

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL DE BAMBÚ PARA REHABILITACIÓN FÍSICA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

JOSÉ EDUARDO INSUASTI LÓPEZ

jose.insuasti@epn.edu.ec

DIRECTOR: MARCO VINICIO GUAMÁN ALARCÓN, Ph.D.

marco.guaman@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, José Eduardo Insuasti López declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



JOSÉ EDUARDO INSUASTI LÓPEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por José Eduardo Insuasti López, bajo mi supervisión.

MARCO GUAMÁN

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

José Eduardo Insuasti López

Ing. Marco Vinicio Guamán Alarcón, Ph.D.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que siempre me han apoyado, a toda mi familia y amigos que me han acompañado durante todo el viaje.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 MARCO TEÓRICO	2
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA.....	16
2.2 ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	18
2.3 CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	27
2.4 SELECCIÓN DE ELEMENTOS EXTERNOS	39
2.5 COSTOS DE MATERIALES.....	40
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
3.2 CONCLUSIONES.....	47
3.3 RECOMENDACIONES	48
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
5 ANEXOS	VII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Equipo de suspensión Yeecon [8].	5
Figura 1.2 Sistema de rehabilitación h/p/cosmos airwalk ap [9].	6
Figura 1.3 Sistema de rehabilitación Lokomat Pro [11].	7
Figura 1.4 Sistema de rehabilitación Lokomat en el IESS de Ambato [13].	7
Figura 1.5 Etapas de desarrollo de la guadua Angustifolia [18].	11
Figura 1.6 Artesanías fabricadas con guadua [19].	11
Figura 1.7 Vivienda típica en Esmeraldas fabricada con guadua [20].	12
Figura 1.8 Diferentes construcciones hechas con guadua [17].	12
Figura 1.9 Bicicleta fabricada con bambú [19].	13
Figura 2.1 Diagrama de flujo de metodología.	15
Figura 2.2 Nivel 0: Análisis funcional del sistema.	19
Figura 2.3 Nivel 1: Análisis funcional del sistema.	19
Figura 2.4 Nivel 2: Análisis funcional del sistema.	19
Figura 2.5 Módulos el sistema.	20
Figura 2.6 Arnés de seguridad ANTEC [26].	21
Figura 2.7 Arnés ortopédico PneuVest Ultima [27].	21
Figura 2.8 Polipasto de cadena neumático [28].	22
Figura 2.9 Cabrestante manual de manivela con cable [29].	23
Figura 2.10 Sistema poleas – cable de acero [30].	23
Figura 2.11 Estructura tipo pórtico con uniones de acero y empernadas.	25
Figura 2.12 Estructura tipo jaula con uniones de acero y empernadas.	25
Figura 2.13 Solución virtual del sistema propuesto.	27
Figura 2.14 Vista frontal de la estructura.	28
Figura 2.15 Diagrama de fuerzas de la viga 1-3.	28
Figura 2.16 Diagrama de fuerza cortante en la viga.	29
Figura 2.17 Diagrama de momento flector en la viga.	29
Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre columna.	30
Figura 2.19 Valores de k para longitud efectiva [32].	34

Figura 2.20 Conjunto polea pasador.....	37
Figura 2.21 DCL pasador polea.....	37
Figura 2.22 Cabrestante de manual Gebuwin [33].	39
Figura 2.23 Alambre de acero Gebuwin [34].	40
Figura 2.24 Configuración de mallado	43
Figura 2.25 Resultados análisis en viga	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Especies nativas de bambú en el Ecuador [17].....	9
Tabla 1.2 Factores de seguridad sugeridos [21]	13
Tabla 1.3 Propiedades mecánicas [22].....	14
Tabla 1.4 Módulos de elasticidad [22]	14
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del sistema.....	18
Tabla 2.2 Conclusiones de la evaluación - Modulo 1	22
Tabla 2.3 Conclusiones de la evaluación - Módulo 2.	24
Tabla 2.4 Conclusiones de la evaluación - Módulo 3.	26
Tabla 2.5 Tabla de datos de Guadua Angustifolia Kunth.	27
Tabla 2.6 Factores de corrección k_{mod} por tipo de servicio y duración [21].	31
Tabla 2.7 Valores característicos f_{ki} para diferentes solicitaciones [21].	31
Tabla 2.8 Clasificación de las columnas según su esbeltez [31].....	35
Tabla 2.9 Costos elementos normalizados.....	40
Tabla 2.10 Costos materia prima.....	41
Tabla 2.11 Costos mecanizado.	41
Tabla 2.12 Costos materia prima.....	42
Tabla 2.13 Costos final de la estructura.	42
Tabla 3.1 Comparativa de sistemas de suspensión	45
Tabla 3.2 Factores de seguridad calculados	46

RESUMEN

Los trastornos en la marcha por problemas motores son algo común en la actualidad, todos los días existen accidentes que causan problemas en la forma de caminar o de moverse. La fisioterapia ayuda a la rehabilitación de la marcha humana por medio del uso de sistemas de suspensión. Existen centros especializados en rehabilitación en todo el país, pasando por hospitales públicos a clínicas privadas. el uso de sistemas de rehabilitación con dispositivos altamente tecnológicos conlleva una desventaja, desde largos tiempos de espera en lugares públicos o tener que pagar una gran cantidad en centros privados. Por este motivo se plantea diseñar un sistema que permita una fácil construcción a un bajo costo utilizando la caña guadúa, material abundante en el país, y obtener un sistema que se pueda movilizar y sea de ayuda a personas necesitadas de terapia.

