado/Vinculado)

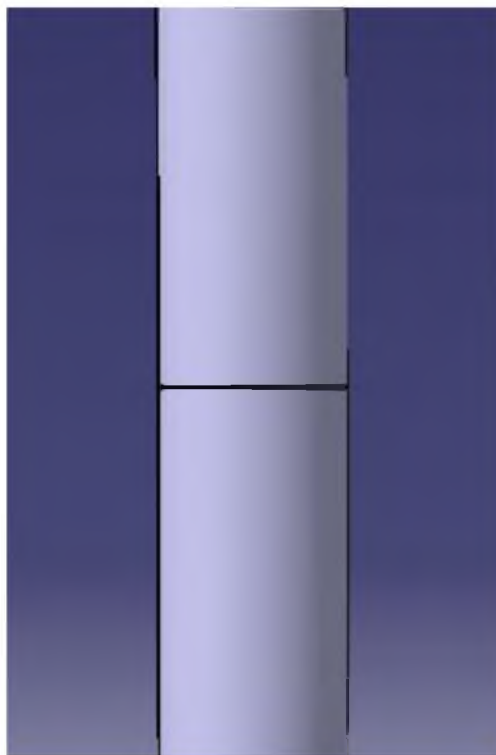
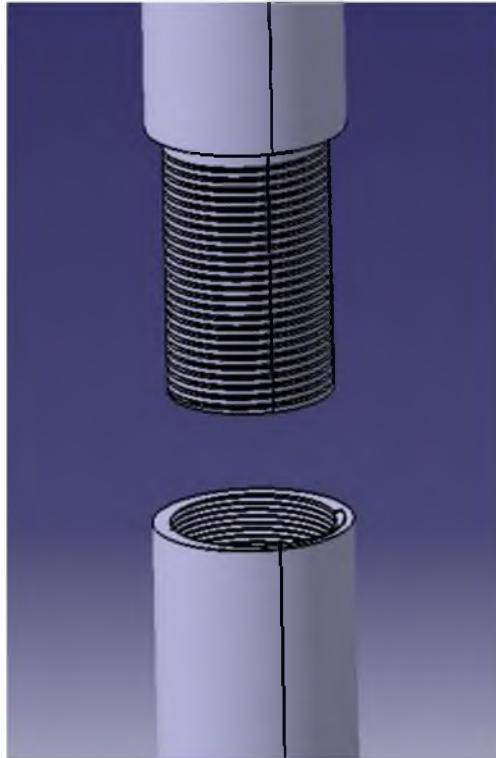


Fig. 17 Diseño 2 (Desvinculado/Vinculado)

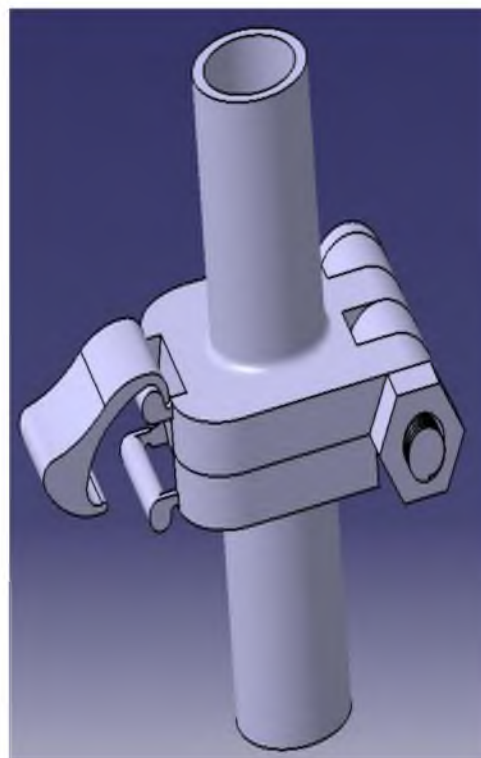


Fig. 18 Diseño 3 (Desvinculado/Vinculado)

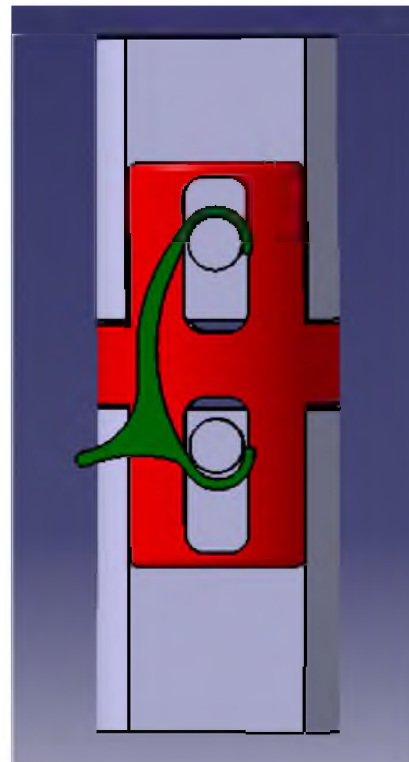
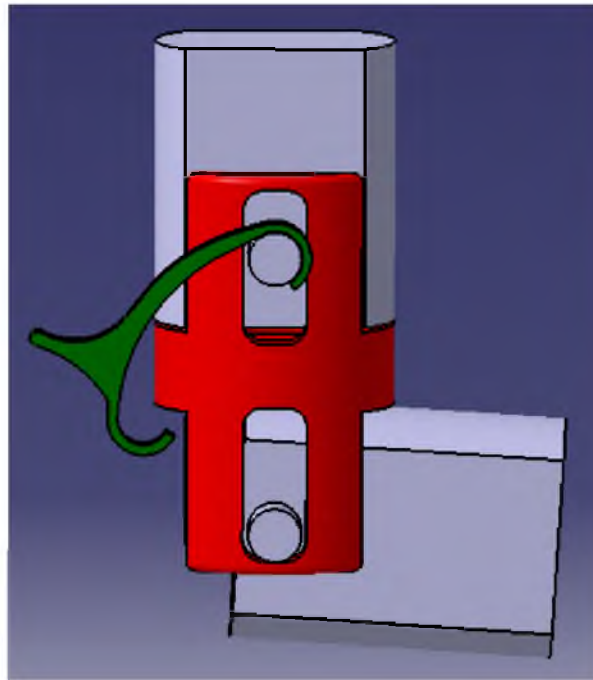


Fig. 19 Diseño 4 (Desvinculado/Vinculado)



La matriz de decisión está representada en la tabla 2 donde resalta el diseño seleccionado de acuerdo a los puntajes.

DISEÑO	FABRICACIÓN	ESTÉTICA	CONFIABILIDAD	TIEMPO DE PLIEGUE	TOTAL
1	2	3	4	2	11
2	2	3	4	2	11
3	4	3	5	4	16
4	4	2	3	4	13

Tabla 2

- Diseño 1:
Fabricación: Complicación al generar una rosca en PRFV
Estética: Se ve la rosca cuando la muleta está plegada.
Confiabilidad: Una rosca asegura una unión perfecta, pero con el tiempo se desgasta.
Tiempo de Pliegue: Roscar y desenroscar lleva mucho tiempo.
- Diseño 2:
Fabricación: Complicación al generar una rosca en PRFV
Estética: Se ve la rosca cuando la muleta está plegada.
Confiabilidad: Una rosca asegura una unión perfecta, pero con el tiempo se desgasta.
Tiempo de Pliegue: Roscar y desenroscar lleva mucho tiempo.
- Diseño 3:
Fabricación: Simple para la fabricación en Inyección plástica.
Estética: Resalta demasiado del modelo de la muleta.
Confiabilidad: La traba y el perno que solidarizan ambas partes de la bisagra aportan una máxima seguridad
Tiempo de Pliegue: Destrabar y trabar no requiere de un tiempo excesivo.
- Diseño 4:
Fabricación: Simple para la fabricación en Inyección plástica.
Estética: Debe ser robusto para poder soportar las cargas aplicadas.
Confiabilidad: Los tubos de la muleta pueden llegar a tener juego.
Tiempo de Pliegue: Traccionar y girar la muleta no requiere de un tiempo excesivo.

Como resultado de la matriz se seleccionó el diseño que se muestra en la figura 20, pues representa el mejor compromiso entre las distintas características requeridas⁵.

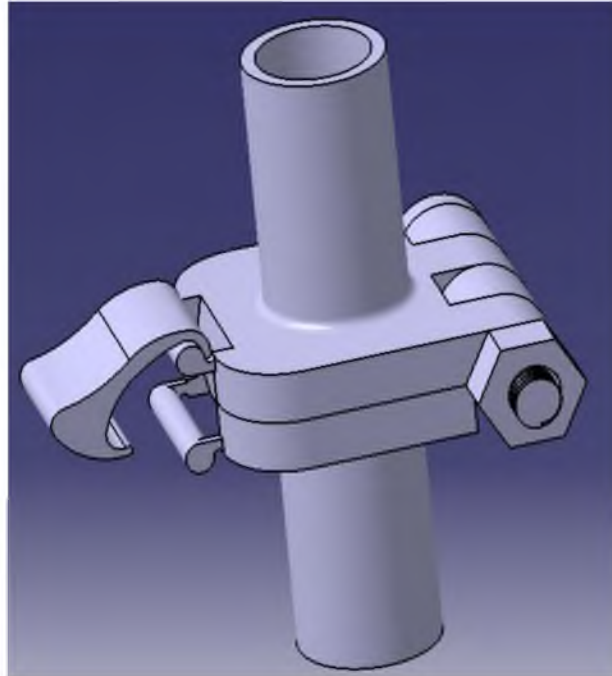


Fig. 20

Este tipo de vinculación además de cumplir con las especificaciones correspondientes, se diseñó con vistas a una futura fabricación en serie utilizando una misma matriz en la producción de ambas partes (inferior y superior) disminuyendo así costos de fabricación. Tanto tornillo como tuerca se consiguen en el mercado en polipropileno, cumpliendo con las características deseadas⁶.

⁵Ver Anexo 8.1 Planos

⁶<http://www.essentracomponents.es>

4.5 Acople axilar:

La axilera es un componente adicional de la muleta el cual tiene mayor desgaste con el uso debido al contacto directo con el usuario, se eligió diseñar un acople que se adapte al diseño de la muleta utilizando la axilera convencional de las muletas comerciales, de forma que pueda reemplazarse dicha parte en caso de ser necesario. Este componente es fabricado en inyección plástica, para así tener las dos vinculaciones de pliegue y el acople axilar del mismo material y con el mismo proceso de fabricación.

La figura 21 muestra una vista del diseño del acople para una axilera convencional⁷:

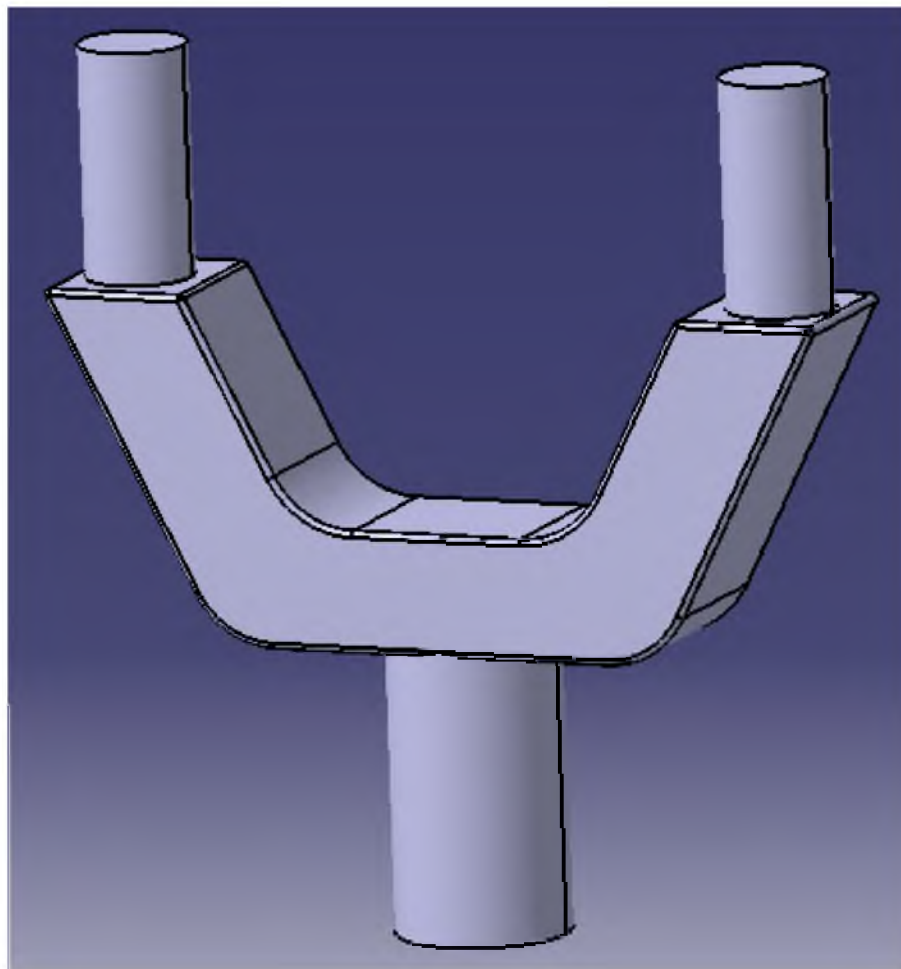


Fig. 21

⁷ Ver Anexo 8.1 Planos

4.6 Conjunto de todas las partes diseñadas:

La siguiente figura (fig.22) muestra los componentes de la muleta diseñados en el marco de este trabajo. En negro, los componentes fabricados en inyección plástica con polipropileno. En beige los componentes fabricados en material compuesto.

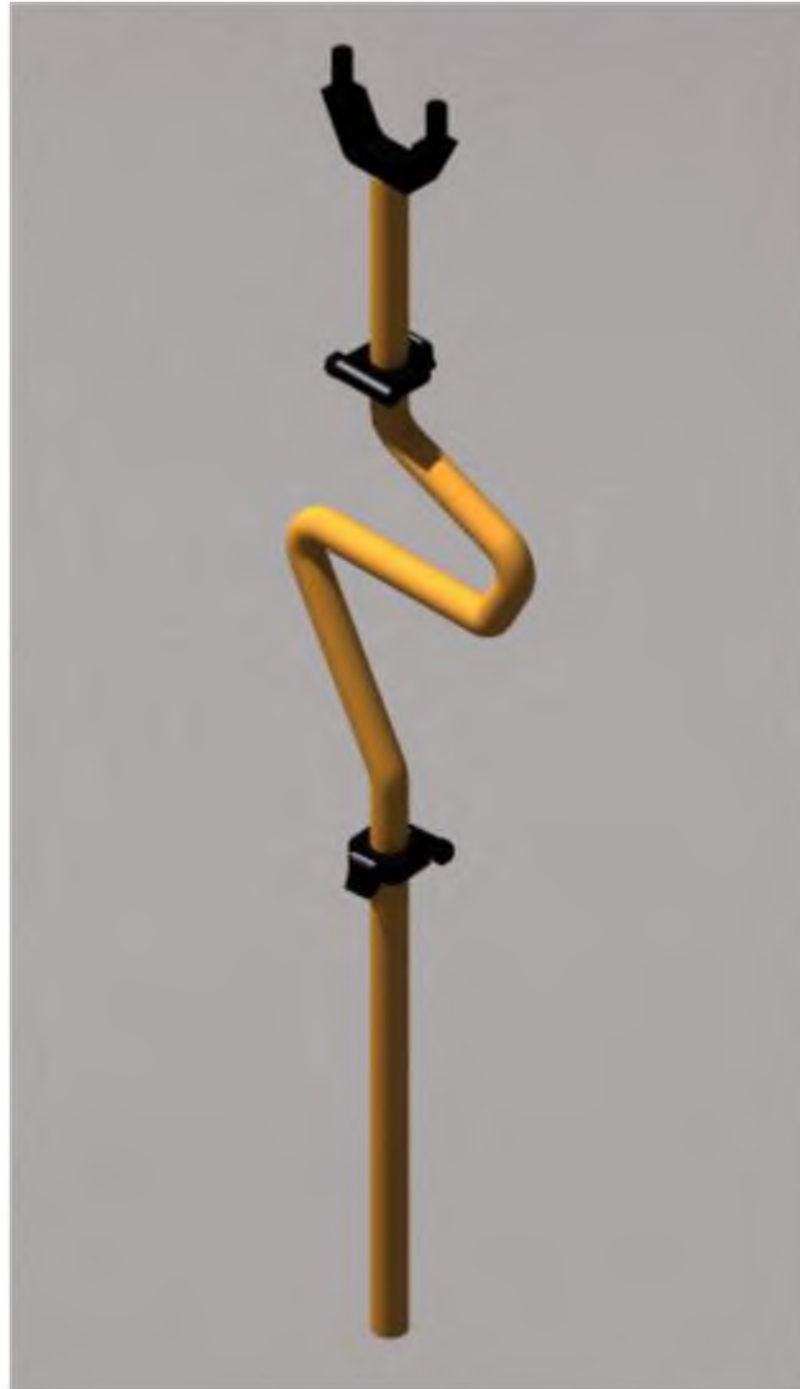


Fig. 22 (Detalle de los componentes de fabricación de la muleta)

4.7 Conjunto final:

La figura 23 detalla los componentes de la muleta propuesta por este trabajo. Los elementos como axilera y taco de goma son productos estándares que se consiguen en el mercado.

Como se mencionó anteriormente, el acople para la axilera se diseñó para ser compatible con las axileras ampliamente disponibles en el mercado. Lo mismo ocurre con el extremo del tubo inferior que es compatible con los tacos de goma estándares en el mercado.

De este modo, las partes de mayor desgaste pueden ser fácilmente reemplazadas al final de su vida útil.

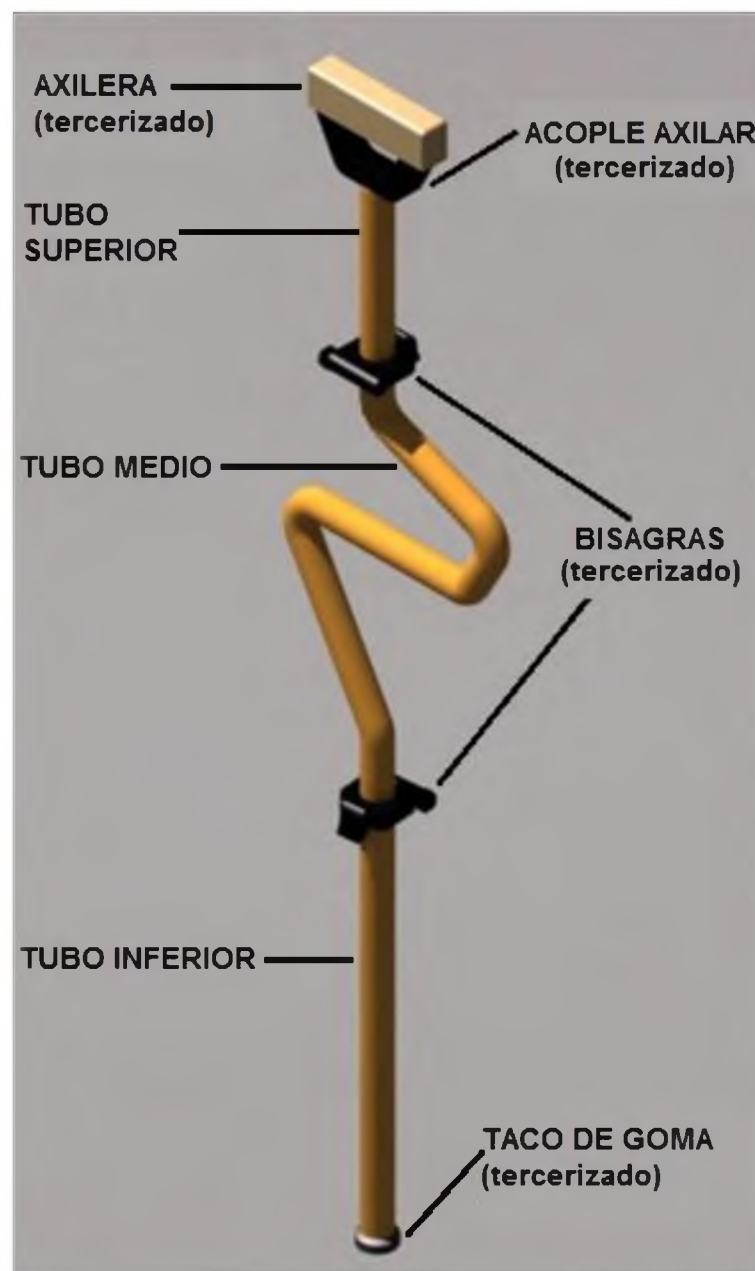


Fig. 23

La figura 24 muestra el plegado parcial de la muleta y la figura 25 el plegado total, para su posterior transporte o guardado.

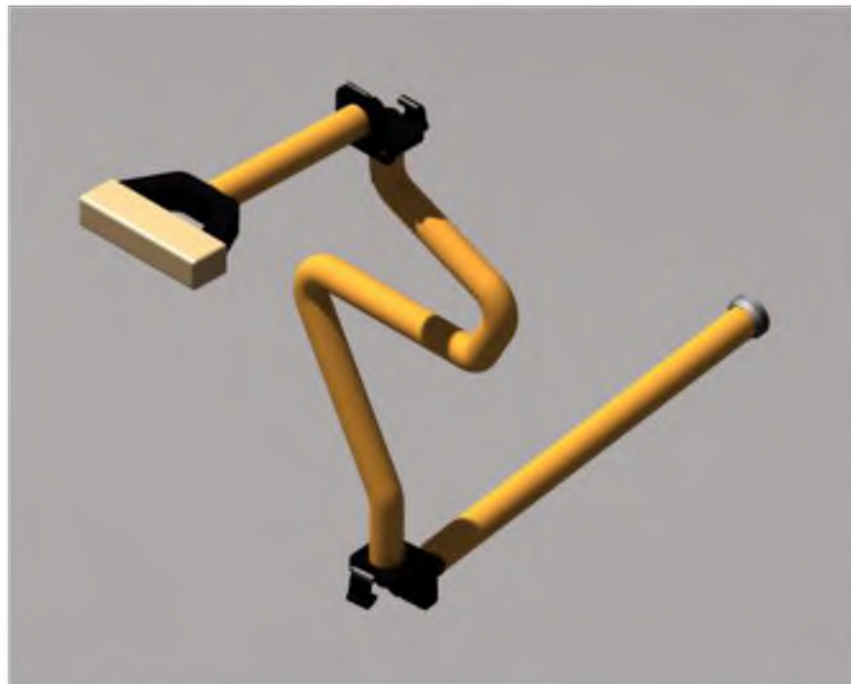


Fig. 24 (Plegado parcial)



Fig. 25 (Plegado total)

Como se puede apreciar el producto no posee regulación en altura, se proponen 4 tallas de medidas, de forma de abarcar todas las alturas posibles de usuarios, esto brinda más seguridad y reduce el peso en la muleta.

La figura 26 y tabla 3 muestran las diferentes medidas de muleta para las diferentes estaturas de los usuarios.

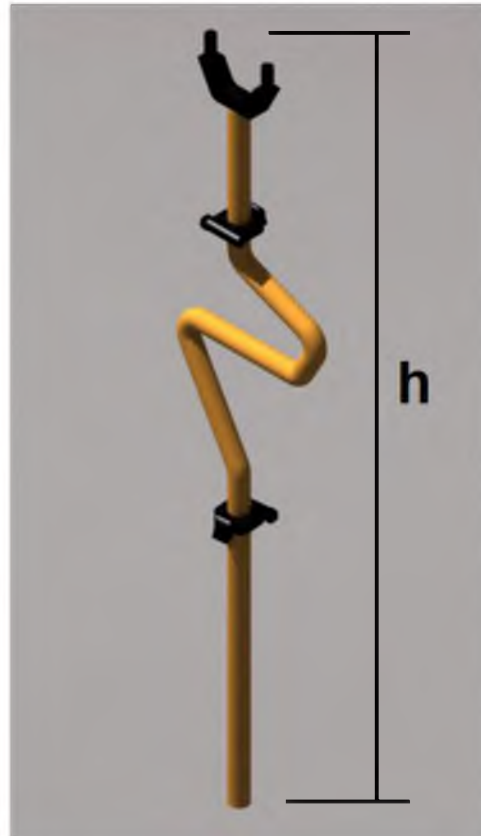


Fig. 26 h: altura de talla según modelo

Altura del usuario	Talla recomendada
185 - 195 cm	XL (h: 152 cm)
175 - 185 cm	L (h: 133 cm)
165 - 175 cm	M (h: 110 cm)
155 - 165 cm	S (h: 90 cm)

Tabla 3 Altura usuario/talla de muleta



4.8 Material:

En este proyecto se eligió fabricar los tubos de la muleta en material compuesto como el PRFV.

Actualmente el 70% de las muletas son de aluminio, un 20% de madera y el resto de otros materiales como por ejemplo, el plástico.

Las preferencias de un material compuesto por sobre estos materiales tradicionales se debe principalmente a que presentan características mecánicas similares a los tradicionales, siendo más livianos, no sufren la corrosión, son de fácil manipulación para su fabricación.

Los materiales compuestos son aquellos que se forman por la unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener originalmente. Estos están formados por dos o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente. Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interface. Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes.

Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

Aunque existe una gran variedad de materiales compuestos, en todos se pueden distinguir las siguientes partes:

- Agente reforzante: es una fase de carácter discreto y su geometría es fundamental a la hora de definir las propiedades mecánicas del material.
- Fase matriz o matriz: tiene carácter continuo y es la responsable de las propiedades físicas y químicas. Transmite los esfuerzos al agente reforzante. También lo protege y da cohesión al material.

Existen distintas clasificaciones de materiales compuestos de las que se pueden señalar:

- Reforzados con partículas
- Endurecidos por dispersión
- Reforzados con fibras estructurales

Vale aclarar que hoy en día estos materiales se están incluyendo de una manera masiva al mercado, utilizándose como por ejemplo para fabricar fuselajes de aviones de línea, partes de autos deportivos, postes para iluminación, entre otros. Teniendo una gran variedad de aplicaciones que se le ha dado debido a sus características.

En el caso de este proyecto se utilizó un material compuesto llamado “plástico reforzado con fibra de vidrio” o “PRFV”⁸, formado por una matriz resina, reforzada con fibras de vidrio.

⁸ Ver Anexo 8.2.1 Características PRFV



Se trata de un material ligero, resistente y fácil de moldear, por lo que es muy usado en la elaboración de piezas de formas suaves y complejas, brinda un buen comportamiento frente a la corrosión y al desgaste, y buen aislante térmico, acústico y eléctrico.

Los polímeros más utilizados son epoxi, poliéster, viniléster y otros termoplásticos.

Existen varias formas de confeccionar un laminado de PRFV, dependiendo de cómo se dispongan las fibras de vidrio dentro de la matriz plástica. La fibra puede colocarse como una o varias mallas superpuestas, en una dirección o en direcciones perpendiculares, en función de los esfuerzos a los que vaya a ser sometido el material. En ocasiones se utilizan más mallas de fibra como refuerzo puntual en las zonas más solicitadas. También pueden proyectarse las fibras de vidrio con pistola, quedando los hilos dispuestos aleatoriamente dentro del material. La cantidad de fibra de vidrio empleada varía dependiendo del tipo de PRFV. En porcentaje sobre el peso total, las cantidades más habituales empleadas en la tipología de vidrio proyectado oscilan entre el 20% y el 45%, en mallas bidireccionales entre el 35% y el 65%, y en mallas unidireccionales entre el 50% y el 90%.

Las propiedades mecánicas dependen esencialmente de la cantidad y disposición de la fibra de vidrio. La resistencia a tracción del material puede oscilar desde los 500 kg/cm² con vidrio proyectado, hasta alcanzar los 10.000 kg/cm² con vidrio unidireccional al 90% en peso.

El resto de propiedades (durabilidad, resistencia a la abrasión, etc.) dependerán fundamentalmente del tipo de resina. Dependiendo de ésta, el material podrá soportar temperaturas entre 125 °C y 300 °C.

Teniendo en cuenta esto, se debe realizar una verificación de la resistencia mecánica del material a utilizar, para esto se utilizan datos extraídos de bibliografía⁹. Una vez calculado el espesor, se fabrican probetas del mismo material para poder ensayarlas a esfuerzos de compresión. Se realiza este ensayo, ya que la muleta en su uso cotidiano estará sometida en mayor parte a este tipo de esfuerzo. Por lo que se descarta realizar un ensayo a tracción y de impacto, los cuales arrojarían valores que no aportarían datos fundamentales para la elección o no del material.

A partir de los datos obtenidos por el ensayo de compresión se calcula la resistencia real del material, ya que se trata de un material no homogéneo donde no se cuenta con un dato específico, para así obtener conclusiones acerca de la sección de la muleta propuesta.

Las vinculaciones de pliegues y acople axilar del prototipo se realizaron en impresión 3D en PLA¹⁰. Este material es utilizado únicamente en la fabricación del prototipo, ya que en

⁹Askeland, Donald R. (1998)Ciencia e Ingeniería de los Materiales

¹⁰Ver Anexo 8.2.2 Características PLA

una supuesta producción en serie el material propuesto para estas partes, por sus características similares y por ser apto para la inyección plástica, es el Polipropileno¹¹.

4.8.1 Verificación de resistencia mecánica del material propuesto¹²:

En esta sección se brindan detalles sobre los cálculos de resistencia mecánica que se realizaron sobre el material compuesto propuesto para la fabricación de las muletas.

Para facilitar los cálculos se supone un problema de vigas rectas. Considerando que esta decisión aporta un error, este no es significativo ya que el factor de seguridad que se aplica en los cálculos es suficiente para corregir estos errores.¹³

4.8.1.1 D.C.L.:

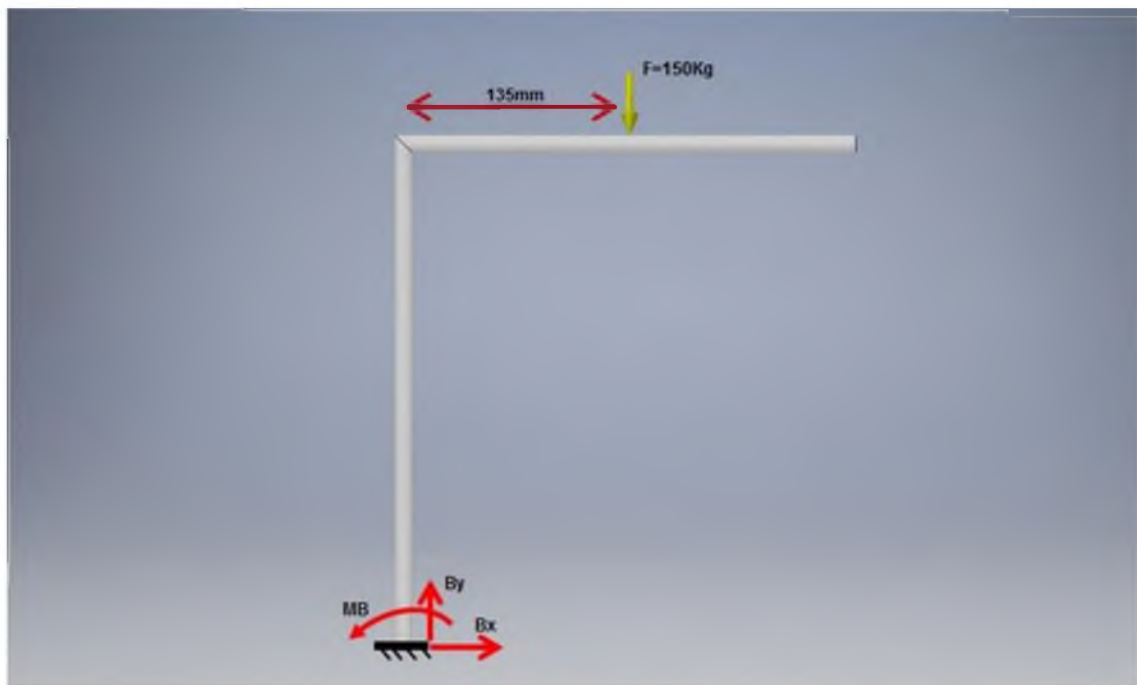


Fig. 27 DCL

¹¹Ver Anexo 8.2.3 Características PP

¹²Budynas Richard G. (2008), Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley

¹³ Ver 9 Abreviaturas



4.8.1.2 Verificación a compresión del material: ¹⁴

$$\sigma_c = 96,5[\text{MPa}] = 96,5[\text{N/mm}^2] = 9,84[\text{Kg/mm}^2]$$

$$F = 150[\text{Kg}] \cdot 9,81[\text{m/s}^2] = 1470 [\text{N}]$$

$$A = 1470[\text{N}] / 96,5[\text{N/mm}^2] = 15,23[\text{mm}^2] \quad \text{Se propone un factor de seguridad } f_s = 13$$

$$A_s = A \cdot f_s = 15,23[\text{mm}^2] \cdot 13 = 198[\text{mm}^2]$$

$$\Phi_i = ((4 \cdot A_s / \pi) - (16))^{1/8} = ((4 \cdot 198 / \pi) - (16))^{1/8} = 29,51[\text{mm}]$$

Se adopta un diámetro interno $\Phi_i = 30 \text{ mm}$ (COMERCIAL)

$$\Phi_e = \Phi_i + 2 \cdot t = 30 + 2 \cdot 2 = 34[\text{mm}]$$

Se adopta un espesor $t = 2[\text{mm}]$ es el mínimo espesor que se puede obtener con una capa de MAT más una de tejido.

$$\text{Por lo tanto el área final es } A = 200,4 [\text{mm}^2]$$

$$\sigma = F / A_s = 1470 [\text{N}] / 200,4[\text{mm}^2] = 7,34 [\text{N/mm}^2]$$

Se comprueba que $\sigma < \sigma_c$ por lo tanto Φ_i , Φ_e son válidos.

4.8.1.3 Verificación a Flexión del material: ¹⁵

Se evalúa la zona más crítica de la muleta suponiendo la peor situación que es la carga total del peso de la persona sobre la empuñadura de una muleta como se muestra arriba en el DCL (figura 27).

$$\sigma_f = 170[\text{MPa}]$$

$$\Sigma M_B: M_B - 150 [\text{Kg}] \cdot 9,81[\text{m/s}^2] \cdot 135[\text{mm}] = 0$$

$$\text{Entonces: } M_B = 198652,5 [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

$$I = (\pi \cdot (\Phi_e^4 - \Phi_i^4)) / 64 = 25836,5[\text{mm}^4] = 2,58365 \cdot 10^{-8}[\text{m}^4]$$

$$\text{Tenemos } \sigma'_f = (M \cdot y) / I = (198652,5[\text{N} \cdot \text{mm}] \cdot 17[\text{mm}] / 25836,5[\text{mm}^4] = 130,7[\text{MPa}]$$

Por lo tanto $\sigma'_f < \sigma_f$ comprobando que el material no fallará a flexión.

¹⁴ Ver Anexo 8.2.1 Características PRFV para cálculo de resistencia a compresión

¹⁵ Ver Anexo 8.2.1 Características PRFV para cálculo de resistencia a flexión

4.8.1.4 Verificación de bisagras:

El material para una supuesta producción en serie es Polipropileno¹⁶. Sus características técnicas son menores pero similares a la del PRFV, se valida la utilización de estos materiales por el factor de seguridad empleado en el área calculada de verificación a compresión.

Se complementa esta decisión con un cálculo de esfuerzo cortante en el perno de unión de la vinculación de pliegue de polipropileno. Se plantea una situación extrema no frecuente para verificar el perno, por lo tanto si verifica, se asegura la utilización del perno. (Fig.28)

Por criterio de Tresca¹⁷: $T = 0,5 \cdot \sigma_u = 0,5 \cdot 70 [\text{MPa}]$

$T = 35 [\text{MPa}]$ y $A_t = (\pi \cdot (\phi_p^2)) / 4 = (\pi \cdot (10^2)) / 4 = 78,54 [\text{mm}^2]$

$T' = (F/2) / (A_t) = ((150 [\text{Kg}] \cdot 9,81 [\text{m/s}^2]) / (2)) / (78,54 [\text{mm}^2]) = 9,37 [\text{MPa}]$

Por lo tanto $T' < T$ entonces se verifica que el perno resiste las sollicitudes aplicadas.

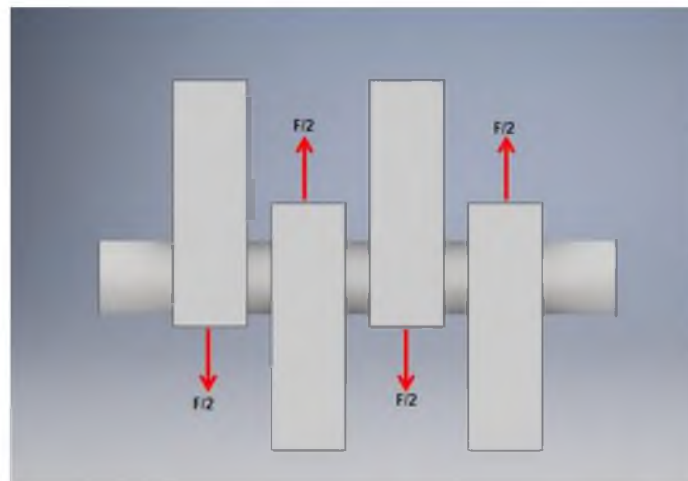


Fig. 28 DCL Vinculación de pliegue

¹⁶Ver Anexo 8.2.3 Características PP.

¹⁷Budynas Richard G. (2008), Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley.



4.8.2 Cálculo longitud crítica de pandeo:

Al estar expuesto a un esfuerzo de compresión se debe verificar el esfuerzo de Pandeo¹⁸, para que no se produzca una falla por esta causa.

Los pilares y barras comprimidas pueden presentar diversos modos de fallo en función de su esbeltez mecánica:

- Los pilares muy esbeltos suelen fallar por pandeo elástico y son sensibles tanto al pandeo local del propio pilar como al pandeo global de la estructura completa.
- En los pilares de esbeltez media las imperfecciones constructivas como las heterogeneidades son particularmente importantes pudiéndose presentar pandeo anelástico.
- Los pilares de muy baja esbeltez fallan por exceso de compresión, antes de que los efectos del pandeo resulten importantes.