PALABRAS CLAVE: Caña guadúa, bambú, rehabilitación física, fisioterapia,

ABSTRACT

Gait disorders due to motor problems are common nowadays, every day there are many accidents that cause problems in how people walk or move. Physiotherapy helps the rehabilitation of human walking using suspension systems. There are specialized rehabilitation centers throughout the country, from public hospitals to private clinics. the use of rehabilitation systems with highly technological devices entails a disadvantage, from long waiting times in public places or having to pay a large amount in private centers. For this reason, it is proposed to design a system that allows easy construction at a low cost using caña guadúa, an abundant material in the country, and obtain a system that can be mobilized and help people in need of therapy.

KEYWORDS: Caña guadúa, bambu, physical rehabilitation, physiotherapy.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Para el presente proyecto se plantea el proceso para el desarrollo teórico y de metodología para la elaboración de un sistema de rehabilitación física teniendo como principal material de construcción el bambú.

Para esto se presenta un análisis de los dispositivos similares en el mercado existente, además de un análisis de investigación sobre las propiedades y tipos de bambú para la correcta elección del material de trabajo.

1.1 Objetivo general

Diseñar y simular un sistema estructural de bambú para rehabilitación física.

1.2 Objetivos específicos

1. Determinar las especificaciones técnicas de un sistema de suspensión de peso corporal utilizado para rehabilitación física.
2. Determinar la geometría y materiales óptimos para el correcto funcionamiento del sistema.
3. Dimensionar los componentes normalizados y fabricados con base en el análisis de esfuerzos.
4. Elaborar los planos de conjunto, subconjunto y de taller de los componentes del sistema.
5. Simular la estructura para validar el diseño, materiales y dimensiones de los elementos.
6. Realizar un análisis de costos en comparación con sistemas disponibles en el mercado.

1.3 Alcance

En el presente proyecto se presenta el trabajo de diseño a través de las diversas fases desde la idea conceptual hasta la obtención de planos y simulación, describiendo la mejor solución para cada problema planteado.

1.4 Marco teórico

Se presenta la base teórica para el desarrollo del proyecto. Se describen diferentes tipos de lesiones que pueden afectar la movilidad y marcha humana. Se presenta el estado del arte de dispositivos existentes para tratar con problemas de trastornos motores y se detalla el proceso de producción del bambú.

Trastornos que afectan la marcha humana

Se denomina marcha humana a la forma de caminar del ser humano, para este proceso una persona realiza un movimiento hacia delante de tal forma que las piernas soportan el peso del humano de forma alternada con el suelo. Este proceso puede verse afectado por diversos motivos como lesiones o traumas [1].

A continuación, se presentan diversas causas que pueden afectar la marcha.

Traumatismo raquímedular

Un trauma raquímedular se define como un grupo de lesiones de la columna vertebral en sus distintos niveles. Estos traumas pueden ser en distintas estructuras tanto cartilaginosas, musculares, vasculares, osteoligamentosas, meníngeas, radicales y medulares [2].

Lesión medular completa

Un segmento medular completo se ve comprometido, provoca pérdida o disminución de la sensibilidad y movilidad del paciente en los miembros inferiores [2].

Lesión medular incompleta

Una porción de un segmento medular se ve comprometido. Dependiendo de la sección medular afectada, el paciente puede presentar diferentes afecciones en sus extremidades, sin embargo, generalmente presenta pérdida o disminución de la sensibilidad y movilidad en miembros superiores y parte del tronco [2].

Síndrome de cauda equina y de cono medular

Se produce a causa de fracturas lumbares y provoca debilidad muscular en el paciente, disminución de la sensibilidad, reducción de la movilidad y pérdida de control sobre los

esfínteres. A diferencia de las lesiones medulares, en este tipo de lesión es posible preservar la capacidad de marcha [2].

Accidente cerebrovascular

Un accidente cerebrovascular se produce cuando el flujo sanguíneo hacia alguna zona del cerebro se detiene o es obstruido por un coágulo durante un corto tiempo. Existen dos tipos de accidentes cerebrovasculares: isquemia y hemorragia.

La isquemia produce la interrupción del flujo de sangre hacia el cerebro, esto cual priva a las neuronas y a otras células de oxígeno y sustrato de glucosa, si el flujo de sangre no se restaura rápidamente puede provocar muerte celular y de no ser controlado a tiempo puede causar un infarto cerebral. Las complicaciones que se presentan posterior a la isquemia pueden ser falta de coordinación, pérdida de control de movimiento, pérdida de fuerza, trastornos visuales y trastornos en el lenguaje. La hemorragia se puede definir como un sangrado intracraneal que causa destrucción o compresión del tejido cerebral y estructuras cerebrales, se produce a causa de una dilatación y ruptura de una arteria [3].

Trastornos en la marcha

Un trastorno en la marcha se define como un cambio en las características del paso, las cuales van a generar dificultad en el desplazamiento de la persona y altera las actividades de su vida diaria. Estos trastornos dependen de muchos factores, sin embargo, el 60 % de los casos son a causa de alteraciones neurológicas y el 40 % restante se debe a alteraciones osteomusculares [4].

Teniendo en cuenta esto, los diferentes trastornos en la marcha son:

Marcha hemiparética espástica

Este trastorno causa que el paciente al caminar incline su troco hacia el lado sano realizando un semicírculo al dar un paso, se debe a un daño en la vía piramidal unilateral [4].

Marcha parkinsoniana

Trastorno que produce dificultades al iniciar la marcha, provoca que el paciente de pasos cortos y en ocasiones pasos acelerados, también provoca llevar una postura flexionada [4]

Marcha claudicante antiálgica

En este caso se existe asimetría en el paso entre ambas extremidades, debido a que una de las extremidades se apoya con cautela por la presencia de dolor al dar el paso. La extremidad sana estará apoyada mayor tiempo, permitiendo a la extremidad comprometida estar en balanceo por mayor tiempo. Este trastorno también está presente en personas cuyas

extremidades tienen una diferencia de longitud mayor a 1 cm [4].

Marcha apráxica

Produce que el paciente de pasos cortos, lentitud al dar los pasos, en algunos casos produce arrastrar los pies, dificultad al dar giros. Este trastorno se produce por hidrocefalia normotensiva o también por daño subcortical vascular [4].

Marcha atáxica

Se produce por daños en el cerebelo, daños sensitivos o vestibulares. Este trastorno provoca que el paciente tenga inestabilidad en el tronco, impide que el paciente camine una trayectoria recta [4].

Marcha en steppage

Este trastorno produce que el paciente levante mucho la rodilla al lanzar el paso para evitar tocar la punta con el suelo, debido a que presenta una debilidad muscular en el tobillo provocando una caída en el antepié. Ocurre cuando un nervio a nivel de las vértebras lumbares se ve afectado, también cuando existe disfunción en el nervio ciático [4].

Marcha anadeante o de pato

El paciente presenta una gran oscilación lateral al lanzar el paso, es decir al dar un paso el paciente exagera los movimientos laterales del tronco y luego eleva la cadera. Generalmente esto ocurre en pacientes con displasia bilateral de cadera [4].

Trastorno motor

Debido a diversos factores como traumatismos previamente mencionados se producen síndromes motores que afectan la movilidad, es así como se nombran a los trastornos motores que adaptan el nombre de plejía o paresia.

Se llama plejía cuando existe incapacidad o parálisis de generar un movimiento y se denomina paresia cuando existe una limitación en el movimiento producto de disminución de fuerza muscular [5].

Benchmarking de sistemas de suspensión de peso corporal utilizados en rehabilitación

La especialidad médica conocida como fisioterapia es la encargada del estudio, diagnóstico, evolución y tratamiento de la incapacidad física en una persona, cuyo propósito es la restitución física de una persona afectada y recuperar su funcionalidad [6].

Hoy en día se utilizan sistemas de suspensión corporal en casos de rehabilitación donde el

paciente posee una inhabilitación de sus miembros inferiores, afección que impide sostener su propio peso y realizar una correcta rehabilitación por su cuenta [7].

En el mercado existe una amplia gama de sistemas de suspensión generalmente con el uso de un arnés destinados a rehabilitación física o modificación de la marcha humana.

A continuación, se presentan algunos dispositivos disponibles en el mercado:

Equipo de suspensión corporal Yeecon

Este sistema desarrollado por la empresa Yeecon es de funcionamiento simple, existe un pórtico fabricado en aluminio que sirve como soporte general, en sus laterales incorpora barras de apoyo regulables a la altura de la persona, cuenta con un arnés fabricado por la propia empresa y un sistema de poleas para soportar el peso de la persona, este sistema funciona por medio de un motor pequeño.

Como facilidad cuenta con ruedas en la parte inferior y soporta hasta 250 Kg. Es de origen chino y su precio ronda los 10.000 USD [8].

yeecon



Figura 1.1 Equipo de suspensión Yeecon [8].

H/p/cosmos airwalk ap

Este sistema es desarrollado por h/p/cosmos sports y medical gmbh, cuenta con una estructura fija, compresor de aire para soportar el peso del paciente, manómetro digital, giro hasta 360°. Puede soportar un peso máximo de 120 kg. Además, como se muestra en la Figura 1.2 por su tamaño el sistema está diseñado para ensamblarse y mantenerse fijo en un solo lugar, su costo ronda los 12.000 USD [9].



Figura 1.2 Sistema de rehabilitación h/p/cosmos airwalk ap [9].

Lokomat Pro

Construido por la marca Hocoma, este sistema es el más avanzado de todos ya que cuenta con tecnología robótica automática que facilita la rehabilitación del paciente con diferentes programas incorporados de forma fácil e intuitiva. Cuenta con terapia robo-asistida para incrementar la dureza de los músculos y mejorar la forma de caminar. Su pantalla cuenta con programas de entrenamiento y retos para que el paciente sienta que va logrando avances de forma lúdica. Este dispositivo es la cúspide de los aparatos de rehabilitación debido que su precio es de 90.000 USD y generalmente son usados en centros de rehabilitación grandes [10]. En la Figura 1.3 se muestra el sistema de rehabilitación Lokomat Pro.



Figura 1.3 Sistema de rehabilitación Lokomat Pro [11].

Uso de los sistemas de suspensión corporal en Ecuador

En el Ecuador se puede acudir al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) para tratamiento de diferentes patologías relacionadas a la rehabilitación física como lesiones o traumas cuyo tratamiento requiera el uso de sistemas de suspensión, de acuerdo con el coordinador del Hospital Carlos Andrade Marín a mediados de 2018 la demanda de pacientes en esta área era de 300 por día [12].

Los hospitales en el país cuentan con el dispositivo Lokomat, que al contar con tecnología robótica mejora la eficiencia en el tratamiento de pacientes [13].



Figura 1.4 Sistema de rehabilitación Lokomat en el IESS de Ambato [13].

En general en todo el país existen diferentes centros, hospitales, clínicas donde se ofrece el servicio de rehabilitación física, sin embargo, dependiendo del costo y el servicio varía la forma o el equipo que se emplea, existen desde sistemas simples con solo soportes a dispositivos de última tecnología con asistencia robótica [14].

Dependiendo del tipo de lesión a tratar, varía también el tipo de rehabilitación a realizar y no es necesario depender al máximo de los dispositivos de más alta gama.

Para este caso de estudio se plantea la sustitución de materiales como el acero o aluminio como principal material de construcción para dar paso al bambú, material con buenas propiedades mecánicas, bajo costo y buena producción en el país.

Producción del bambú y usos

El bambú es una planta maderable con una clasificación de aproximadamente 1.200 especies en todo el mundo, se plantea como un reemplazo al uso de la madera y uso constante en Ecuador [15].