El pandeo local es el que aparece en piezas o elementos aislados o que estructuralmente pueden considerarse aislados. En este caso la magnitud de la carga crítica viene dada según el caso por la fórmula de Leonhard Euler¹⁹. La carga crítica de Euler depende de la longitud de la pieza, del material, de su sección transversal y de las condiciones de unión, vinculación o sujeción en los extremos. Para una pieza que puede considerarse biarticulada en sus extremos la carga crítica de Euler viene dada por:

$$F_{crit} = \pi^2 \frac{EI_{min}}{L^2} = \pi^2 \frac{EA}{\lambda^2}$$

Siendo: F_{crit} , la carga crítica; E , Módulo de Young²⁰ del material de que está hecha la barra; I_{min} , momento de inercia mínimo de la sección transversal de la barra; L , longitud de la barra y λ la esbeltez mecánica de la pieza. Cuando las condiciones de sujeción de los extremos son diferentes la carga crítica de Euler viene dada por una ecuación del tipo:

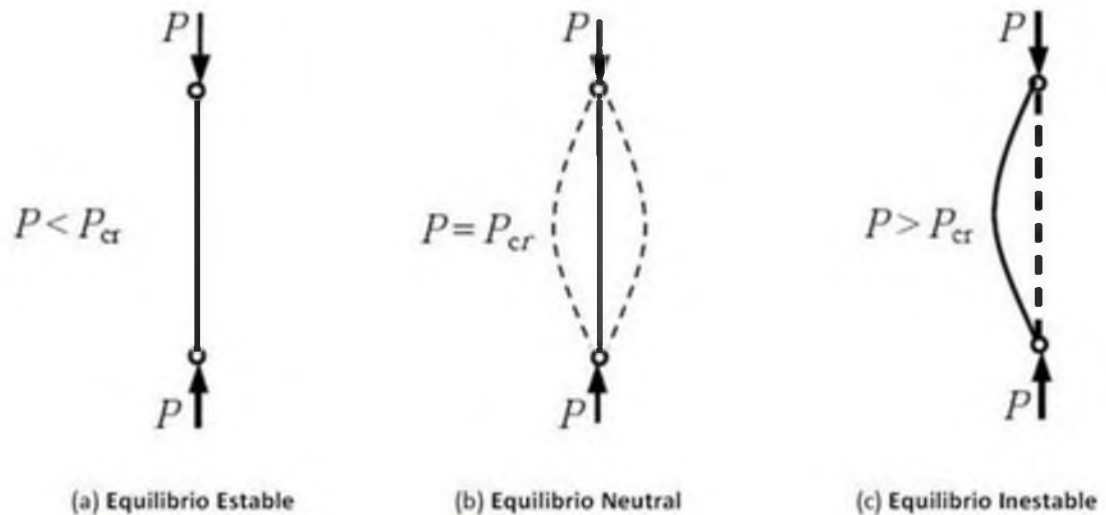
$$F_{crit} = \pi^2 \frac{EI_{min}}{(\alpha L)^2} \quad \begin{cases} \alpha = 0,5 & \text{empotrado-empotrado} \\ \alpha \approx 0,70 & \text{articulado-empotrado} \\ \alpha = 2 & \text{libre-empotrado} \end{cases}$$

¹⁸ Budynas Richard G. (2008), Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley.

¹⁹ Ibídem.

²⁰ Ibídem.

Por lo tanto podemos decir que se tienen diferentes tipos de equilibrios según la curva que se forme al aplicar la carga:



Instanciando estas fórmulas con los valores correspondientes a la muleta propuesta en este trabajo se obtienen:

$$I = (\pi^*(\Phi e^4 - \Phi i^4))/64 = 25836,5[\text{mm}^4] = 2,5 \cdot 10^{-8}[\text{m}^4] = 25000[\text{mm}^4]$$

$$A_s = 200,4[\text{mm}^2]$$

$$E = 2692,37 [\text{MPa}]$$

$$P_{cr} = F \cdot n = 1470[\text{N}] \cdot 1,5 = 2205 [\text{N}]$$

$$L_{ef} = ((\pi^2 \cdot E \cdot I) / (P_{cr}))^{1/2} = ((\pi^2 \cdot 2692,37 [\text{Mpa}] \cdot 25000[\text{mm}^4]) / (2205[\text{N}]))^{1/2}$$

$$L_{ef} = 548,88[\text{mm}] = 0,548[\text{m}]$$

Se comprueba que la muleta no pandeará en ninguna de sus secciones ya que la longitud de cada una es menor a la longitud efectiva.



4.9 Ensayos:

En esta sección se describen los ensayos mecánicos realizados sobre los componentes de la muleta de material compuesto.

4.9.1 Fabricación de probetas:

Lo primero a realizarse es una probeta. Para algunos ensayos y diseños existen probetas normalizadas, con su respectiva forma y dimensiones. Estas probetas normalizadas se utilizan generalmente para comparar las características técnicas de distintos materiales. Como este no es el caso, ya que se conocen las características del material seleccionado y una probeta normalizada no es un modelo adecuado para representar el diseño adoptado. Lo más óptimo es ensayar una probeta de idénticas dimensiones al prototipo, es decir un tubo de material compuesto, con el diámetro y espesor definidos en los cálculos de verificación de resistencia mecánica.

Las áreas seccionales relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión son más óptimas para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto requiere la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y por lo tanto tan cortas que resulta difícil de obtener de ellas mediciones de deformaciones de precisión adecuada. Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas geométricas.

La selección de la relación entre la longitud y el diámetro de una probeta de compresión involucra varias condiciones. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la siguiente distribución no uniforme del esfuerzo sobre una sección recta. Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 1. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de la restricción friccional en los extremos se toma sumamente importante. Comúnmente se aplica una relación entre longitud y diámetro de 2 o más, aunque la relación entre altura y diámetro varíe para materiales diferentes.

Los extremos a los cuales se aplica la carga deben ser planos y perpendiculares al eje de la probeta o convertidos así mediante el uso de dispositivo de montaje.

La laminación manual es el método más sencillo para preparar una pieza reforzada con fibra. Pasos a seguir:

1. **Preparar el molde:** El proceso se lleva a cabo en un molde, debidamente acondicionado (pulido y con agentes desmoldantes).
2. **Preparar la Resina:** La resina utilizada se mezcla con un catalizador o endurecedor, de lo contrario, el curado puede llevar días o incluso semanas.

3. **Embeber el molde:** Este se moja con la mezcla mediante vertido o brochas y pinceles.

4. **Aplicar la fibra de vidrio:** Las láminas de fibra de vidrio se colocan sobre el molde y se asientan con rodillos de acero. El material debe estar firmemente compactado contra el molde, el aire no debe quedar atrapado en medio de la fibra de vidrio y el molde. La relación de resina y fibra suele ser de 60 a 40 en peso, pero varía según el producto.

5. **Sacar el molde:** La laminación manual termina extrayendo la pieza, una vez curada la resina.

La laminación debe ser hecha con la suficiente rapidez para completar el trabajo antes de que la resina empiece a curar. Se puede lograr diferentes tiempos de curado mediante la alteración de la cantidad de catalizador empleado. Es importante la utilización de la proporción correcta de catalizador en la resina para asegurar el tiempo de curado correcto.

La Figura 29 muestra la fotografía de las dos probetas que se fabricaron para realizar los test mecánicos.



Fig. 29

La probeta número 1 (izquierda) está manufacturada con tres (3) capas de tela de fibra de vidrio, la probeta número 2 (derecha) se hizo con una (1) capa de "MAT" y una (1) capa de tela de fibra de vidrio. La capa de "MAT" es una fibra de vidrio multidireccional que si bien tiene más peso que la tela de fibra de vidrio, proporciona mucha más resistencia y rigidez.

La figura 30 muestra el detalle de MAT y TEJIDO

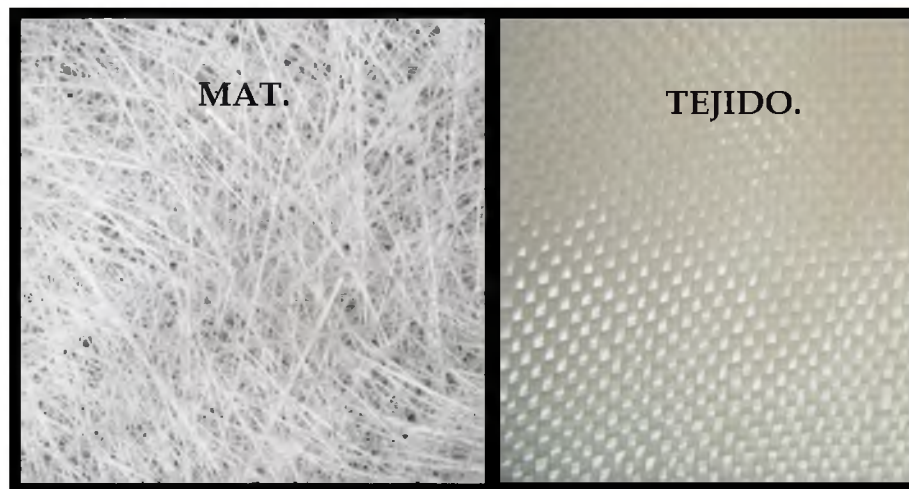


Fig. 30

En un análisis rápido se descarta la fabricación del producto con las características constructivas de la probeta número 1, esta presenta menor resistencia y rigidez. Por lo que la probeta seleccionada para una posible fabricación es la número 2, la cual tiene mejores características técnicas al ser una combinación de MAT y tejido.

Para realizar estos ensayos se debe tener en cuenta y conocer las ecuaciones matemáticas que rigen al problema, para luego poder analizarlo:

$$A = (\pi^*(\phi_e^2 - \phi_i^2))/4$$

$$\sigma = F/A$$

Con los ensayos realizados lo que se desea obtener es la confirmación de los cálculos realizados en la sección 4.8.1. Aclarando que se trata de un material compuesto, el cual posee un rango de valores de resistencias, y estos son influenciados según la mano de obra en la fabricación. Es decir cantidad de capas y porcentaje en peso de tejido o de MAT que se utilicen, variando así las características técnicas como la resistencia a compresión. Por lo tanto para tener un contacto directo con esta problemática, se realizan los ensayos para confirmar que el producto resistirá adecuadamente.

Otro objetivo es verificar los procesos de fabricación. Aclarando que los procesos de fabricación en serie son similares. Por lo que si verifica para uno verificara para el otro, ya que el producto final será el mismo.

Los pasos a seguir para llevar a cabo el ensayo de compresión es el siguiente:

- **Paso 1:** Se anotan las medidas correspondientes iniciales a la probeta a ensayar.
- **Paso 2:** Se pone en marcha la máquina de ensayo (apta para compresión) y se calibra con las pesas hasta lograr que el marcador quede en cero.



- **Paso 3:** Antes de comenzar el ensayo procedemos a colocar una hoja de papel milimétrico para que podamos observar la relación carga-desplazamiento.
- **Paso 4:** Procedemos a bajar el plato superior casi hasta tocar la probeta
- **Paso 5:** La máquina se coloca en movimiento despacio (LOW) para iniciar el ensayo
- **Paso 6:** Se comienza el ensayo. Conforme el tiempo y la carga aumentan la probeta terminara por comprimirse hasta que nuestra maquina no pueda ofrecer más presión.
- **Paso 7:** Procedemos a tomar las nuevas medidas de nuestra probeta.
- **Paso 8:** Se realizan los cálculos para determinar las características técnicas del material.

4.9.2 Ensayo de Compresión:

Se realizaron ensayos a la parte superior e inferior y media de la muleta

4.9.2.1 Parte superior e inferior:

Durante el ensayo de compresión la probeta soportó 550kg.

La figura 31 muestra una fotografía tomada durante el ensayo. La figura 32 muestra los resultados obtenidos.



Fig. 31

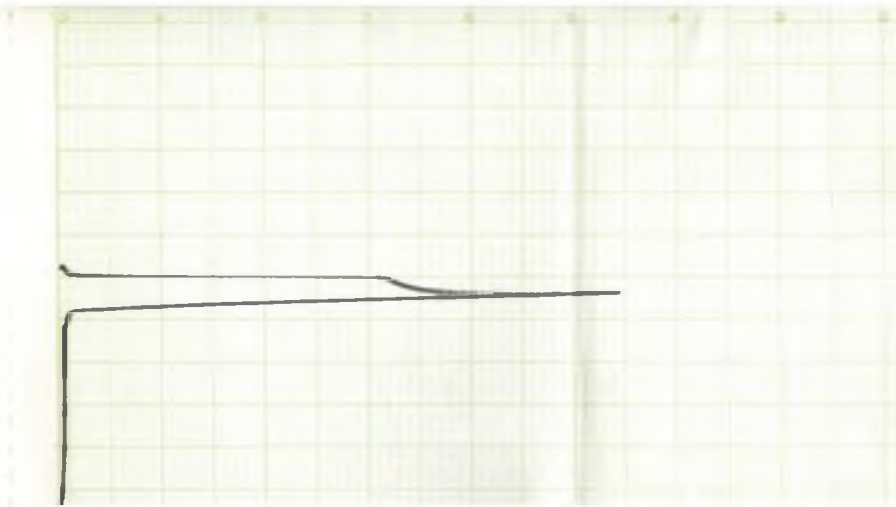


Fig. 32

Con estos datos se confirma la aplicación del material en el producto. Viendo que se llegó a una resistencia límite de 550 kg, superando ampliamente lo que se puso como objetivo de que cada muleta soporte 150 kg, teniendo así un factor de seguridad aplicable al diseño que en un principio se dedujo de la dimensión de los diámetros externos e internos.

$$F = 550 \text{ [Kg]} * 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 5395,5 \text{ [N]}$$

$$A = (\pi * (\Phi_e^2 - \Phi_i^2)) / 4 = (\pi * (34[\text{mm}]^2 - 30[\text{mm}]^2)) / 4 = 200,4 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\sigma = F/A = 5395,5 \text{ [N]} / 200,4 \text{ [mm}^2\text{]} = 26,93 \text{ [N/mm}^2\text{]} = 26,93 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma = E * \epsilon \quad \text{con } \epsilon = (L_i - L_f) / L_i = (440 - 435,5) / 440 = 0,01$$

$$E = \sigma / \epsilon = 26,93 \text{ [MPa]} / 0,01 = 2692,37 \text{ [MPa]}$$

Los valores L_i y L_f se extraen del gráfico del ensayo midiendo el desplazamiento de la curva.

Lo que resulta una resistencia a la compresión mayor a la calculada anteriormente. Por lo que se adopta esta resistencia desde aquí en adelante.

4.9.2.2 Parte media:

Esta sección de la muleta se ensayó igual que la superior e inferior, en la máquina de compresión, con las dimensiones definidas en el diseño. Simulando, por medio de un dispositivo, la aplicación total de la carga en una situación cotidiana del uso de una sola muleta, como se muestra en la fig. 33. Situación extrema, ya que generalmente se emplea un par de muletas y el peso es distribuido entre la zona axilar y empuñadura.

En el primer ensayo se obtuvo una fuerza de compresión de 200 kg, este valor no es aceptable porque se necesita un coeficiente de seguridad mayor en un dispositivo como una muleta. Luego, reforzando las curvas laminándolas con una capa más de MAT y tejido, se realizó un segundo ensayo. Este aportó datos superiores a los obtenidos, llegando a soportar 400 kg en compresión.

En la Figura 34 se muestra una fotografía del ensayo con fondo de escala de carga 2000Kg



Fig. 33 Ensayo de compresión Parte Media.



Fig. 34

A partir de los ensayos realizados a las partes superiores, inferiores y media de la muleta se comprueba la seguridad/factibilidad de la utilización de PRFV como material de fabricación de la muleta.

4.9.2.3 Ensayos de Vinculación de pliegues:

La vinculación de pliegues a los tubos estructurales de la muleta presenta una potencial falla en la unión. Se ensaya dicha parte para verificar principalmente que no haya desgarramiento del material compuesto con la vinculación de polipropileno. En un ensayo de compresión normal (Fig. 35) y un ensayo, simulando la aplicación de una carga a la hora de usarla, con una inclinación de aproximadamente 30° (Fig. 37). Se demuestra que esta unión crítica no tiene inconvenientes para cumplir con las expectativas. Llegando a soportar 550 kg el de compresión vertical (Fig. 36), y 400kg el de compresión con una inclinación de 30° (Fig. 38). Se destaca que los caños no se desgarraron en la unión, sino que sufrieron una falla por arriba de la misma. Por lo tanto se confirma la confiabilidad de la unión.