Generalmente el material se desarrolla en zonas tropicales con bosques lluviosos, y puede crecer desde el nivel del mar hasta aproximadamente 4.300 msnm dependiendo la especie. En el país se produce bambú en las cuatro regiones debido a que se tiene varias especies existentes, la especie conocida como *Guadua Angustifolia Kunth* también llamada caña guadua es la que predomina en el país. Aproximadamente la abundancia en el Ecuador es de 600.026 hectáreas, y como se muestra en la tabla 1.1 el 66% de las especies se desarrollan en la Costa, 23,5% en la Amazonía y 10% en la Sierra [16].

Tabla 1.1 Especies nativas de bambú en el Ecuador [17].

Provincia	Hectáreas	%
El Oro	4.370	0,7
Esmeraldas	68.546	11,4
Guayas	43.825	7,3
Los Ríos	80.763	13,5
Manabí	145.529	24,3
Santa Elena	11.872	2
Santo Domingo de los Tsáchilas	44.126	7,4
Bolívar	6.754	1,1
Cotopaxi	19.047	3,2
Imbabura	7.702	1,3
Pichincha	26.581	4,4
Morona Santiago	42.806	7,1
Napo	22.245	3,7
Orellana	24.879	4,1
Pastaza	23.467	3,9
Sucumbíos	27.515	4,6
Total	600.026	100

Producción del bambú

La producción está conformada por diferentes procesos técnicos. En el Ecuador, la producción del bambú se da mediante la silvicultura, ya que permite manejar un bosque hasta poder llevarlo a un estado deseado con fines ambientales, sociales y económicos [18].

Durante el proceso de siembra, uno de los aspectos más importantes es el análisis del sitio a plantar. Para que la *Guadua angustifolia* pueda desarrollarse, la zona de siembra debe estar

entre los 400 y 1.200 msnm, su topografía debe ser plana o debe tener una pendiente máxima de 5%, la temperatura debe estar entre 18 y 28°C y debe tener una precipitación mayor a 1.200 mm, el suelo debe tener textura arcillosa o areno-limosas [18].

La *Guadua angustifolia* producida comercialmente, alcanza su altura máxima durante los primeros seis meses de desarrollo. A partir de ese punto, se desarrollará en cuanto a su espesor y la madurez de la caña. En la Figura 1.5 se muestran las etapas de desarrollo de la *Guadua angustifolia* y a continuación se detallan cada una de estas etapas.

En la etapa de renuevo, se considera que la guadua es un renuevo durante los primeros seis meses de desarrollo y mientras atraviesa esta etapa la caña puede crecer entre 9 a 11 cm diarios. También en esta etapa es posible corregir o moldear la forma de su sección, y la dirección de su crecimiento dependiendo la aplicación al final de su desarrollo.

En la etapa de caña verde habrán transcurrido entre 6 meses y 3 años de desarrollo, se caracteriza por que las cañas presentan un aspecto brillante y color verde intenso, además en esta etapa la caña puede alcanzar una altura máxima de 30 m. Durante esta etapa las propiedades físicas y mecánicas no se han desarrollado completamente ya que la caña no ha alcanzado la madurez.

La fase de caña madura se encuentra entre 3 y 5 años de desarrollo, para entonces la caña alcanza su diámetro y resistencia máxima, se caracteriza por las manchas blanquecinas y su cambio de color a verde opaco. Esta es la etapa adecuada para su aprovechamiento comercial.

La época de caña seca o vieja se considera a partir de los 5 años, ya que presenta hongos en su tallo y se torna en un color blanquecino. La caña pierde sus propiedades físico-mecánicas, propenso a partirse con facilidad.

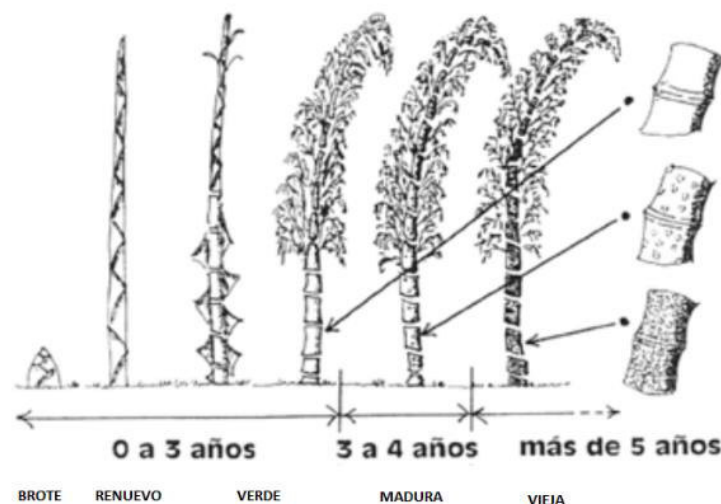


Figura 1.5 Etapas de desarrollo de la guadua *Angustifolia* [18].

El proceso de cosecha se da a partir de los 4 años puesto a que en este período el bambú ya ha desarrollado las propiedades mecánicas debidamente.

Usos del bambú

El bambú se presenta como un buen material de construcción y reemplazo a diferentes materiales más comerciales como metales o madera. Con beneficios económicos, ambientales, versatilidad, el bambú es una gran opción para diferentes situaciones.

Artesanías

Por la rapidez de su crecimiento y su presencia en todo el país, la guadua ha sido utilizada desde tiempos remotos hasta la actualidad. La forma, flexibilidad, dureza y resistencia de los tallos de guadua se prestan para utilizarlos como materia prima en la elaboración de productos como artículos decorativos, juguetes, instrumentos musicales, utensilios de cocina, incluso para la fabricación de muebles elaborados de manera artesanal. En el Ecuador además de los tallos se utilizan los rizomas, ramas, hojas y espinas de la guadua. En la Figura 1.6 se muestra los diferentes tipos de artesanías fabricadas con bambú.



Figura 1.6 Artesanías fabricadas con guadua [19].