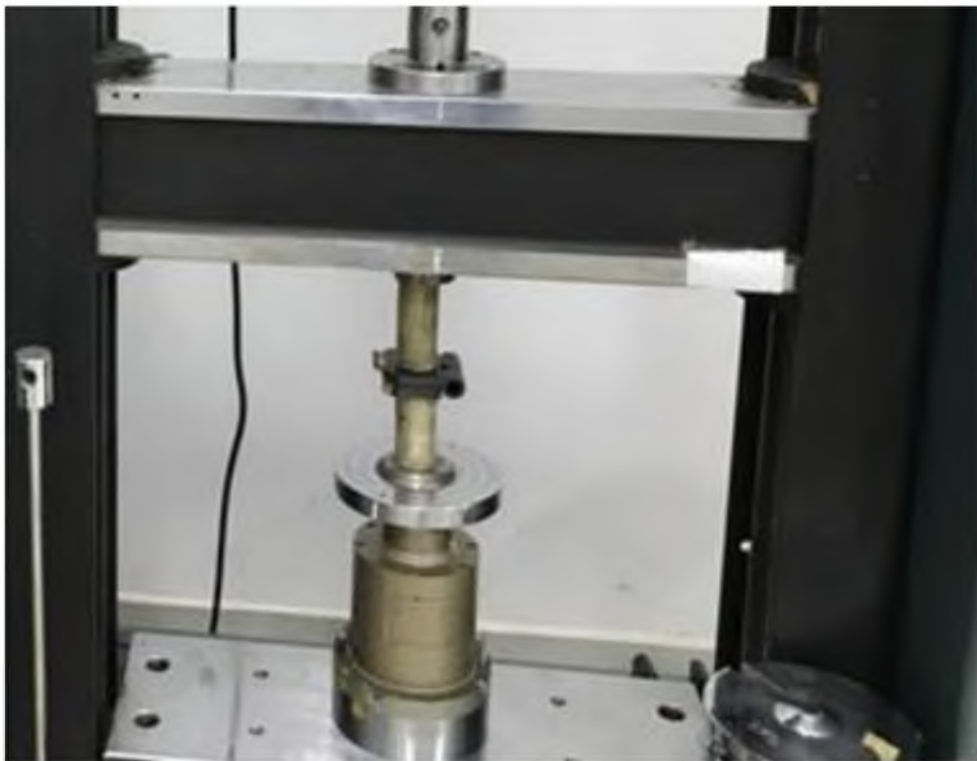


Fig. 35 Compresión Normal

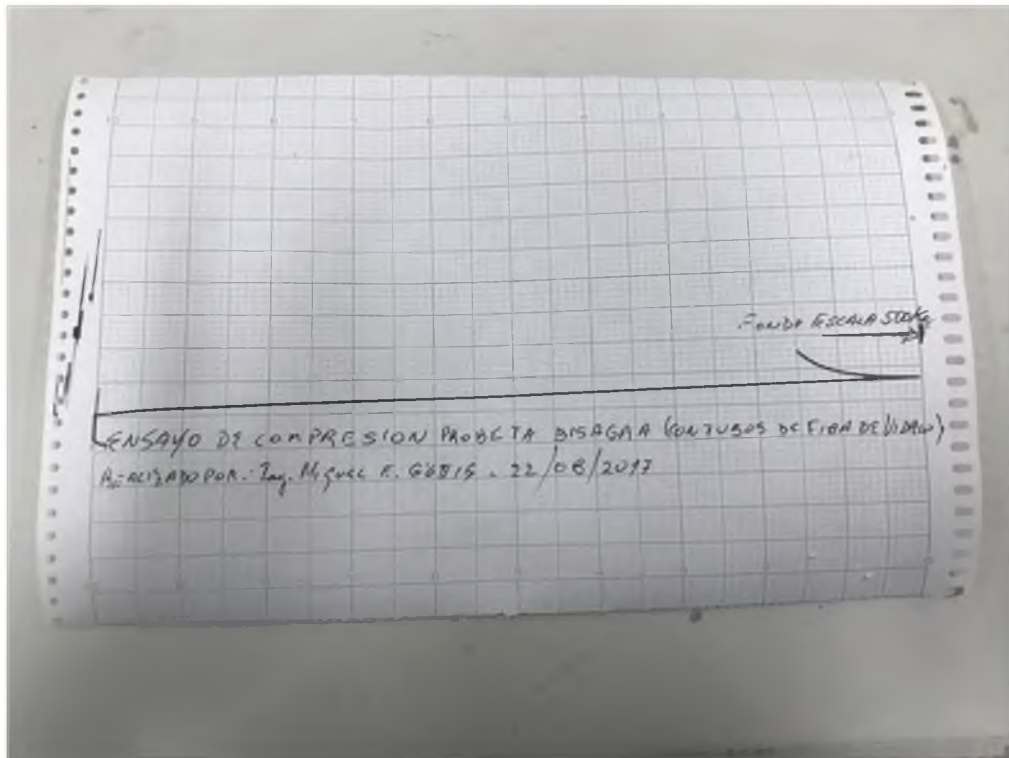


Fig. 36 Compresión Normal



Fig. 37 Compresión a 30°

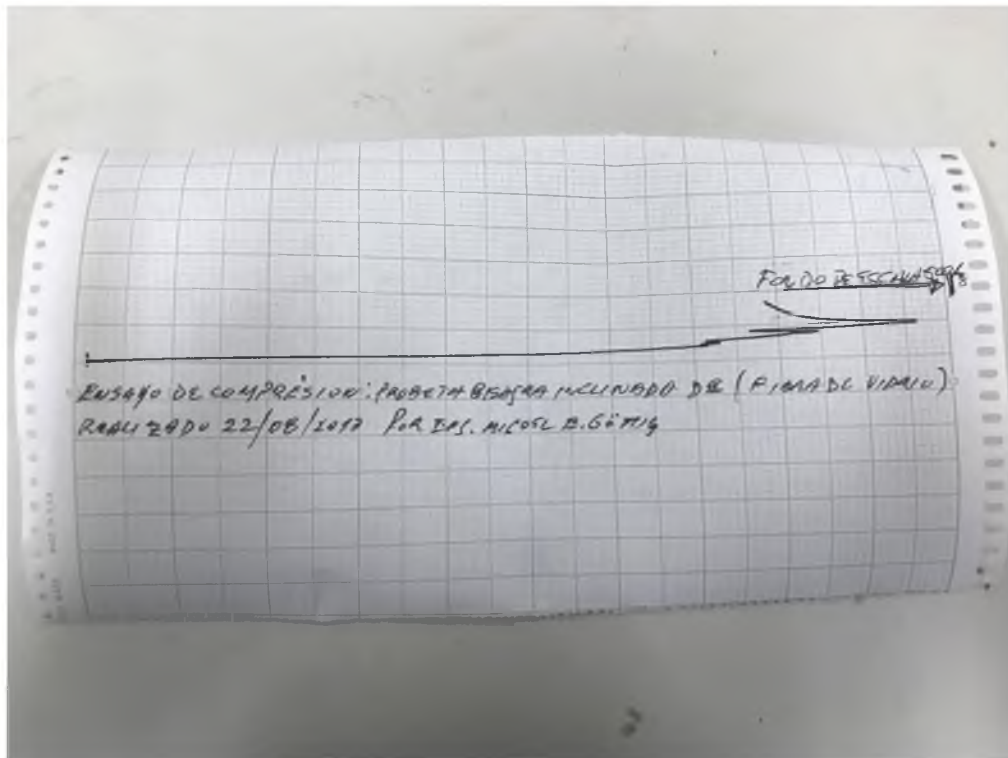


Fig. 38 Compresión a 30°



4.10 Prototipo:

Un prototipo es una representación del diseño de un producto que permite experimentar y probarlo en situaciones reales. La finalidad es demostrar los distintos aspectos del diseño como las características, funcionalidad, rendimiento, viabilidad y procesos de producción más adecuados y eficientes.

4.10.1 Parte Superior e Inferior:

La fabricación del prototipo inicia con la laminación de los tubos superior e inferior, estos tubos por el diseño adoptado son rectos y de sección circular. A continuación se explican los diversos procesos que se utilizaron para la fabricación de las partes.

Proceso 1: Se fabricaron dos mitades tubulares de material compuesto y luego unidas por medio de una capa adicional de fibra de vidrio. Si bien se logra el diseño requerido, este proceso se descartó porque las fibras no presentan continuidad a lo largo del tubo, aportando menor resistencia a la de un tubo con fibras continuas.

Proceso 2: Un tubo de PVC de diámetro exterior igual al diámetro interno deseado al que se aplica agente desmoldante para su posterior laminación. Con este proceso se obtienen fibras continuas, pero es complicado extraer el molde una vez que la resina curó, por lo que no es apto para la fabricación.

Proceso 3: Se emplea un tubo de acero, ya que el tubo de PVC antes utilizado se deforma en el momento del desmolde, con diámetro externo igual al diámetro interno deseado, se corta longitudinalmente a 120° . Luego se introduce un alma del mismo diámetro que el tubo de acero, esto es para aportar rigidez a la hora de laminar. Se coloca sobre el tubo agente desmoldante, dejar secar y luego laminar a 90° . Se deja curar la resina. Una vez endurecida la resina, se retira el alma para poder despegar las partes cortadas longitudinalmente y de esta manera se retiran del molde, quedando el modelo final.

Este último proceso es el que se emplea en la fabricación de las partes superior e inferior.

4.10.2 Parte Media:

Para la fabricación de la sección media de la muleta se emplea otro proceso de fabricación por las características del diseño adoptado. A continuación se explican los diversos procesos que se utilizaron para la fabricación de las partes.

Proceso 1: una manguera de diámetro externo igual al diámetro interno deseado se lamina con fibra de vidrio y luego se genera la forma curva de la parte media. Es un proceso que no aporta tolerancias admisibles en el diseño además de la imposibilidad de desmoldar, quedando en el interior la manguera.



Proceso 2: consiste en un modelo perdido de telgopor, este debe tener mismas dimensiones que el producto final. Luego se lamina a 45° utilizando resina epoxi para no deteriorar el modelo. Una vez finalizado el curado, el modelo es atacado químicamente.

El proceso 2 es el seleccionado para la fabricación del prototipo.

4.10.3 Tiempos de Laminación:

De acuerdo al porcentaje de catalizador que se agrega a la resina es el tiempo de curado que tiene la resina. Para la fabricación del prototipo se emplea el menor porcentaje de catalizador posible que asegure el curado de la resina. Esto aporta más tiempo para la laminación de las partes.



4.11 Diferencias Prototipo vs Producción en Serie:

En esta sección se detallan las diferencias entre el prototipo y el producto fabricado en serie para su comercialización.

El producto en serie debe tener las mismas características funcionales que el prototipo con la diferencia de que se deben utilizar otros materiales y también agilizar el proceso de fabricación y establecer una producción diaria a la que responder.

Fabricación	Prototipo	Serie
Tubo superior, medio e inferior	<p>Superior e inferior: Un tubo hueco con diámetro externo igual al diámetro interno deseado, se corta longitudinalmente a 120°. Luego se introduce un alma del mismo tamaño que el tubo cortado. Se coloca sobre el tubo agente desmoldante, dejar secar y luego laminar a 90°. Se deja curar hasta que se endurezca por completo. Una vez ya endurecida la resina se despegan las partes cortadas longitudinalmente y se retiran del molde, quedando así el modelo final.</p> <p>Medio: Se moldea por modelo perdido de telgopor, este debe tener mismas dimensiones que el producto final. Luego se lamina a 45°, con la excepción de utilizar resina epoxi para no deteriorar el modelo. Una vez finalizado el curado, el modelo es atacado químicamente.</p>	<p>En un molde de aluminio y con un globo de látex (vejiga), se envuelve la vejiga con una capa de fibra de vidrio, colocando las fibras en la misma dirección, y embebiendo la fibra con resina. Se coloca la vejiga en los moldes de aluminio, antes aplicando agente desmoldante. Se instala un boquilla de inflado al molde, colocándolo en una prensa de calor y suministrando gas, se infla la vejiga haciendo que la fibra tome la forma del molde. Se deja curar y se extrae la parte moldeada. Luego se refinan las partes de los extremos.</p>
Bisagras y acople axilar	Impresión 3D (PLA)	Inyección plástica (PP) Tercerizados
Axilera, Taco de goma y empuñadura	Tercerizados	
Pintura	Antes del ensamble se pintan las partes superior, media e inferior con pintura (caucho acrílico)	Antes del ensamble se pintan las partes superior, media e inferior con pintura (caucho acrílico)
Ensamblaje	Se unen los tubos con las bisagras y el acople axilar por medio de la misma resina utilizada. Por último la axilera, taco de goma y empuñadura se acoplan por presión.	Se unen los tubos con las bisagras y el acople axilar por medio de la misma resina utilizada. Por último la axilera, taco de goma y empuñadura se acoplan por presión.



5 Análisis Económico:

Con el objetivo de efectuar un estudio sobre una posible producción de la muleta plegable en la ciudad de Córdoba, se presenta un breve informe económico en función de un volumen de producción calculado.

Se analizan los costos y beneficios de la venta del volumen calculado y se estima el valor de la inversión necesaria para llevar a cabo este proceso.

5.1 Prototipo:

5.1.1 Costos del prototipo:

En la tabla 4 se detallan los costos del prototipo fabricado en este trabajo final, aclarando los precios de venta de la materia prima y la cantidad utilizada para así poder calcular aproximadamente el coste total del prototipo.

Descripción	Precio	Utilizado	Costos por unidad
Tejido de fibra de vidrio (328gr/m ²)	\$86 (1 m ²)	0.165 m ²	\$14,19
MAT (450gr/m ²)	\$41,5 (1 m ²)	0.165 m ²	\$6,85
Resina poliéster (pre-acelerada)	\$110 (1 kg)	0.2 kg	\$22
Catalizador para resina poliéster	\$20 (100 cm ³)	4 cm ³	\$0,80
Resina epoxi + catalizador	\$1030 (1,2 kg)	0.3 kg	\$257,50
Bisagra	\$200 por unidad	2 unidades	\$400
Apoye axilar	\$300 por unidad	1 unidad	\$300
Tope de goma	\$20 por unidad	1 unidad	\$20
Desmoldante	\$150 (1 kg)	0.1 kg	\$15
Modelo de telgopor (curva)	\$50 por unidad	1 unidad	\$50
Pintura (caucho acrílico)	\$174,75 (1 lt)	½ L	\$87,37
Mano de obra	\$150 por hora	12 horas	\$1.800,00
TOTAL			\$2.973,71

Tabla 4



5.2 Producto en serie:

5.2.1 Inversión para la fabricación en serie:

- Prensa de calor
- Matriz de aluminio
- Matriz para inyección de plástico
- Desarrollo y fabricación de dispositivos para el ensamblajes
- Herramientas (llaves, taladros, sierra sensitiva, pinzas, etc.)
- 2 computadoras para diseño e Ingeniería
- Alquiler de establecimiento
- Mobiliario de oficina

Se decide alquilar un establecimiento que reúna las características necesarias para realizar la fabricación de la muleta y almacenaje.

Conforme a lo averiguado se estima una inversión de aproximadamente \$250.000,00

Descripción	Inversión
Prensa de calor	\$30.000
Matriz de aluminio	\$75.000
Matriz para inyección de Plástico	\$60.000
Dispositivos para ensamblaje	\$5.000
Herramientas	\$15.000
Computadoras para diseño	\$50.000
Mobiliario de oficina	\$15.000
TOTAL	\$250.000

Tabla 5



5.2.2 Capacidad de planta:

Se consultó a ortopedias y farmacias para poder calcular aproximadamente la cantidad de muletas a producir. Las muletas además de ser vendidas pueden ser alquiladas.

Las ortopedias y farmacias que se consultaron están radicadas en la ciudad de Córdoba, y por lo tanto la producción es calculada para la ciudad de Córdoba. Con la cantidad de ortopedias y farmacias en la ciudad y los datos aportados por estas, se elabora una tabla (Tabla 6) deduciendo la demanda estimada, para calcular la cantidad de muletas a producir.

Ortopedias en Ciudad de Córdoba		
Cantidad estimada	30	
Venta por mes (por ortopedia)	3	Pares
Alquiler por mes (por ortopedia)	28	Pares
Farmacias en Ciudad de Córdoba		
Cantidad estimada	209	
Venta por mes (por farmacia)	1	Pares
Alquiler por mes (por farmacia)	5	Pares
Estimación de la demanda		
Ventas por mes	299	Pares
Ventas por año	3.588	Pares
Alquiler por 1 (un) mes	1.885	Pares
Ventas por rotura de alquiler (anual)	942,5	Pares
Demanda Total	4.530,5	Pares
	9.061	Muletas al año
Demanda a abarcar 50%	4.530	Muletas al año
Fabricadas por mes	377	Muletas
Fabricadas por día	18	Muletas
	9	Pares

Tabla 6



La demanda se calcula de la siguiente forma:

- Ventas por mes = ventas por mes * cantidad de ortopedias + ventas por mes * cantidad de farmacias = 299 pares
- Alquiler por mes = alquiler por mes * cantidad de ortopedias + alquiler por mes * cantidad de farmacias = 1885 pares
- Ventas por rotura de alquiler = Alquiler por mes * 0,5 = 942,5 (se considera que la cantidad de muletas que se venden a ortopedias y farmacias es la mitad de las que alquilan)
- Demanda total = (ventas por mes * 12 + venta por alquiler)*2= 9061 muletas anuales
- Demanda a abarcar = 50% demanda total = 4530 muletas anuales (2265 pares)

De donde se calcula la cantidad a fabricar por día para abastecer esta demanda de la siguiente forma:

Fabricadas por día = Demanda a abarcar / 250 días laborales = 18 muletas



5.2.3 Costos del producto en serie:

5.2.3.1 Costos de Materia Prima:

Calculada la demanda, se puede estimar el tiempo de fabricación que va a requerir cada muleta y de esta forma determinar la cantidad de operarios y maquinas.

Cada muleta tiene un tiempo de fabricación de 27 minutos para lograr la demanda calculada en una jornada laboral de 8 horas, esto es produciendo una muleta a la vez. Si se producen cuatro muletas en simultaneo se cuadruplica el tiempo de fabricación teniendo aproximadamente 108 minutos de mano de obra por muleta. La tabla 7 detalla los costos para la producción de las muletas en serie.

Se averiguo que los valores de venta entre al por mayor y al por menor hay una diferencia del 40%. Porcentaje que se aplicara al valor de materia prima para calcular los costos del producto en serie.

Por esto es la diferencia de precio entre el prototipo y producto en serie, teniendo la misma cantidad de materia prima.

Descripción	Utilizado	Costo (Pesos AR)	Costo (Dólares)
Tejido de fibra de vidrio (328gr/m2)	0.165 m2	\$ 8,51	\$ 0,86
MAT (450gr/m2)	0.165 m2	\$ 4,11	\$ 0,41
Resina poliéster (pre-acelerada)	0.2 kg	\$ 13,20	\$ 1,33
Catalizador para resina poliéster	4 cm3	\$ 0,48	\$ 0,05
Resina epoxi + catalizador	0.3 kg	\$ 154,50	\$ 15,56
Bisagras (tercerizadas)	2 unidades	\$ 30	\$ 1,68
Acople Axilar (tercerizado)	1 unidad	\$ 30	\$ 1,68
Tope de goma + axilera + empuñadura (tercerizados)	1 unidad	\$ 20	\$ 1,21
Desmoldante	0.1 kg	\$ 9	\$ 0,91
Pintura (caucho acrílico)	½ L	\$ 52,42	\$ 5,28
TOTAL por muleta		\$ 322,24	\$ 28,97
TOTAL por par		\$ 644,48	\$ 57,94

Tabla 7



5.2.3.2 Costos del Personal:

Para definir el personal que se requiere en la planta, se parte de los tiempos que toma fabricar el producto, tiempos calculados en el punto anterior.

Como cuerpo principal de la organización de la fábrica se dispondrá de mano de obra a cargo de la fabricación, almacenamiento y distribución, ensamblaje y administración de la planta. Un detalle aproximado de costos del personal necesario (costo de sueldo más gastos administrativos e impositivos) se muestra en la tabla 8.

Costos de personal		
Área	Cantidad	Costos estimados(\$)
Fabricación	2	40.000
Administración	1	19.000
Ensamblaje	1	19.000
Almacenaje y distribución	2	34.000
Total	6	112.000
Total Anual		1.344.000

Tabla 8

Un detalle de todos los costos están detallados en la tabla 9.

	Costos Fijos		Costos Variables		Costos totales
Mensual	Alquiler Fabrica	8.000	Materia Prima	121.476,94	
	Servicios	5.000			
	Mantenimiento	1.000			
	Impuesto municipal	3.000			
	Costos de personal	112.000			
	Total mensual	129.000		121.476,94	
Anual	Total anual			3.005.723,28	

Tabla 9



5.2.3.3 Costos totales por muleta:

Se calcula un costo total, para poder recuperar lo invertido, como así también los gastos que se tienen en la empresa. De esta forma se obtiene un nuevo costo unitario de muleta, para luego obtener un beneficio total de una supuesta producción en serie. En la tabla 10 se detalla lo comentado.

Costos totales por muleta		
Crédito	346.762,2	15,30
Costos Fijos	129.000	342,17
Materia Prima	121.476,94	322,24
Costo total por muleta		679,71
Gastos generales 3%		700,10
Costo total por par		1.400,20

Tabla 10

Siendo:

- Prorrateo del crédito solicitado para la inversión por muleta:

Crédito: \$346.762,2 (amortización en 5 años)

Cantidad de muletas producidas en 5 años: 4.530 (anuales) x 5 = 22.650 (muletas)

Precio unitario: $\$346.762,2 / 22.650 = \$15,30$

- Prorrateo de los costos fijos por muleta:

Costos fijos: \$129.000 (por mes)

Cantidad de muletas producidas por mes: 377 (muletas)

Precio unitario: $\$129.000 / 377 = \$342,17$

- El costo por materia prima proviene de la tabla 7: \$322,24

Por lo tanto, el costo total por muleta es:

- Costo total (por muleta) = $15,30 + 342,17 + 322,24 = \$679,71$
- Gastos generales 3% = $679,71 * 1,03 = \$700,10$
- Costo total (por par) = \$1.400,20

Entonces mediante el costo total por par libre de impuestos y suponiendo un margen de ganancia del 25% el valor de venta es \$ARS 1.750 ó USD 98,33 (cotización 29/08/2017).



5.2.3.4 Determinación del monto de crédito:

Para determinar el valor del crédito, se utilizó el sistema Francés en el cual las cuotas (tabla 11) (capital + interés) son iguales y consecutivas, pagando al principio mayor proporción de interés que de capital, invirtiéndose los porcentajes a lo largo de la cancelación de la deuda. Los intereses se aplican sobre el saldo del capital adeudado.

Capital = \$250.000

n = 5 años

i = tasa de interés = 12%

Cuota = Capital * $\frac{((1+i)^n \cdot i)}{(1+i)^n - 1}$ = \$69.352,43

AÑOS	CUOTA	SALDO	INTERÉS	AMORTIZACIÓN
1	69352,43	250000	30000	39352,43
2	69352,43	210647,6	25277,71	44074,72
3	69352,43	166572,8	19988,74	49363,69
4	69352,43	117209,2	14065,1	55287,33
5	69352,43	61921,83	7430,62	61921,81
	346762,2		96762,17	250000

Tabla 11



En la tabla 12 se detallan los costos e ingresos a lo largo de un año. Resaltado en amarillo el intervalo dentro del cual se encuentra el punto de equilibrio (costos totales = ingresos), como se aprecia claramente en la figura 39. A partir de esta cantidad de ventas se obtiene una ganancia.

Costos fijos + cuota	Costos Mp	Costos totales	Ingresos	Cantidad
1617352,43	0	1617352	0	0
1617352,43	121476,9	1738829	356491,2	377
1617352,43	242953,9	1860306	712982,4	754
1617352,43	364430,8	1981783	1069473,6	1131
1617352,43	485907,8	2103260	1425964,8	1508
1617352,43	607384,7	2224737	1782456	1885
1617352,43	728861,6	2346214	2138947,2	2262
1617352,43	850338,6	2467691	2495438,4	2639
1617352,43	971815,5	2589168	2851929,6	3016
1617352,43	1093292	2710645	3208420,8	3393
1617352,43	1214769	2832122	3564912	3770
1617352,43	1336246	2953599	3921403,2	4147
1617352,43	1459657	3077009	4283568	4530

Tabla 12

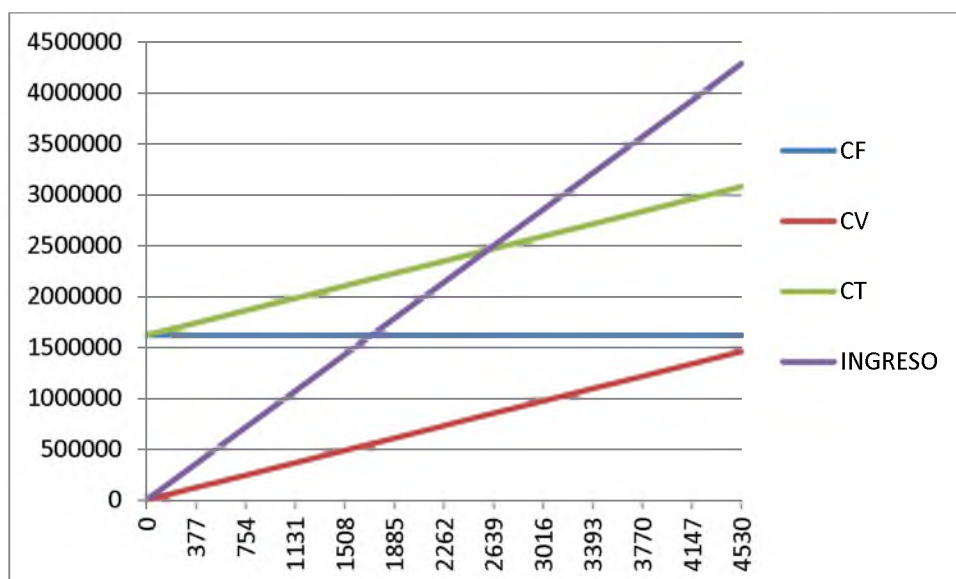


Fig 39

5.3 Criterios de ubicación de planta:

- Proximidad fuentes de abastecimiento
- Proximidad de la demanda
- Mano de obra calificada y de fácil acceso
- Infraestructura (Electricidad, Gas, calles pavimentadas, cercanía a rutas)
- Impuestos

5.4 Zonas de la planta:

En esta sección se detallan las áreas con la que contaría la empresa.

- Recepción
- Administración
- Vestuarios
- Fabricación de partes
- Recepción de partes adicionales-tercerizadas
- Zona de ensamblaje
- Zona de almacenaje y distribución

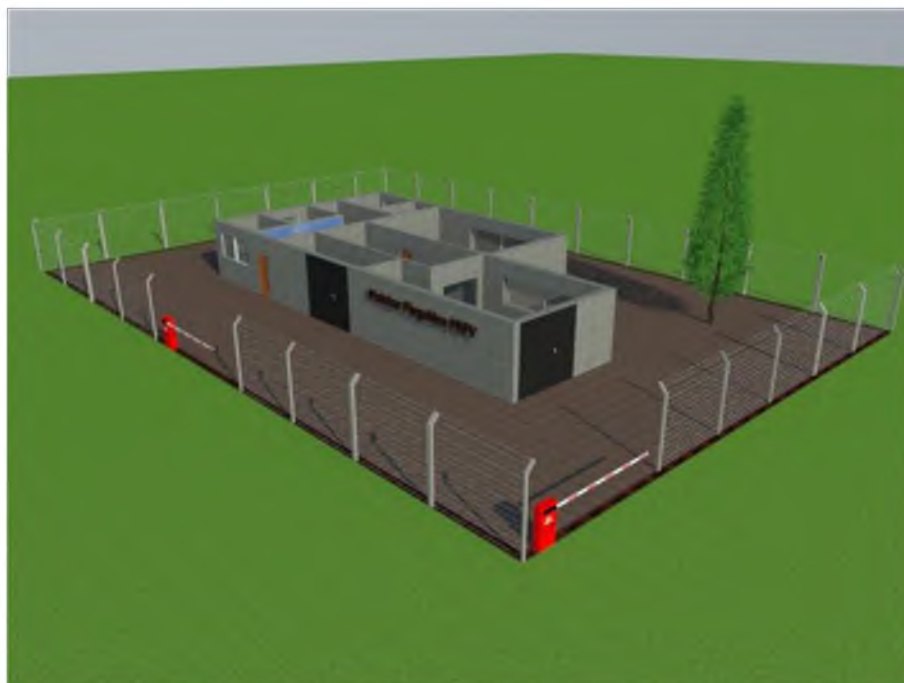


Fig. 40 Imagen de la Planta de Muletas Plegables



Fig. 41 Frente Planta de Muletas Plegables






Fig. 42 Sectores de Planta de Muletas



Fig. 43 Dimensiones generales de la planta.

5.5 Competencia en el mercado:

Las muletas axilares se encuentran en el mercado en distintos materiales, siendo las más comunes las de madera y las de aluminio. A continuación en la tabla 13 se muestran algunas de las muletas que se pueden conseguir en el mercado nacional a donde está enfocado el proyecto.

Marca	Características	Imagen	Precio de Mercado
Silfab	Aluminio, peso 1,8kg, regulable, peso máx. 100Kg		\$980 el par
Madera (sin marca)	Madera, peso 2kg, regulables en altura Acolchadas en axilas y manos Livianas y cómodas Peso máx. 100Kg		\$640 el par
Massuar	Madera, peso 1,7Kg, regulables en altura Acolchadas en axilas y manos Livianas y cómodas Peso máx. 100Kg		\$1387 el par




Trabajo Final	PRFV, peso 0,800Kg, acolchadas en axilas y manos, ultra livianas, plegables. Peso máx. 150Kg, apta sala de rayos x				\$1750 el par
---------------	--	--	--	--	---------------

Tabla 13

Si bien la muleta desarrollada tiene un valor por encima de las demás, esta cuenta con mejores características y beneficios.



5.6 Conclusión económica:

Considerando que el precio final del prototipo no es elevado no requiere de una inversión costosa. Concluyendo que es viable la fabricación del prototipo para un posterior análisis y desarrollo de la muleta.

En cuanto al precio aproximado obtenido en la supuesta producción en serie, este es un tanto mayor que los de la competencia. Pero esta muleta de material compuesto plegable tiene muchos beneficios por sobre las otras. Por lo que creemos que existe un balance justo entre precio y producto ofrecido.

Teniendo en cuenta que la producción es en la ciudad de Córdoba, con el objetivo de ampliar el mercado y por lo tanto la producción. Se ve un proyecto viable en cuanto a aspectos económicos.



6 Conclusión final:

La formulación de este Trabajo Final para graduarnos de la carrera de Ingeniería Mecánica, desde la concepción de la idea-problema hasta el hallazgo y construcción de la solución, ha supuesto no sólo poner en juego experiencias y aprendizajes ganados durante el cursado de la carrera sino también la ampliación de los mismos. Para cumplir con la misión que se espera de un ingeniero, es decir, encontrar la forma más efectiva y eficaz de realizar el producto, debimos tener en cuenta una multiplicidad de factores que intervienen en su diseño. Esto nos obligó a llevar adelante un permanente proceso de análisis y síntesis, en donde intervinieron conceptos y herramientas desarrollados a lo largo de la carrera. Pero, además de las definiciones específicamente técnicas, debimos evaluar alternativas y tomar decisiones sobre la organización de las áreas de trabajo y del equipo para conseguir la máxima economía en el trabajo y la minimización de los tiempos de producción. La gestión de todos estos parámetros nos permitió experimentar que ningún factor es de menor o mayor envergadura que otro si el propósito es encontrar una solución de calidad.

El favorable impacto social del producto puede derivarse, desde un punto de vista técnico, a través de las descripciones analíticas del producto final que se presentan en este trabajo y que permiten su evaluación y comparación con los productos ya existentes. En los cálculos que se presentaron está demostrado el alcance de uno de los objetivos del diseño: desarrollar un producto con un material más liviano que los existentes. Allí puede constatar que si bien, debido a su densidad, el área de material compuesto debe ser mayor a la de las muletas comerciales, los cálculos primero y luego los ensayos confirmaron un excelente desempeño, obteniendo mayor resistencia de la esperada.

Otro objetivo cumplido fue el diseño y fabricación de una innovación sobre un producto ya existente, proporcionándole tanto mejoras ergonómicas como de seguridad y facilidad de uso.

En definitiva, entendemos que las competencias técnico-profesionales puestas en juego en este trabajo, así como la implicación personal en la resolución de problemas de un sector vulnerable de la población, son evidencias de que se han cumplido los objetivos de formación integral que la Universidad se propone para sus graduados. La experiencia concretada nos permitirá actuar en el campo profesional no sólo con solvencia técnica sino también con integridad ética y responsabilidad social.

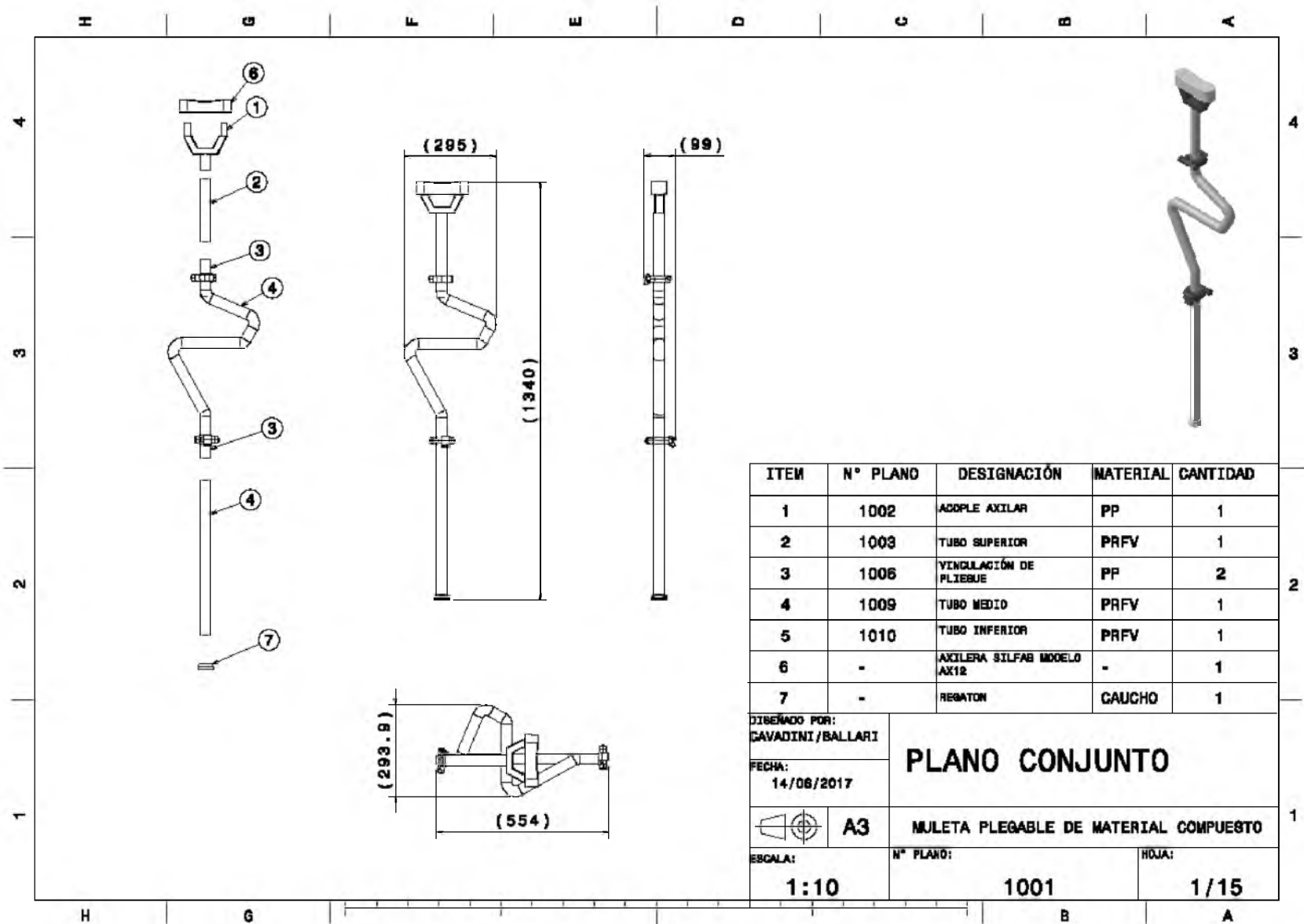


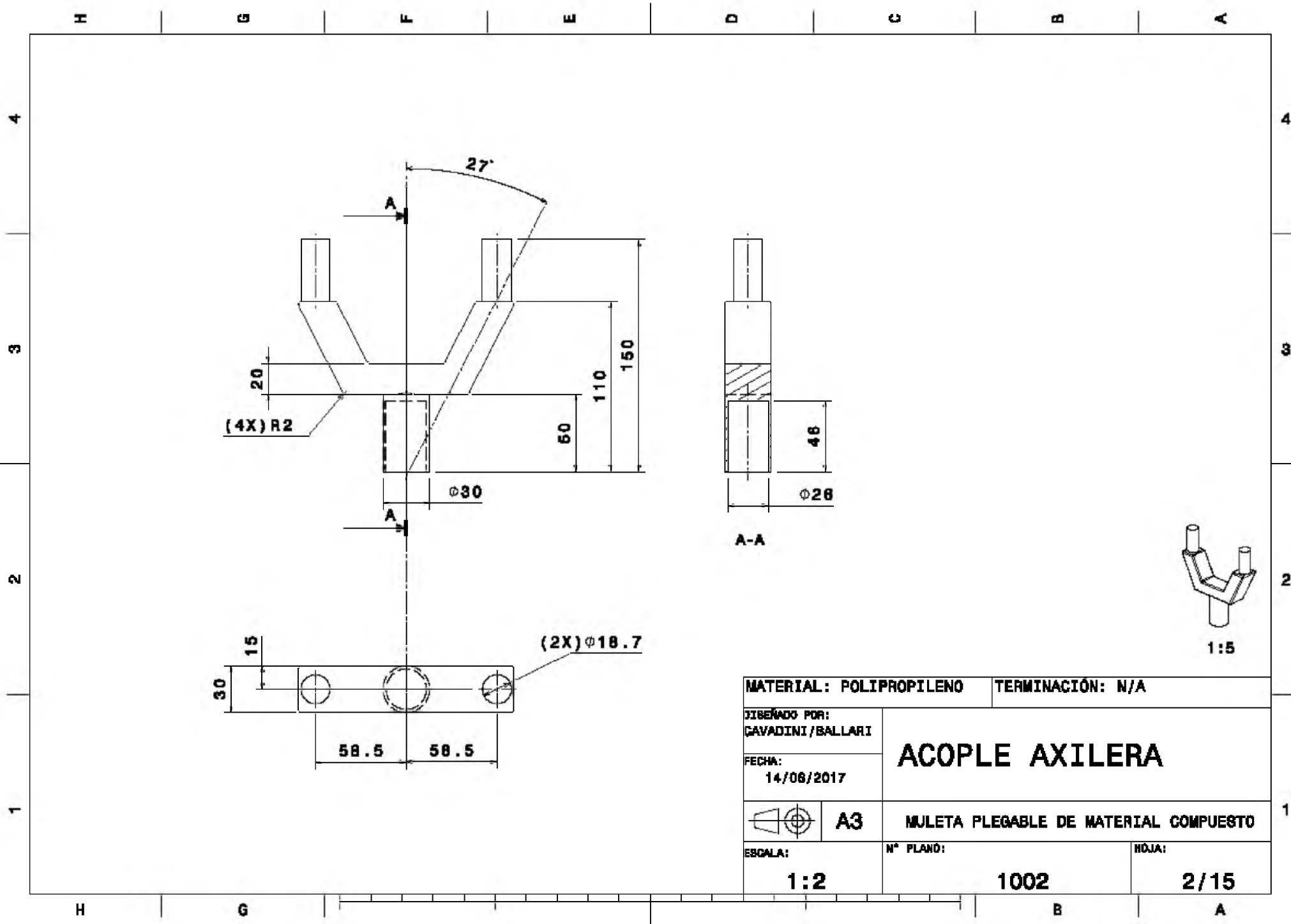
7 Bibliografía:

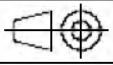
- Budynas, Richard G. (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley. Mexico, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A.
- Sinek, Simon (2011). Start with Why. London: Penguin Books Ltd.
- Smith, William F. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2014). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 0. Censo del Bicentenario. Serie C. Población con dificultad o limitación permanente. - 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC.
- Link Universidad de Colombia: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/muletas-plegables-facilitan-movilidad-de-usuarios.html>
- Link características PRFV: <http://www.tecnipul.com/es/caracteristicas-tecnicas.php>
- Link características PLA: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Poly lactide/>
- Link características PP: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Polypropylene-PP-Homopolymer>