Construcción

En Ecuador, la guadua debido a sus propiedades físicas y mecánicas es utilizada para la construcción de viviendas. En zonas marginales es utilizado como principal material de construcción debido a su rápido crecimiento y fácil obtención. En la Figura 1.7 se muestra una

vivienda típica en una zona rural de Esmeraldas.



Figura 1.7 Vivienda típica en Esmeraldas fabricada con guadua [20].

Debido a su calidad estructural la guadua también es utilizada para construir viviendas, puentes, templos, cubiertas y otras estructuras con diseños atractivos, combinando la construcción tradicional con el uso de la guadua. En la Figura 1.8 se muestra los diferentes tipos de construcciones hechas con guadua.



Figura 1.8 Diferentes construcciones hechas con guadua [17].

Deporte

En esta industria se utilizan diferentes especies de bambú para fabricar tablas de patinetas, cascos, tablas de surf, bates de beisbol, cañas de pescar, etc. También se construyen bicicletas que utilizan como materia prima principal especies de bambú de diámetro delgado como se puede observar en la Figura 1.9.



Figura 1.9 Bicicleta fabricada con bambú [19].

Método de dimensionamiento de *Guadua Angustifolia Kunth*

Para este estudio se toma como referencia la guía de dimensionamiento del artículo “Structural use of bamboo” [21], donde se incluye factores de corrección para un cálculo más preciso debido a las características del material.

El autor presenta unos valores de factores de seguridad como sugerencia tomando como base normas internacionales, sin embargo, en el proyecto se calcularán los factores de seguridad partiendo de una geometría ya establecida.

Tabla 1.2 Factores de seguridad sugeridos [21]

Flexión	Corte	Compresión axial
1,5	1,5	1,5

Propiedades de la *Guadua Angustifolia Kunth* (GaK)

Para el presente proyecto se utilizará la *Guadua Angustifolia Kunth*, cuyas propiedades mecánicas las podemos encontrar en las siguientes tablas:

Tabla 1.3 Propiedades mecánicas [22]

Esfuerzos admisibles [MPa]			
F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión	F_v Corte
15	19	14	1,2
Esfuerzos últimos [MPa]			
F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión	F_v Corte
45	117	37	7
Factor de seguridad			
3	6,16	2,64	5,83

Tabla 1.4 Módulos de elasticidad [22]

Módulos de elasticidad [MPa]		
Módulo percentil 5	Módulo percentil 5	Módulo mínimo
E_{0.5}	E_{0.05}	E_{min}
12000	7500	4000

2 METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la metodología del trabajo a ser desarrollado utilizando el método de diseño concurrente correspondido por el diseño conceptual del sistema, el diseño de detalle y simulación del sistema.

Para encontrar las características técnicas se utilizará la casa de la calidad. Se desarrolla un análisis funcional por módulos efectuando análisis de alternativas a varias soluciones de diseño utilizando el método de criterios ponderados.

En este capítulo también se presenta los cálculos de elementos mecánicos, elección de elementos normalizados y elaboración de planos de trabajo del proyecto.

En la figura 2.1 se puede observar la metodología empleada.

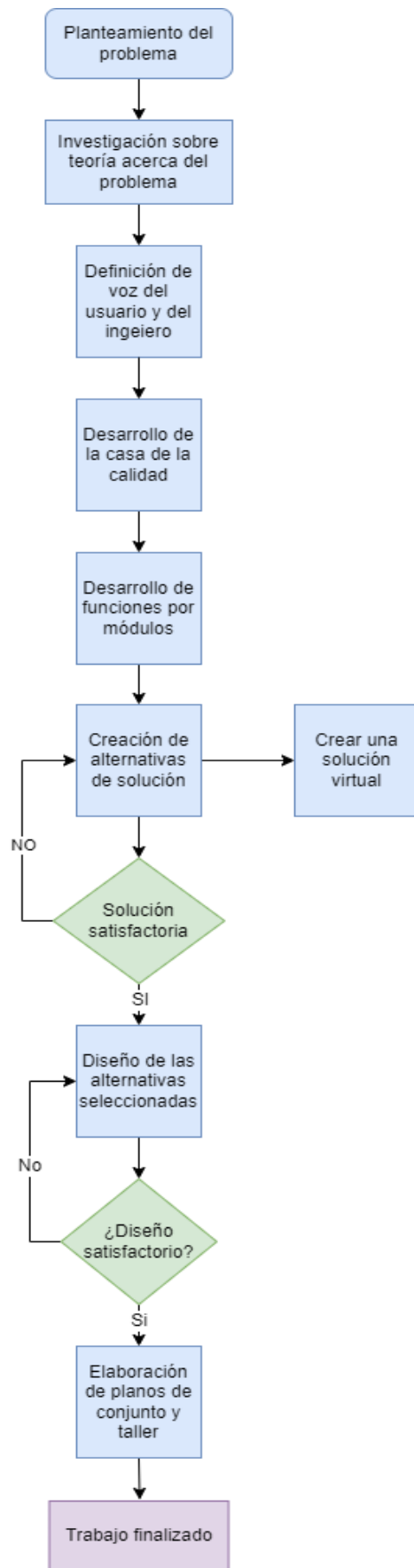


Figura 2.1 Diagrama de flujo de metodología

2.1 Determinación de las especificaciones técnicas del sistema

Para determinar las especificaciones técnicas se utiliza la casa de la calidad teniendo como base las necesidades del usuario y el criterio del ingeniero.

Consideraciones iniciales

Para definir las especificaciones técnicas del sistema de suspensión corporal, es necesario hacer una recopilación de información de sistemas existentes en el mercado o de modelos que cumplen con funciones similares dentro del campo de la rehabilitación. Esta información está documentada en el capítulo uno y con base en esta se podrá obtener un concepto inicial de diseño.

Enfocándose directamente en el sistema de suspensión corporal, es necesario mantener contacto con personas que estén involucrados directamente en el tema. Por lo que se tomara como base el caso específico de una persona que sufrió una lesión medular hace 6 años aproximadamente. Desde entonces, y con la ayuda de su familia, ha realizado rehabilitación física diariamente para evitar un deterioro muscular.

Datos del paciente

Género: Masculino

Edad: 21 años

Estatura: 1,63m

Peso: 63 kg

Trastorno motor: tetraplejia (a causa de una lesión medular el paciente presenta bajo control y debilidad muscular).

Circunstancias: caída desde un trampolín durante una clase de educación física en el colegio.

Según la revista científica eLife, la estatura promedio de los ecuatorianos es de 1,67 m [23], para el presente trabajo se considerará una altura aproximada de 1,80 m para la estructura. También según las encuestas del INEC el 62.8% de la población presenta sobre peso y obesidad durante su vida adulta [24], tomando en cuenta esto y el peso del paciente se aproximara la capacidad del sistema a 90 kg.

Casa de la calidad

La casa de la calidad es una matriz que permite relacionar las necesidades y requerimientos

presentados por el usuario con características técnicas. De esta forma, el diseñador obtiene especificaciones técnicas organizadas de forma organizada [25].

Voz del usuario

La estructura está orientada a suplir las necesidades de una persona que necesita realizar rehabilitación física. De acuerdo con las necesidades del usuario, la máquina debe contar con las siguientes características.

- Espacio para usarse con una caminadora.
- Altura suficiente para el paciente.
- Capaz de soportar el peso del paciente.
- Que sea seguro.
- Fácil posicionamiento del paciente para rehabilitación.
- Que sea barato

Voz del ingeniero

La voz de ingeniero hace referencia a la traducción de las necesidades del usuario en características técnicas.

- Ancho de la base ≥ 1 m
- Altura 1,80 m
- Capacidad 90 kg
- Factor de seguridad > 2
- Mecanismo acción rápida
- Precio < 500 USD

Consideraciones para la casa de la calidad

En el caso de este proyecto no existe un análisis contra un competidor en el mercado debido a que no es posible encontrar otro producto de características similares por materiales de fabricación o falta de información sobre especificaciones técnicas.

Resultado de la casa de la calidad

Los resultados de la casa de la calidad indican las principales especificaciones a poner más atención para el diseño. El orden de importancia de las especificaciones es: capacidad, factor

de seguridad, mecanismo de elevación sencillo, altura para el paciente.

En la Tabla 2.1 se muestra las especificaciones técnicas del sistema obtenidas de la casa de la calidad.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del sistema.

Empresa Cliente: Paciente con lesión medular		Producto: Sistema estructural de bambú para rehabilitación física	
Diseñador: José Eduardo Insuasti López			
ESPECIFICACIONES			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Capacidad	C+I	R	90 kg
Factor de seguridad	I	R	>2
Mecanismos de elevación sencillo	C	R	Acción manual
Altura de la estructura	C+I	R	1,80 m
Propone: M=Marketing, D=Diseño, P=Producción, F=Fabricación, C=Cliente. R/D: R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimiento.			

2.2 Estudio y selección de alternativas

En este apartado se estudiarán diferentes modelos de diseño con base en la información recopilada en el primer capítulo sobre los sistemas de rehabilitación existentes en el mercado. Las ideas propuestas se basan en las especificaciones técnicas organizadas en la casa de la calidad.

Análisis funcional

El análisis funcional está enfocado a determinar una estructura modular, para posteriormente establecer y seleccionar alternativas de solución. Con esta metodología se establece las funciones del producto, siendo estas primarias y secundarias. Se entiende como función

primaria, la característica que permite definir el producto y, por secundarias, las que permiten ejecutar las primarias [25]. Para este caso de estudio se ha elaborado un análisis de funciones por módulos con diferentes niveles, los cuales permitirán establecer las funciones.

Nivel 0

En este nivel se define la función global del sistema y está representado en la Figura 2.2.

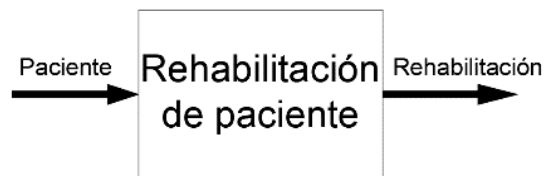


Figura 2.2 Nivel 0: Análisis funcional del sistema.

Nivel 1

En la Figura 2.3, para el nivel 1 se muestra una función secundaria que permite cumplir con el funcionamiento global.

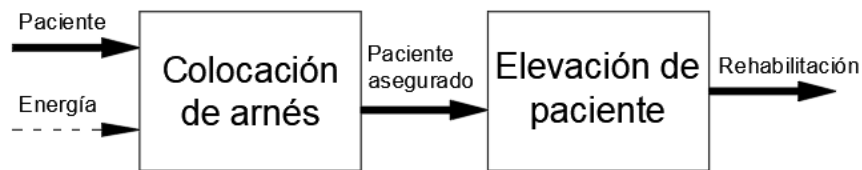


Figura 2.3 Nivel 1: Análisis funcional del sistema.

Nivel 2

En el nivel 2 se analizan las subfunciones del anterior nivel para tener una visión de la estructura funcional del sistema. En la Figura 2.4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta todo el funcionamiento.

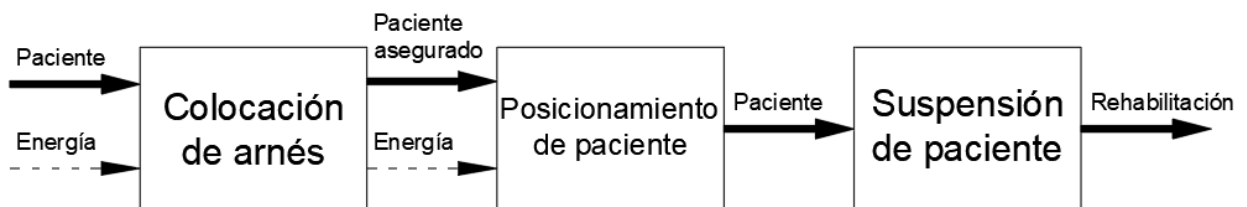


Figura 2.4 Nivel 2: Análisis funcional del sistema.