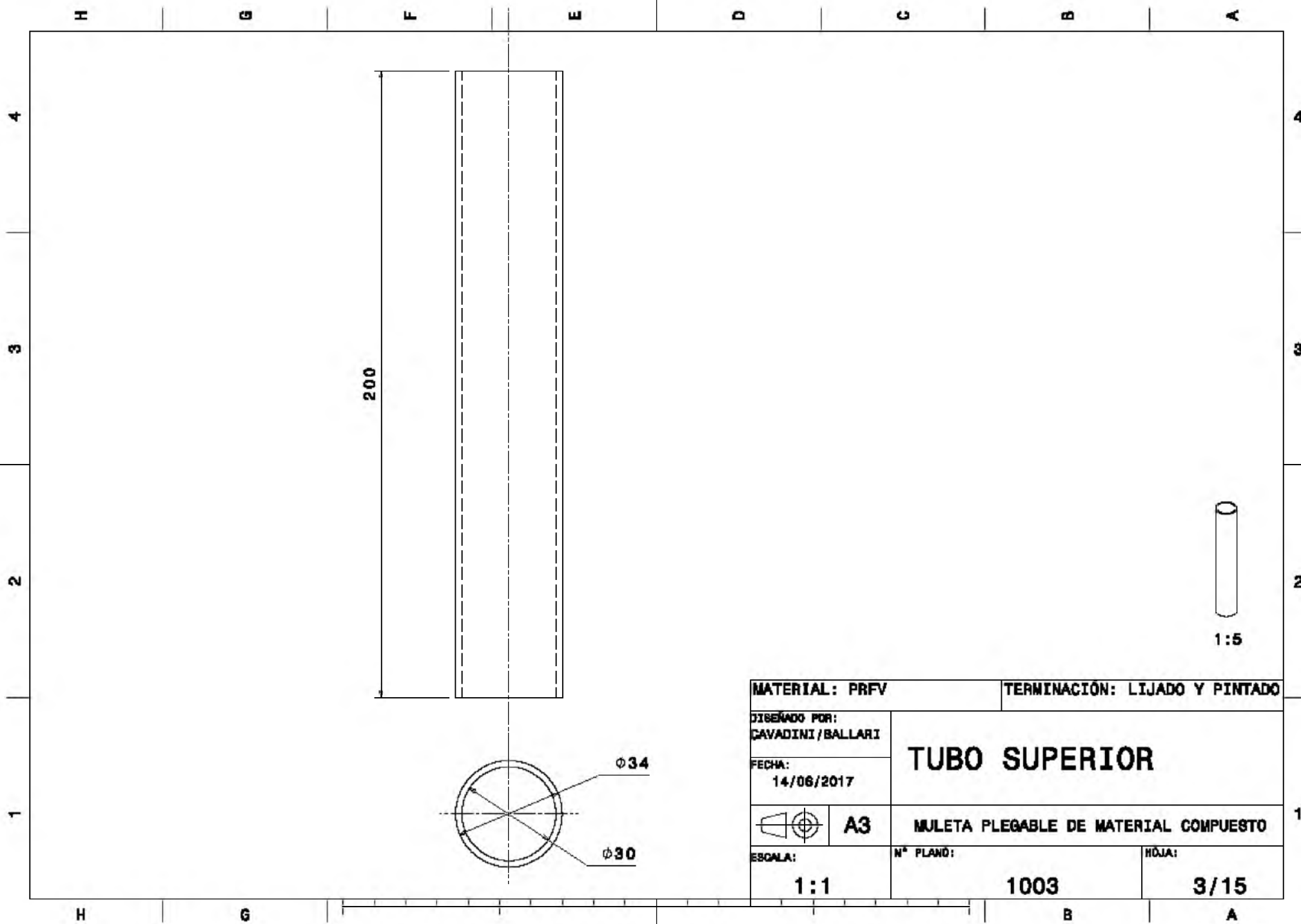
8 Anexos:

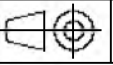
8.1 Planos:

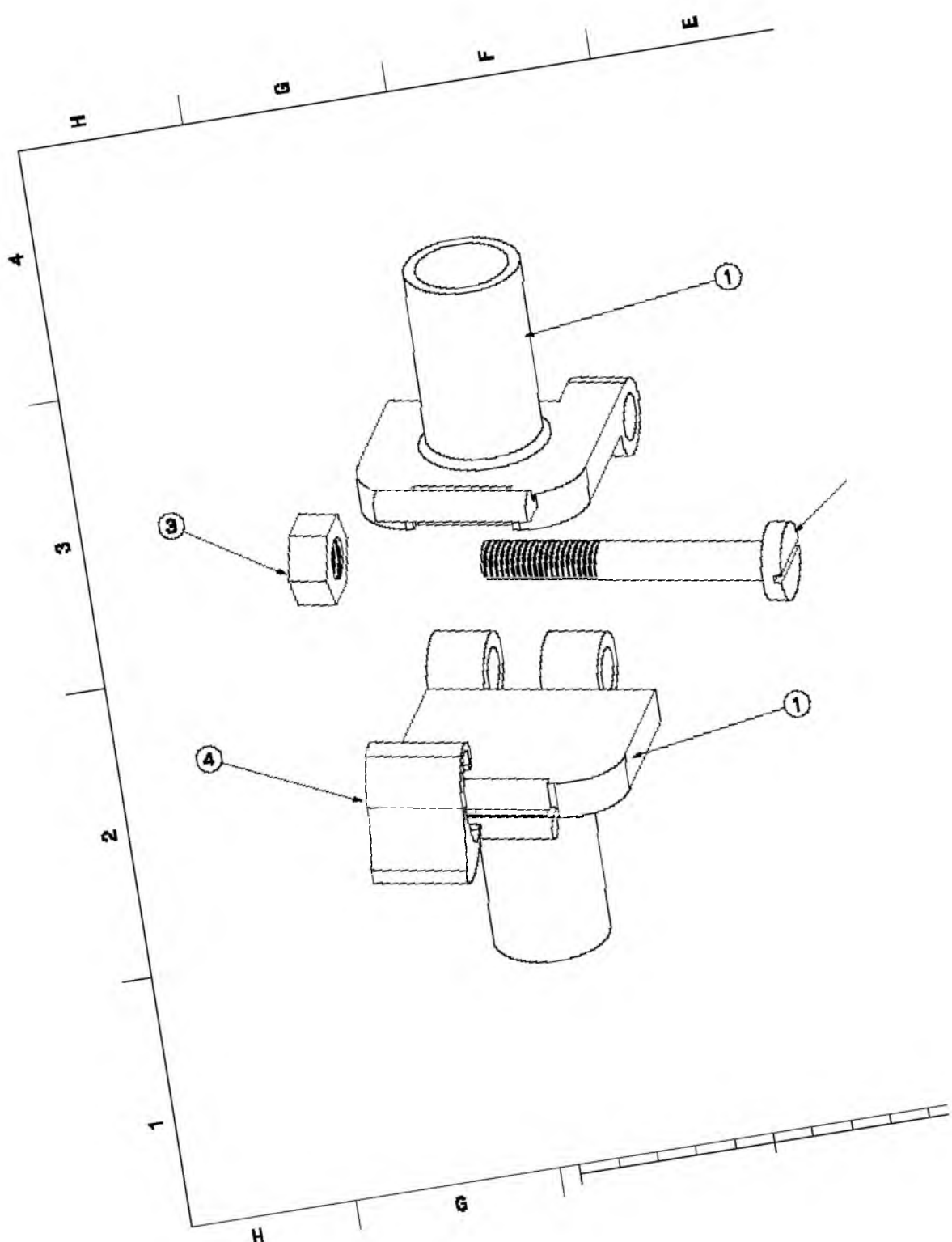




MATERIAL: POLIPROPILENO		TERMINACIÓN: N/A	
DISEÑADO POR: CAVADINI/BALLARI		ACOPLE AXILERA	
FECHA: 14/06/2017			
 A3		MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
ESCALA: 1:2	Nº PLANO: 1002	FOLIO: 2/15	



MATERIAL: PRFV		TERMINACIÓN: LIJADO Y PINTADO	
DISEÑADO POR: CAVADINI/BALLARI		TUBO SUPERIOR	
FECHA: 14/06/2017			
 A3		MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
ESCALA: 1:1	N° PLANO: 1003	HOJA: 3/15	



D

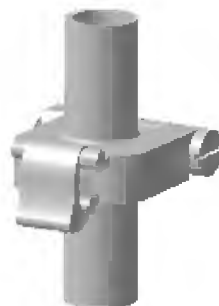
C

B

A

4

3



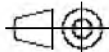
1:2

ITEM	N° PLANO	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	1008	VINCULACIÓN DE PLIEGUE	PP	2
2	-	TORNILLO ECENTRA MOD. SR1802 M5X7D	PP	1
3	-	TUERCA ECENTRA MOD. SR1806 M5	PP	1
4	1008	TRABA VINCULACIÓN DE PLIEGUE	PP	1

DISEÑADO POR:
CAVADINI/BALLARI

FECHA:
14/06/2017

CONJUNTO VINCULACIÓN PLIEGUE



A3

MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO

ESCALA:

1:1

N° PLANO:

1004

HÓJA:

4/15

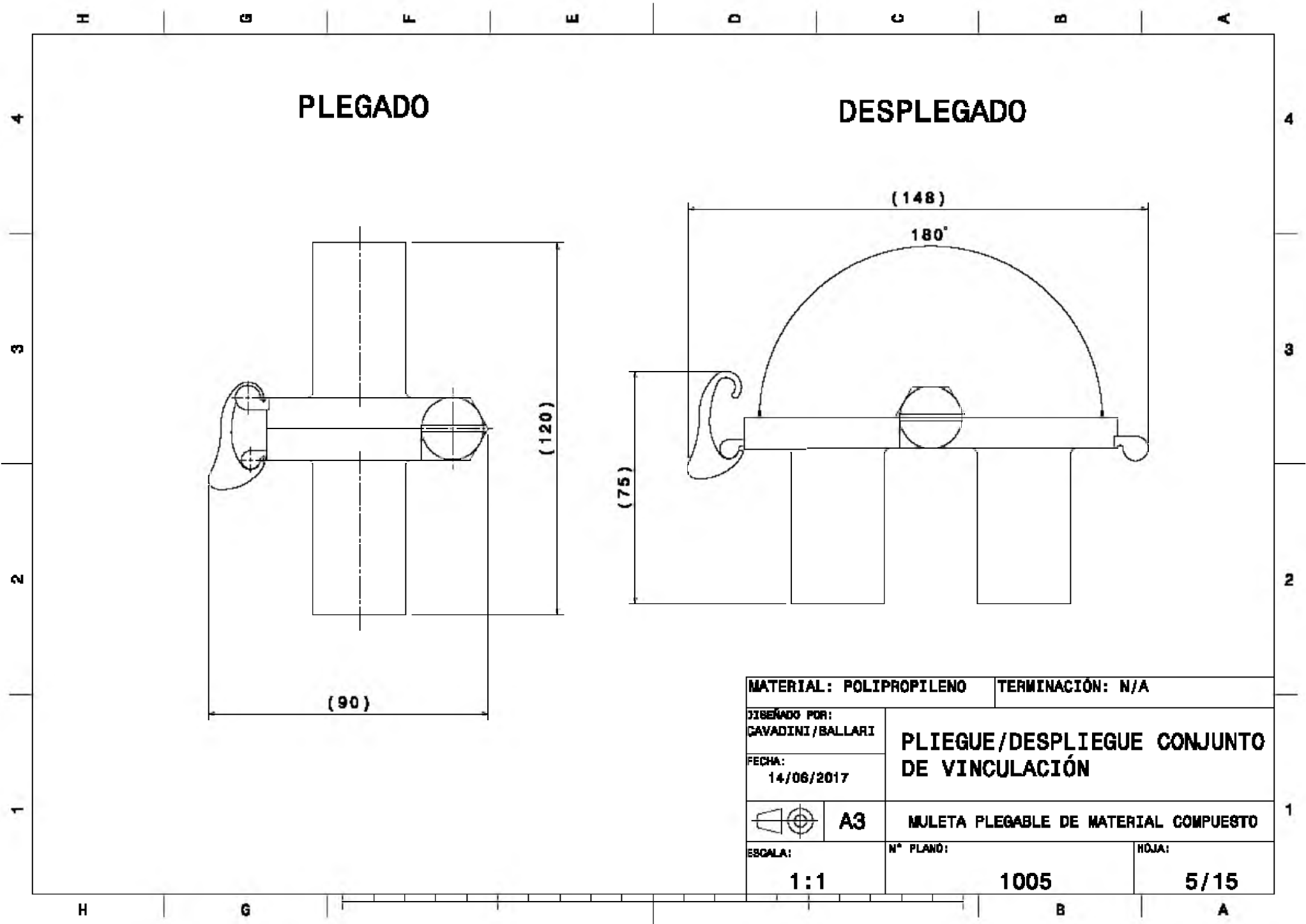
B

A

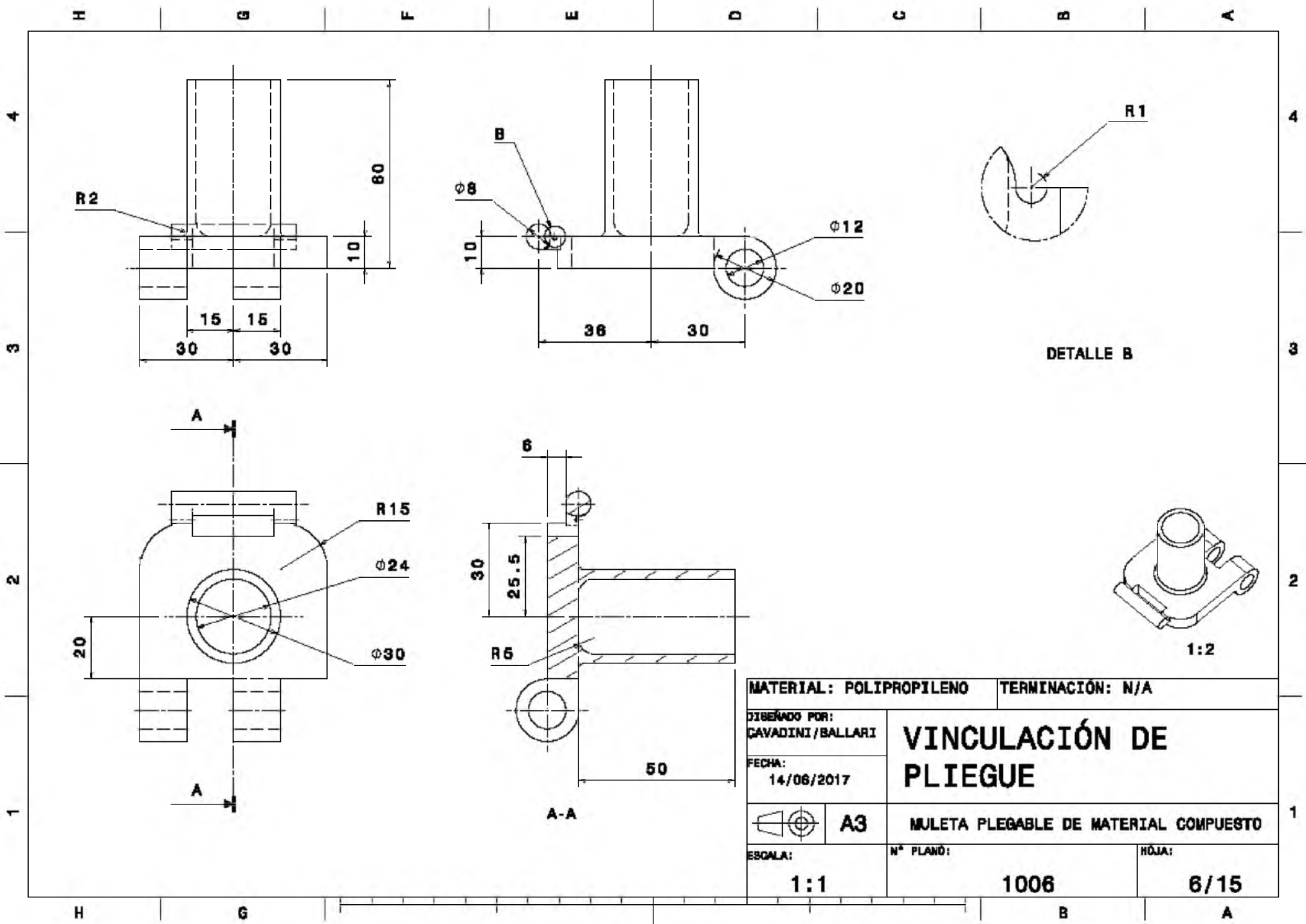
2

2

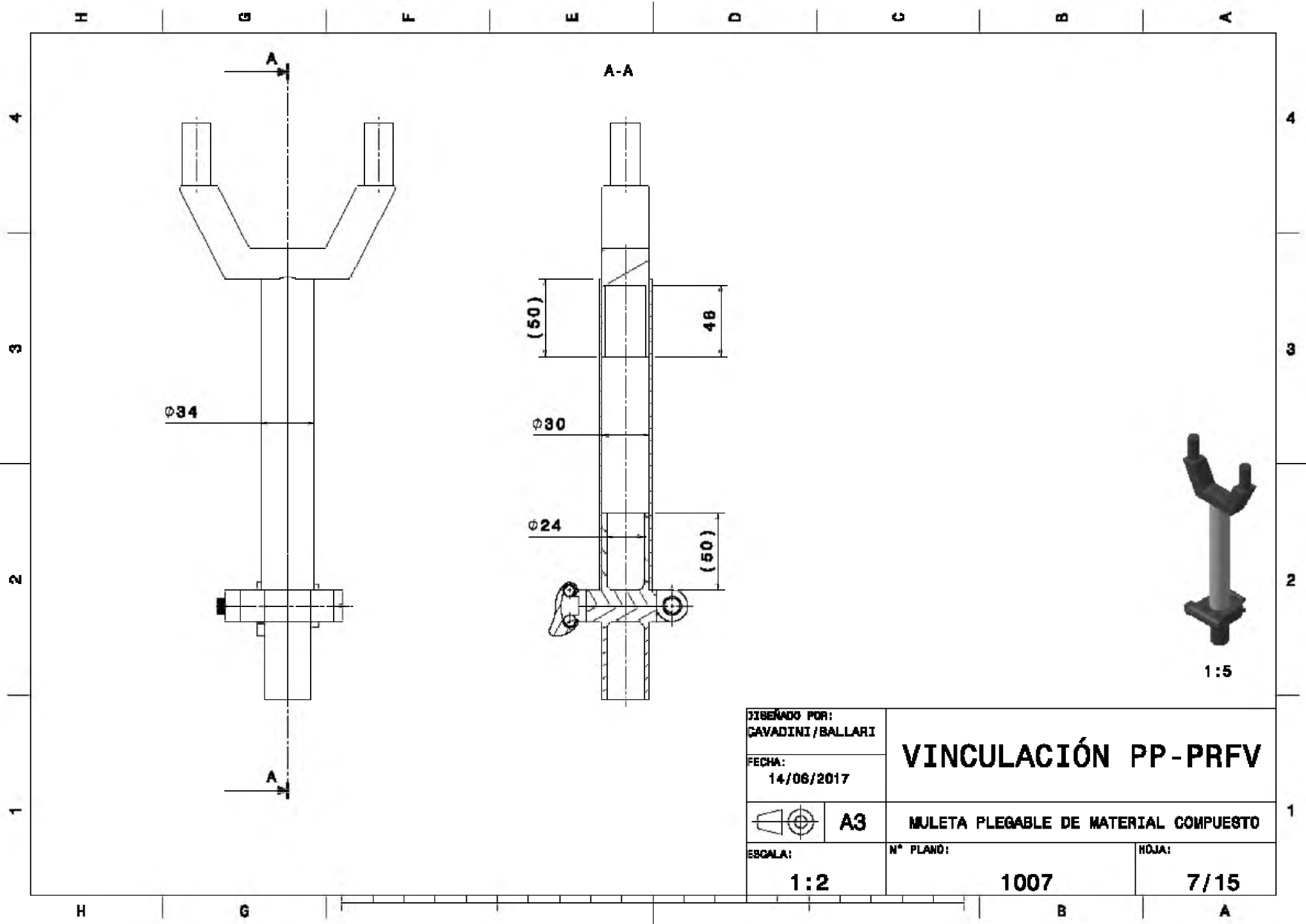
1



MATERIAL: POLIPROPILENO		TERMINACIÓN: N/A	
DISEÑADO POR: CAVADINI/BALLARI		PLIEGUE/DESPLIEGUE CONJUNTO DE VINCULACIÓN	
FECHA: 14/06/2017			
		A3	MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO
ESCALA:	1:1	Nº PLANO:	1005
		HÓJIA:	5/15



MATERIAL: POLIPROPILENO		TERMINACIÓN: N/A	
DISEÑO POR: CAVADINI / BALLARI		VINCULACIÓN DE PLIEGUE	
FECHA: 14/06/2017			
ESCALA: 1:1		MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
N° PLANO: 1006		HÓJIA: 6/15	