Desarrollo de módulos

En la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 2.5 se presenta la división de m

ódulos para determinar funciones específicas.

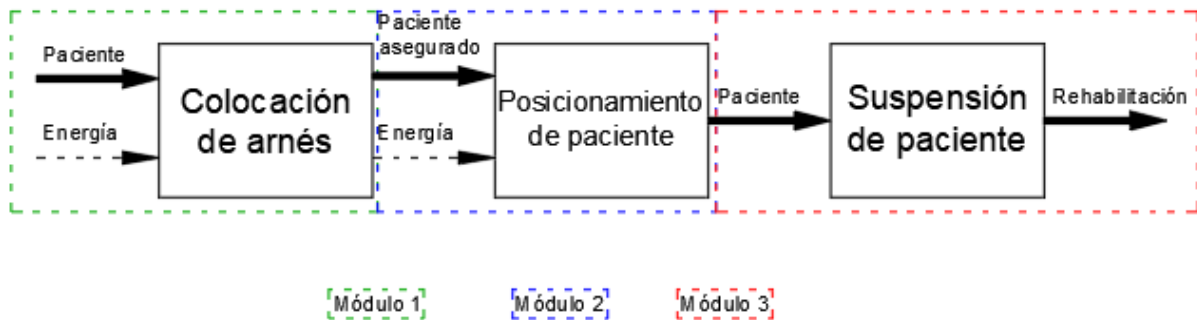


Figura 2.5 Módulos el sistema.

Cada módulo está destinado a cubrir una función o subfunción del sistema. A continuación, se detalla cada módulo:

- Módulo 1: Colocación del paciente en el arnés.
- Módulo 2: Posicionar y fijar al paciente a la altura adecuada.
- Módulo 3: Suspensión de la paciente lista para iniciar la rehabilitación

Para cada función del sistema, es necesario proponer posibles soluciones y combinarlas para obtener diferentes alternativas de diseño para cada módulo. Se seleccionará la mejor opción después de evaluar todas las alternativas.

Análisis de alternativas

Según el método de diseño concurrente es necesario plantear posibles soluciones para el funcionamiento de cada módulo obtenido por medio de un análisis llamada el método de criterios ponderados.

Módulo 1

Este módulo cumple la función de elemento de seguridad ya que permite asegurar al paciente al sistema de suspensión corporal, garantizando su bienestar. Para este módulo se proponen las siguientes soluciones, se presentan como soluciones:

- Solución 1, arnés de seguridad convencional, como se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Arnés de seguridad ANTEC [26].

Ventajas:

- Adaptable a diferentes personas
- Costo moderado
- Disponibilidad inmediata

Desventajas

- Incomodo al usar por tiempo prolongado
- Solución 2, arnés ortopédico especial para rehabilitación, como se muestra en la Figura 2.7



Figura 2.7 Arnés ortopédico PneuVest Ultima [27].

Ventajas:

- Elevación de vertebras en zona torácica
- Cómodo

Desventajas:

- Costo elevado
- Diseñado para un paciente específico
- Se obtiene únicamente bajo pedido

Los criterios para la elección del módulo 1 son:

Precio, disponibilidad, capacidad, seguridad.

En el ANEXO II se presenta la selección de la mejor alternativa para el módulo 1 con el uso del método de criterios ponderados. En la Tabla 2.2 se presenta las conclusiones de evaluación para el módulo 1.

Tabla 2.2 Conclusiones de la evaluación - Modulo 1

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución 1	0,1	0,133333333	0,2	0,175	0,6083	1
Solución 2	0,05	0,066666667	0,1	0,175	0,3917	2

Módulo 2

El módulo 2 cumple la función de elevar al paciente y fijarlo a una altura adecuada para realizar la rehabilitación. Para este módulo se proponen las siguientes soluciones:

- Solución 1, polipasto de cadena neumático como se muestra en la Figura 2.8



Figura 2.8 Polipasto de cadena neumático [28].

Ventajas:

- Disponibilidad alta
- Alta durabilidad
- Sistema automático
- Largo tiempo de uso continuo
- Capacidad de carga muy alta

Desventajas:

- Costo alto
 - Su rendimiento disminuye si es usado por periodos de tiempo muy cortos
 - Tamaño grande
- Solución 2, cabrestante manual de manivela con cable de acero y sistema de poleas como se muestra en la Figura 2.9 y 2.10



Figura 2.9 Cabrestante manual de manivela con cable [29].



Figura 2.10 Sistema poleas – cable de acero [30].

Ventajas:

- Bajo costo
- Alta disponibilidad
- Bloqueo anti-retroceso
- Correcta capacidad de elevación de carga

Desventajas:

- Requiere fuerza manual

Los criterios para el módulo 2 son:

Precio, capacidad, seguridad, disponibilidad.

En el ANEXO III se presenta la selección de la mejor alternativa para el módulo 2 con el uso del método de criterios ponderados. En la Tabla 2.3 se presenta las conclusiones de evaluación para el módulo 2.

Tabla 2.3 Conclusiones de la evaluación - Módulo 2.

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución 1	0,0333	0,1	0,1333333	0,15	0,41	2
Solución 2	0,0667	0,1	0,2666667	0,15	0,58	1

Módulo 3

El módulo 3 cumple la función de soportar el peso del paciente, es decir la estructura como tal. El bambú es el material principal para la construcción del sistema y se definió en el objetivo principal del proyecto, eso deja a cuestión el tipo de estructura y para el diseño se considera una estructura tipo pórtico, dejando a elección la forma de la estructura. Se proponen las siguientes soluciones:

- Solución 1, Estructura tipo pórtico con uniones de acero y empernadas como se muestra en la Figura 2.11



Figura 2.11 Estructura tipo pórtico con uniones de acero y empernadas.