DISEÑADO POR:
CAVADINI / BALLARI

FECHA:
14/06/2017

ESCALA:
1:2

VINCULACIÓN PP-PRFV

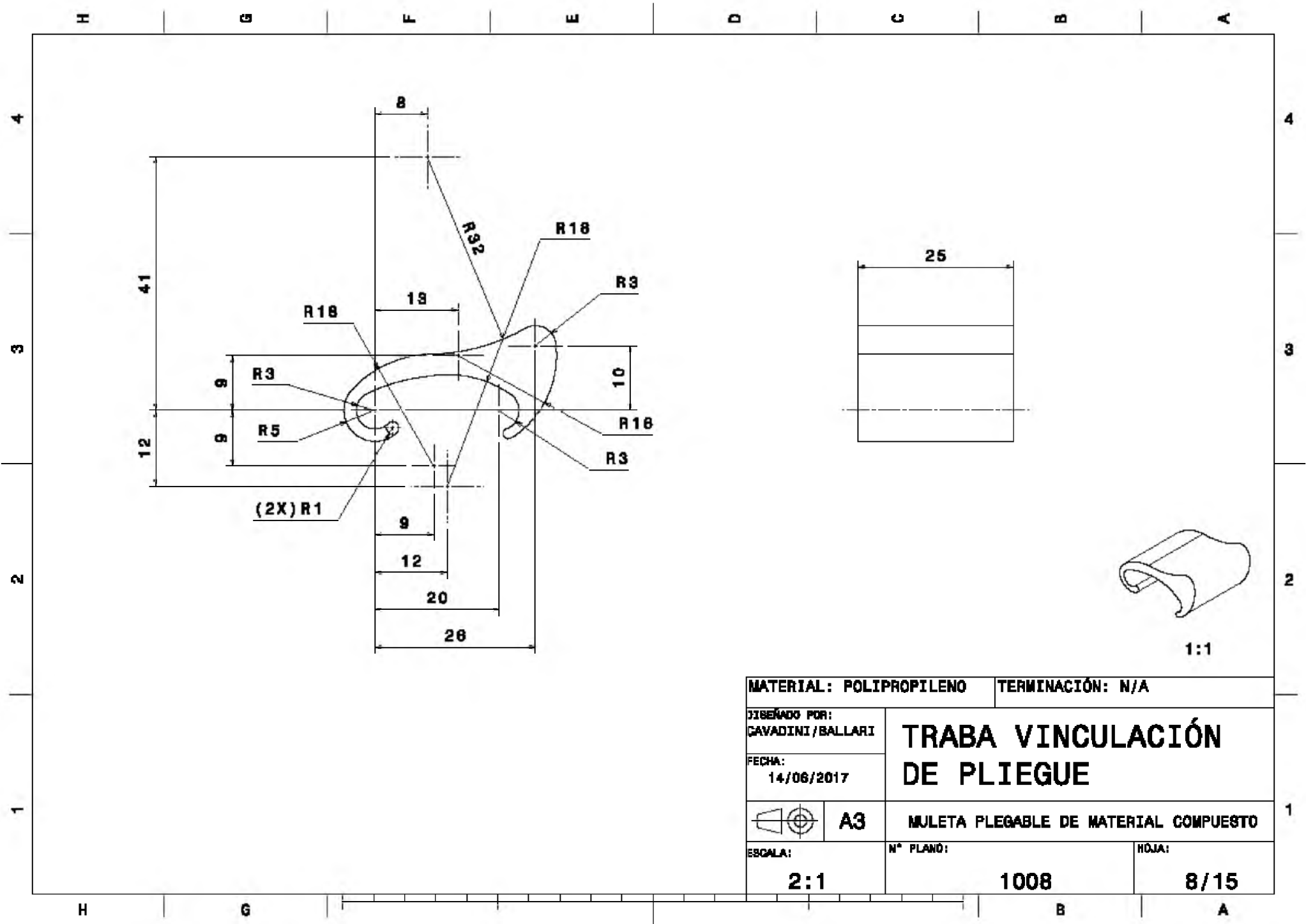
MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO

N° PLANO:

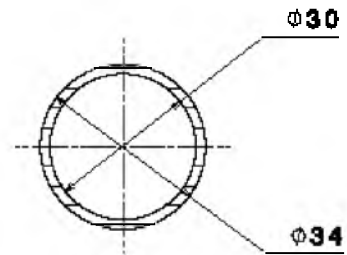
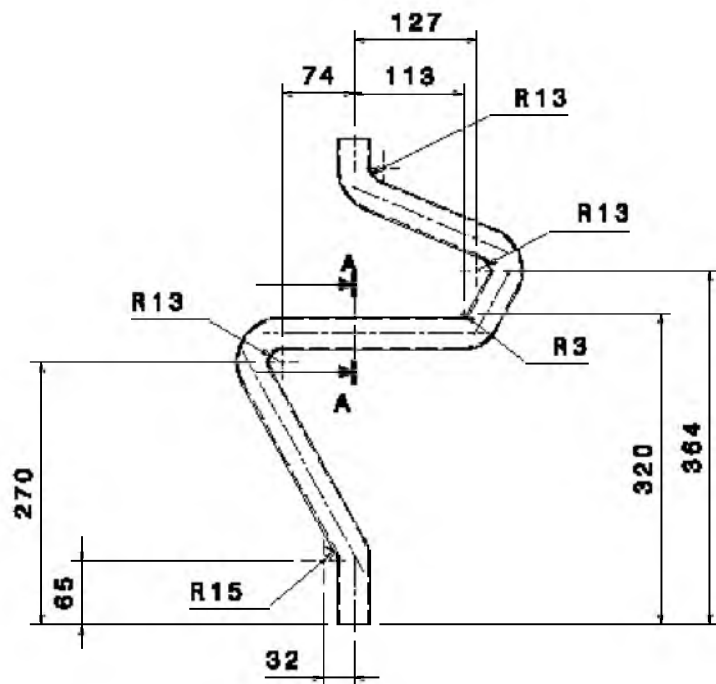
1007

HÓJIA:

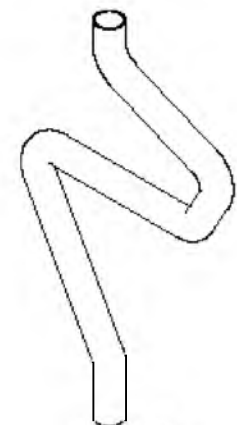
7/15



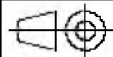
MATERIAL: POLIPROPILENO		TERMINACIÓN: N/A	
DISEÑADO POR: CAVADINI/BALLARI		TRABA VINCULACIÓN DE PLIEGUE	
FECHA: 14/06/2017			
	A3	MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 1008	HOJA: 8/15	

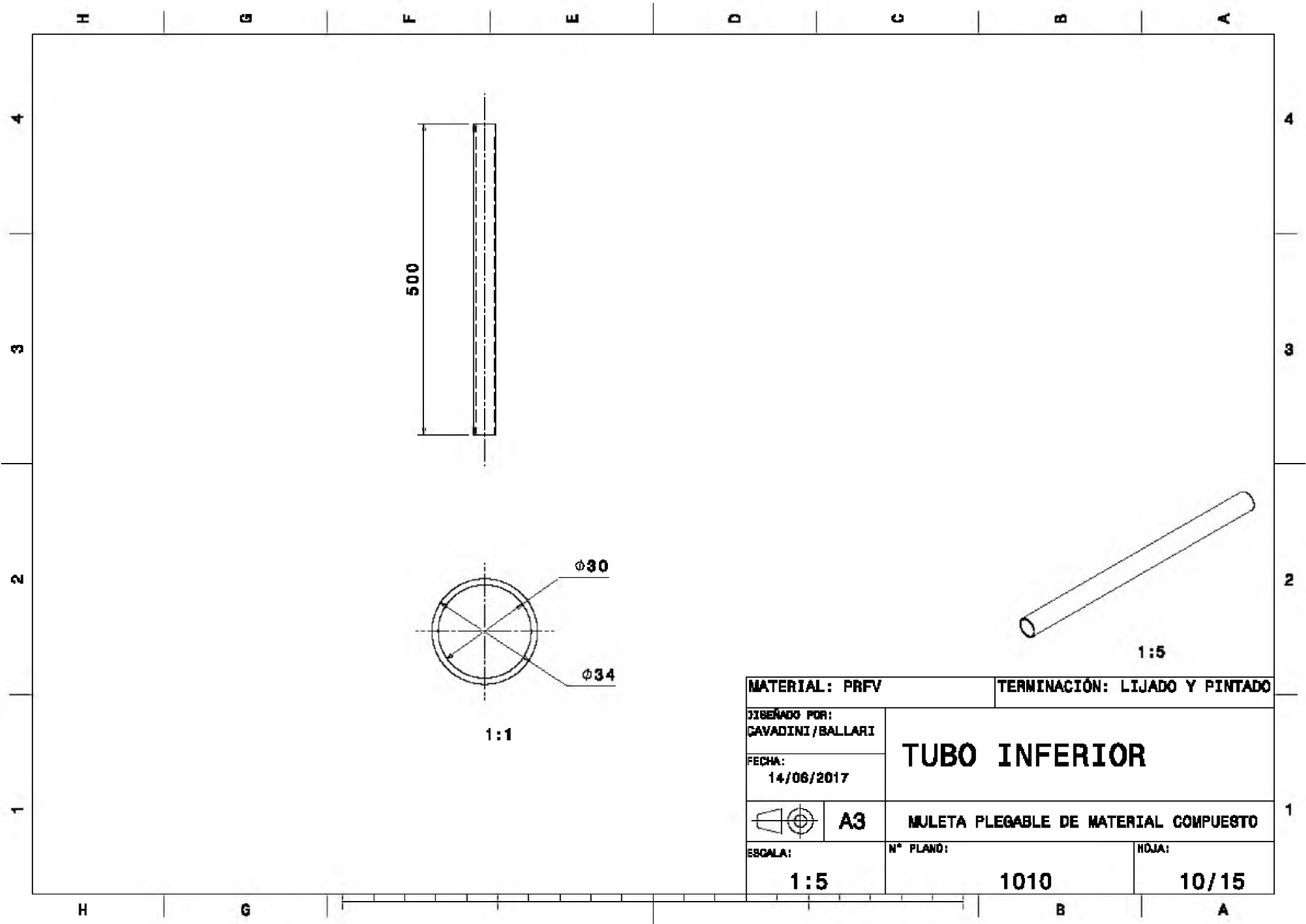


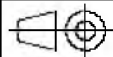
A-A 1:1

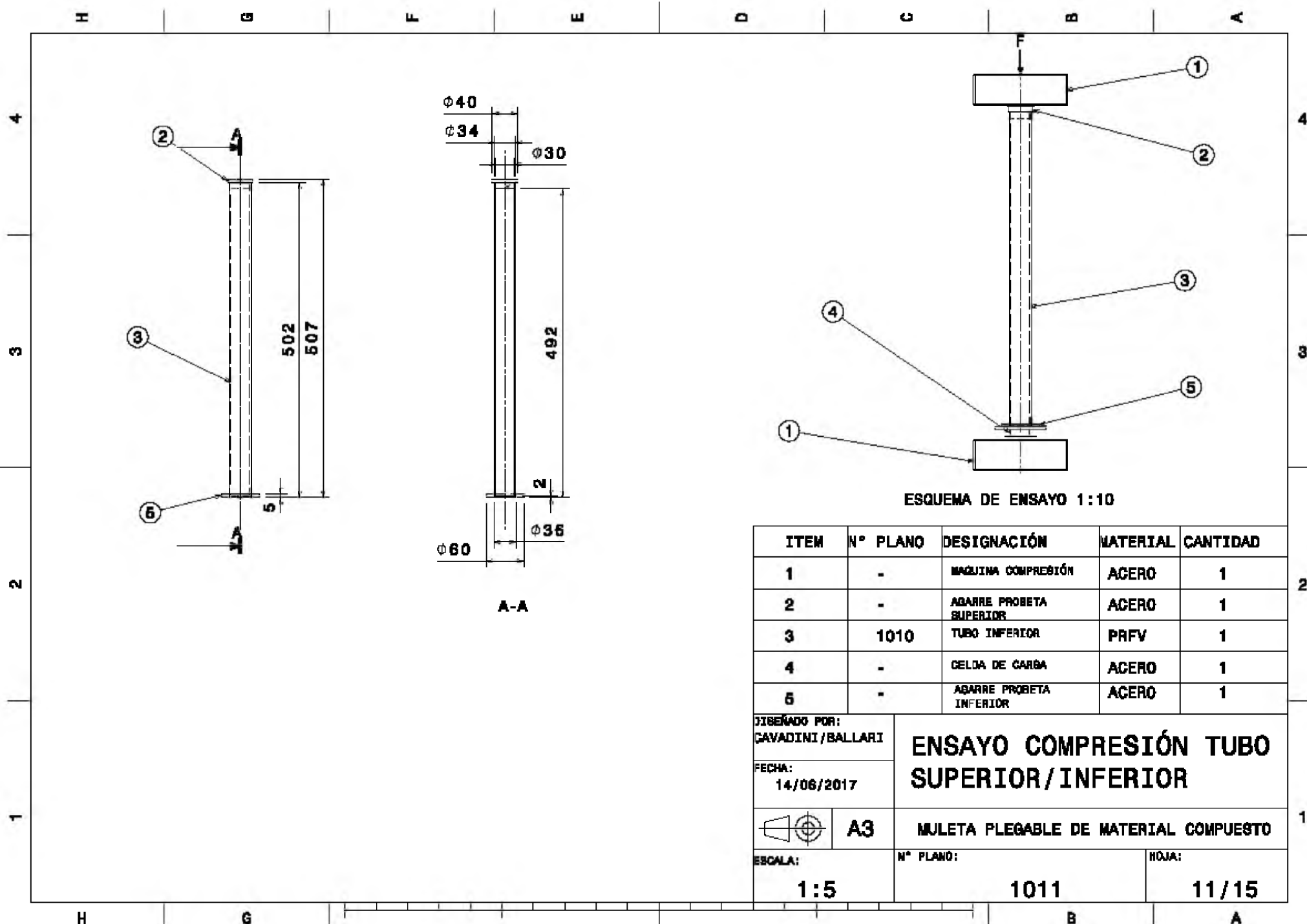


1:5

MATERIAL: PRFV		TERMINACIÓN: LIJADO Y PINTADO	
DISEÑADO POR: CAVADINI/BALLARI		TUBO MEDIO	
FECHA: 14/06/2017			
 A3		MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
ESCALA: 1:5	N° PLANO: 1009	HOJA: 9/15	



MATERIAL: PRFV		TERMINACIÓN: LIJADO Y PINTADO		
DISEÑADO POR: CAVADINI / BALLARI		<h1>TUBO INFERIOR</h1>		
FECHA: 14/06/2017				
		A3	MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
ESCALA: 1:5		N° PLANO: 1010		HOJA: 10/15



ESQUEMA DE ENSAYO 1:10

ITEM	N° PLANO	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	-	MAQUINA COMPRESIÓN	ACERO	1
2	-	AGARRE PROBETA SUPERIOR	ACERO	1
3	1010	TUBO INFERIOR	PRFV	1
4	-	CELDA DE CARGA	ACERO	1
5	-	AGARRE PROBETA INFERIOR	ACERO	1

DISEÑADO POR:
GAVADINI /BALLARI

FECHA:
14/06/2017

ENSAYO COMPRESIÓN TUBO SUPERIOR/INFERIOR

 A3

MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO

ESCALA:

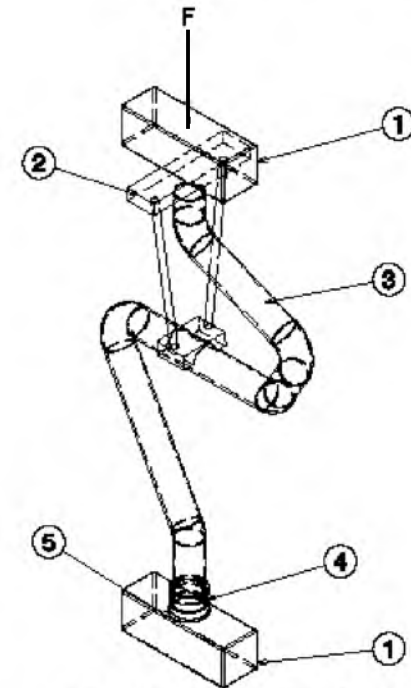
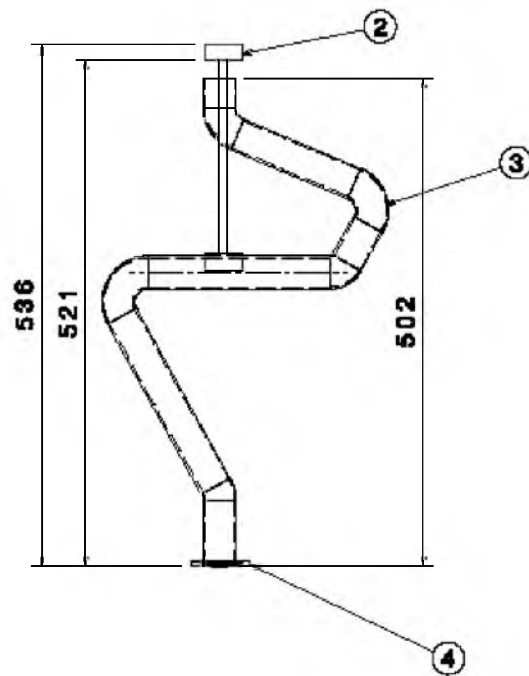
1:5

N° PLANO:

1011

HÓJA:

11/15

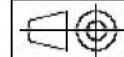


ESQUEMA DE COMPRESIÓN 1:5

ITEM	N° PLANO	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	-	MÁQUINA COMPRESIÓN	ACERO	1
2	1013	DISPOSITIVO DE ABARRE	ACERO	1
3	1009	TUBO MEDIO	PRFV	1
4	-	ABARRE PROBETA INFERIOR	ACERO	1
5	-	CELDA DE CARGA	ACERO	1

DISEÑADO POR:
CAVADINI/BALLARI

FECHA:
14/06/2017



A3

ENSAYO COMPRESIÓN TUBO MEDIO

MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO

ESCALA:

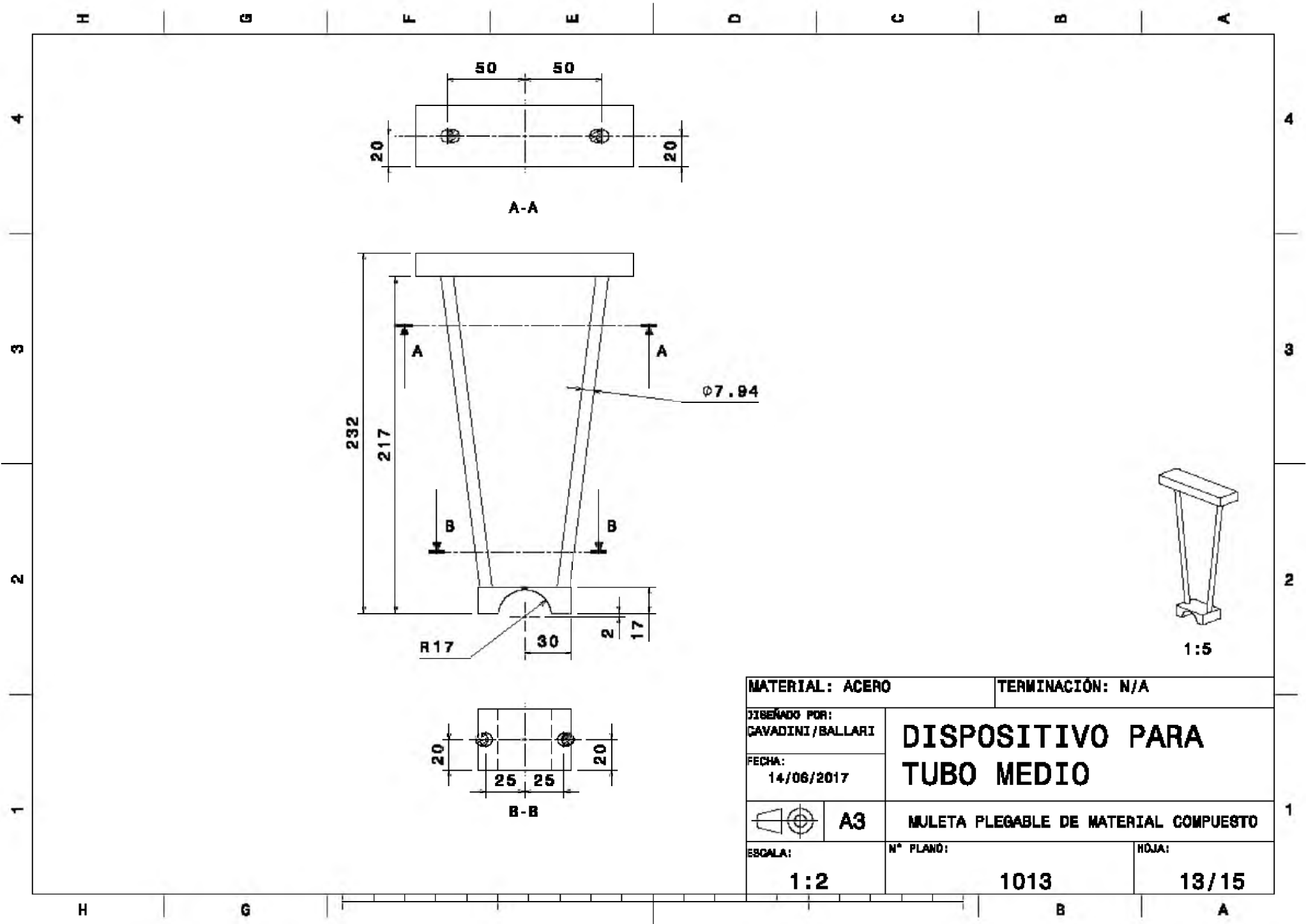
1:5

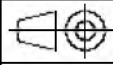
N° PLANO:

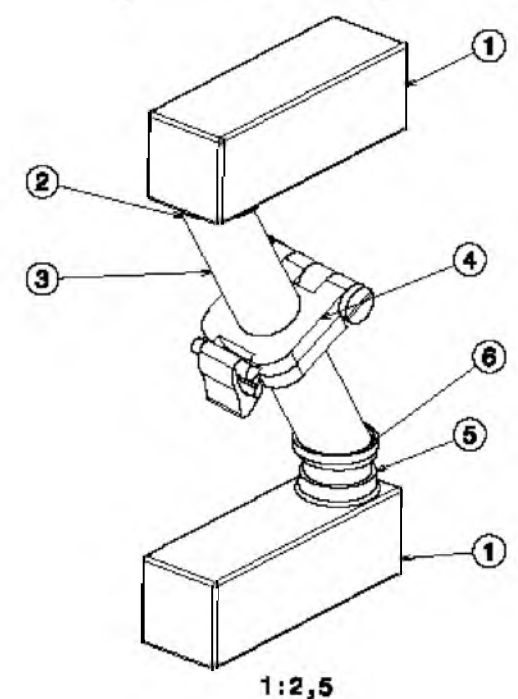
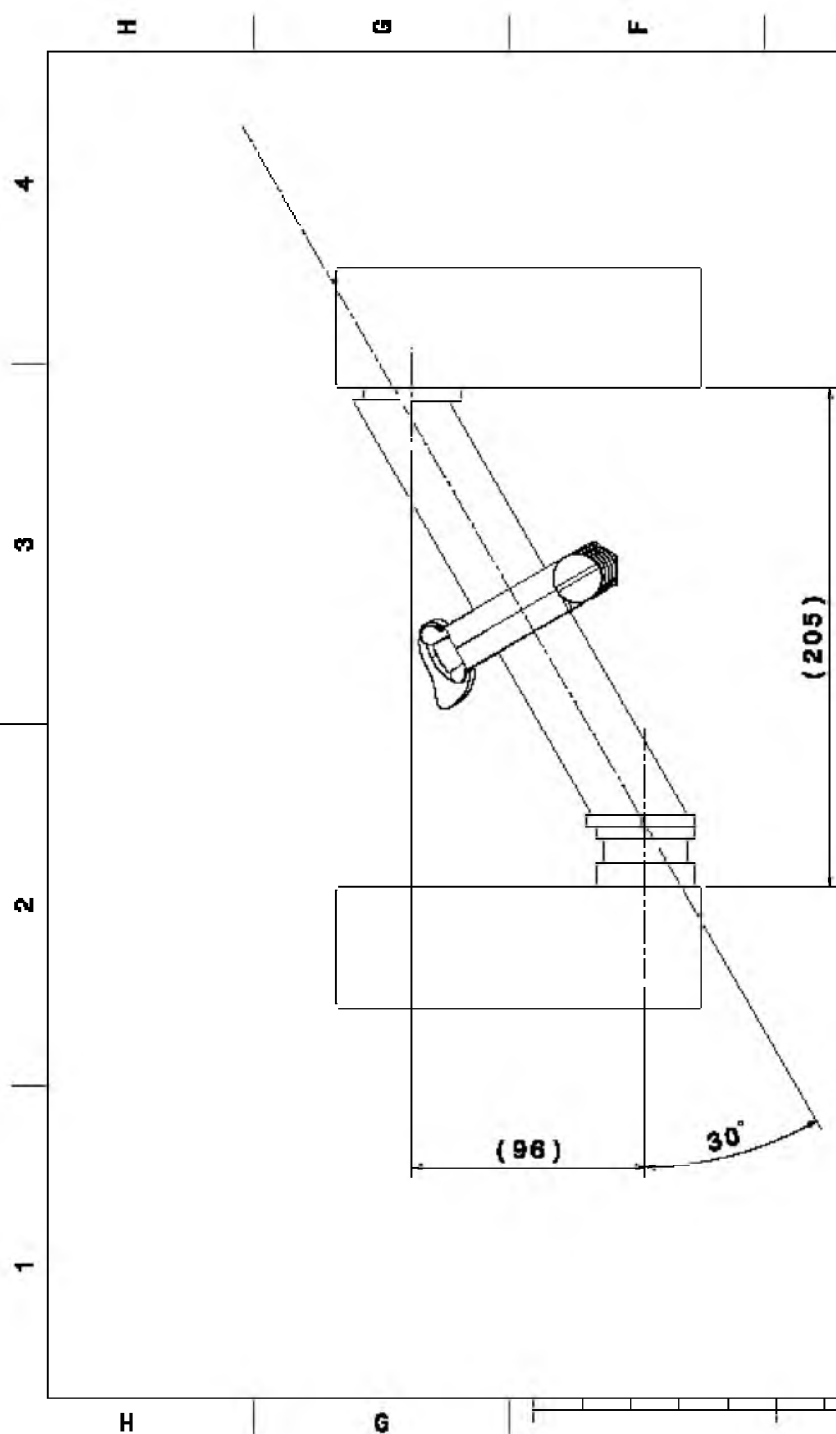
1012

FOLIA:

12/15



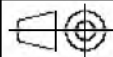
MATERIAL: ACERO		TERMINACIÓN: N/A	
DISEÑADO POR: CAVADINI / BALLARI		DISPOSITIVO PARA TUBO MEDIO	
FECHA: 14/06/2017			
 A3		MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO	
ESCALA: 1:2	N° PLANO: 1013	HOJA: 13/15	



ITEM	N° PLANO	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	-	MAQUINA COMPRESIÓN	ACERO	1
2	-	AGARRE PROBETA SUPERIOR	ACERO	1
3	1003	TUBO SUPERIOR	PRFV	2
4	1006	VINCULACIÓN DE PLIEGUE	PP	1
5	-	CELDA DE CARGA	ACERO	1
6	-	AGARRE PROBETA INFERIOR	ACERO	1

DISEÑADO POR:
GAVADINI/BALLARI

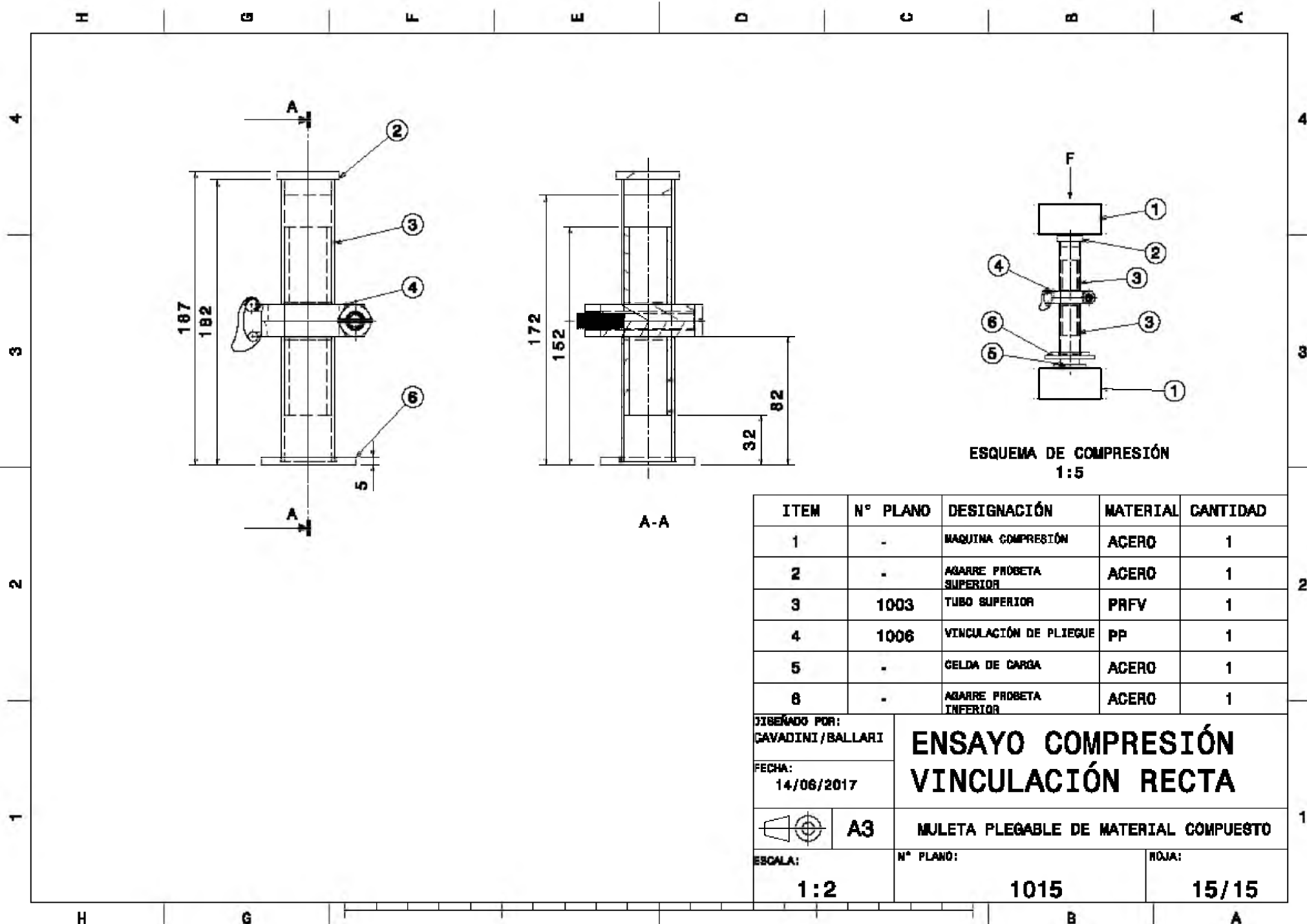
FECHA:
14/06/2017

 A3

**ENSAYO COMPRESIÓN
VINCULACIÓN 30°**

MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO

ESCALA: 1:2	N° PLANO: 1014	FOLIO: 14/15
-----------------------	--------------------------	------------------------



ITEM	N° PLANO	DESIGNACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	-	MAQUINA COMPRESIÓN	ACERO	1
2	-	AGARRE PROBETA SUPERIOR	ACERO	1
3	1003	TUBO SUPERIOR	PRFV	1
4	1006	VINCULACIÓN DE PLIEGUE	PP	1
5	-	CELDA DE CARGA	ACERO	1
6	-	AGARRE PROBETA INFERIOR	ACERO	1

DISEÑADO POR:
GAVADINI/BALLARI

FECHA:
14/06/2017

 A3

ESCALA:

1:2

ENSAYO COMPRESIÓN VINCULACIÓN RECTA

MULETA PLEGABLE DE MATERIAL COMPUESTO

N° PLANO:

1015

FOLIA:

15/15



8.2 Tablas:

8.2.1 Características PRFV:

Tabla 12.3 Algunas propiedades mecánicas de los compuestos de poliéster y fibra de vidrio

	Tela tejida	Roving triturado	Compuesto de moldeo de lámina
Resistencia a la tensión, ksi (MPa)	30-50 (206-344)	15-30 (103-206)	8-20 (55-138)
Módulo de tensión elástica, Msi (GPa)	1.5-4.5 (103-310)	0.80-2.0 (55-138)	
Resistencia al impacto, barra con muesca, Izod pie · lb/pulg (J/m)	5.0-30 (267-1600)	2.0-20.0 (107-1070)	7.0-22.0 (374-1175)
Densidad (g/cm ³)	1.5-2.1	1.35-2.30	1.65-2.0

Fig. 44 (Propiedades PRFV para cálculo de resistencia a compresión)



Las características técnicas de los perfiles PRFV pueden variar según la geometría y grosor del perfil y según el tipo, orientación y gramaje del refuerzo de fibra utilizado.

Tecnipul recomienda validar la idoneidad del perfil para cada aplicación.

Propiedades físicas	Valor	Unidades	
Densidad	1.8 - 2.0	gr / cm ³	
Contenido de vidrio	45 - 80	%	
Absorción de agua	< 1 %	peso	
Propiedades Mecánicas	Valor	Unidades	
Dureza Barcol	> 40	-----	
Impacto IZOD con entalla	> 200	kJ / m ²	
	Longitudinal	Transversal	
Resistencia a la tracción	200 - 550	10 - 70	MPa
Resistencia a la flexión	170 - 240	10 - 70	MPa
Resistencia a la compresión	170 - 450	10 - 70	MPa
Módulo a tracción	20.000 - 42.000	6.000 - 12.000	MPa
Módulo a compresión	25.000 - 39.000	8.000 - 16.000	MPa
Módulo a flexión	23.000 - 43.000	7.000 - 18.000	MPa
Elongación en rotura	1.5 - 2	%	
Propiedades Eléctricas y Térmicas	Valor	Unidades	
Rigidez dieléctrica	4 - 9	kV / mm	
Constante dieléctrica a 50 Hz	4 - 6	-----	
Resistencia al aislamiento superior	1010 / 1013	Ω	
Conductividad térmica	0.2 - 0.6	W / (K-m)	
Calor específico	1.0 - 1.2	kJ / (kg - K)	
Coefficiente de dilatación lineal	12 - 17	1 / °C - 10 ⁻⁶	
Resistencia a la temperatura	-100 / +155	°C	
Temperatura crítica bajo carga	> 200	°C	

Tabla 14 (Propiedades PRFV para cálculo de resistencia a flexión)



8.2.2 Características PLA:

Material Properties	
Density	1.3 g/cm ³ (81 lb/ft ³)
Elastic (Young's, Tensile) Modulus	3.5 GPa (0.51 x 10 ⁶ psi)
Elongation at Break	6.0 %
Flexural Modulus	4.0 GPa (0.58 x 10 ⁶ psi)
Flexural Strength	80 MPa (12 x 10 ³ psi)
Glass Transition Temperature	60 °C (140 °F)
Heat Deflection Temperature At 455 kPa (66 psi)	65 °C (150 °F)
Melting Onset (Solidus)	160 °C (320 °F)
Shear Modulus	2.4 GPa (0.35 x 10 ⁶ psi)
Specific Heat Capacity	1800 J/kg·K
Strength to Weight Ratio	38 kN·m/kg
Tensile Strength: Ultimate (UTS)	50 MPa (7.3 x 10 ³ psi)
Thermal Conductivity	0.13 W/m·K
Thermal Diffusivity	0.056 m ² /s

Tabla 15(Propiedades PLA)



8.2.3 Características PP:

Material Properties	
Compressive (Crushing) Strength	45 to 64 MPa (6.5 to 9.3 x 10 ³ psi)
Density	0.91 to 1.2 g/cm ³ (57 to 75 lb/ft ³)
Elongation at Break	3.0 to 80 %
Flexural Modulus	1.5 to 7.0 GPa (0.22 to 1.0 x 10 ⁶ psi)
Flexural Strength	41 to 100 MPa (5.9 to 15 x 10 ³ psi)
Glass Transition Temperature	170 °C (340 °F)
Heat Deflection Temperature At 1.82 MPa (264 psi)	73 to 160 °C (160 to 320 °F)
Impact Strength: Notched Izod	42 to 95 J/m (0.79 to 1.8 ft-lb/in)
Rockwell R Hardness	90 to 110
Specific Heat Capacity	1230 to 1900 J/kg·K
Strength to Weight Ratio	40 to 78 kN·m/kg
Tensile Strength: Ultimate (UTS)	36 to 93 MPa (5.2 to 13 x 10 ³ psi)
Thermal Expansion	30 to 90 μm/m·K
Water Absorption At Saturation	0.010 to 0.090 %

The height of each bar compares the given value to the highest value in the database.

Tabla16 (Propiedades PP)

8.3 Experiencia de trabajo con PRFV:



Fig. 45 Laminado sobre una manguera para lograr una forma curva (Rechazado).



Fig. 46 Práctica de laminado en plano y resultado de laminado de manguera.



Fig. 47 Laminado sobre tubo de acero.



Fig. 48 Medición de probetas para ensayos.



Fig. 49 Modelo de telgopor para laminado de parte media.



Fig. 50 . Medición de probeta para ensayo.



Fig. 51 . Ensayo de la vinculación de pliegue



Fig. 52 Resultados de Probetas ensayadas.



Fig. 53 Proceso de terminación (Rechazado).



Fig. 54 Pintado de partes.



Fig. 55 Pintado de partes.



Fig. 56 Toma de medidas para el diseño de acople axilar.



Fig. 57 Prueba de funcionalidad de la vinculación de pliegue



9 Abreviaturas:

Kg: Kilogramos

R: Radio de curvatura

Φ_e : Diámetro externo

Φ_i : Diámetro interno

T: Espesor

σ_c : Tensión de compresión

F: Fuerza aplicada

A: Sección transversal

A_s : Sección transversal segura

F_s : Factor de seguridad

I: Momento de inercia

E: Módulo de elasticidad

P_{cr} : Peso Crítico

L_{ef} : Longitud efectiva

n: Coeficiente de seguridad

mm: Milímetros

N: Newton



E: Módulo de Young del material

Fcrit: La carga crítica

Imin: Momento de inercia mínimo de la sección transversal de la barra

L: Longitud de la barra

λ : La esbeltez mecánica de la pieza

m: Metros

α : Condiciones de extremos

Li: Longitud inicial

Lf: Longitud final

MPa: Mega pascal

RR.HH.: Recursos humanos

PRFV: Plástico reforzado con fibra de vidrio

PLA: Poliácido láctico

PP: Polipropileno

°C: Grados centígrados

mm²: Milímetros cuadrados

cm²: Centímetros cuadrados

δ =Esfuerzo cortante admisible



δ' = Esfuerzo cortante

σ_u = Resistencia última a la tracción

A_t = Área transversal perno

ϕ_p = Diámetro perno