Ventajas:

- Distribución de cargas uniforme
- Montaje sencillo

Desventajas:

- Requiere fabricación adicional en acero
- Difícil colocación de componente de elevación

Solución 2, Estructura tipo jaula con uniones de acero y empernadas como se muestra en la Figura 2.12



Figura 2.12 Estructura tipo jaula con uniones de acero y empernadas.

Ventajas:

- Alta resistencia
- Menor peso en cada soporte

Desventajas:

- Tamaño grande
- Mayor peso
- Montaje complicado
- Mayor costo

Los criterios para el módulo 2 son:

Precio, capacidad, seguridad, disponibilidad.

En el ANEXO IV se presenta la selección de la mejor alternativa para el módulo 3 con el uso del método de criterios ponderados. En la Tabla 2.4 se presenta las conclusiones de evaluación para el módulo 3.

Tabla 2.4 Conclusiones de la evaluación - Módulo 3.

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Construcción simple	Σ	Prioridad
Solución 1	0,1111	0,05	0,177777	0,1	0,177777	0,6166	1
Solución 2	0,0555	0,05	0,088888	0,1	0,088888	0,3833	2

Solución virtual

Una vez realizado el análisis y selección de alternativas, es posible obtener un diseño preliminar del sistema. Este diseño es inicial y esta presto a modificaciones con base en los cálculos y selección de elementos normalizados. A continuación, en la Figura 2.13 se presenta el modelo virtual de solución para el sistema.



Figura 2.13 Solución virtual del sistema propuesto.

2.3 Cálculos y selección de componentes

Cálculo de la estructura

Para este proyecto se utilizará la especie de bambú denominada Guadua Angustifolia Kunth (GaK), teniendo como base principal la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) [22], y los artículos 3 y 4 del proyecto llamado "Structural use of bamboo" [21], [31].

El bambú al ser un material no homogéneo por toda su superficie, para realizar los correspondientes cálculos de diseño se utilizará valores intermedios tomados. El análisis será realizado tomando en cuenta una masa del paciente de 90 kg.

Tabla 2.5 Tabla de datos de Guadua Angustifolia Kunth.

Datos de Guadua Angustifolia Kunth	
Diámetro exterior	$D_e = 100 \text{ mm}$
Diámetro interior	$D_i = 80 \text{ mm}$
Área neta de la sección transversal	$A = \frac{(D_e^2 - D_i^2)}{4} \cdot \pi = 2827,43 \text{ mm}^2 = 28,27 \text{ cm}^2$
Volumen por metro lineal	$V_{GaK} = A \cdot 1000 = 0,0028 \text{ m}^3$
Masa por metro lineal	$m_{GaK} = P_e \cdot V_{GaK} = 2,121 \text{ kg}$
Peso por metro lineal	$P_{GaK} = m_{GaK} \cdot g = 20,807 \text{ N}$

Cálculo del momento flector

Al ser una estructura tipo pórtico se realiza el análisis como si fuera una viga

Alto $H = 2\text{ m}$, Ancho $Wv = 1\text{ m}$, Longitud $L = 1,5\text{ m}$

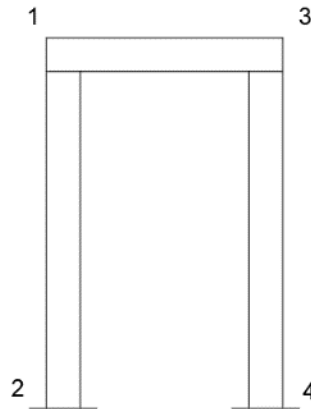


Figura 2.14 Vista frontal de la estructura

Para este caso de estudio se procede a despreciar la masa de la caña en el análisis de fuerzas, esto es debido a que no influye de gran manera puesto que la masa a soportar son 90 kg y la viga de bambú pesa 2,12 kg, menos del 2,5% de la carga total.

Cálculo de la viga 1-3

La viga superior esta empernada por cada extremo dando a entender que es una viga empotrada en los extremos. En la Figura 2.15 se presenta el diagrama de cuerpo libre con los apoyos que influyen sobre la viga. Debido a que las poleas se encuentran ubicadas a una distancia de 98 mm con respecto al eje neutro, se generan momentos tal como se indica.

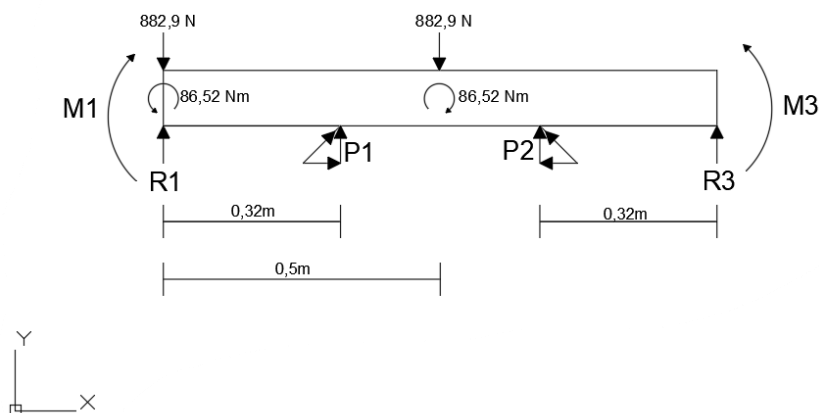


Figura 2.15 Diagrama de fuerzas de la viga 1-3

Como resultado se obtienen los valores de las reacciones y los apoyos.

$R_1=797,42 \text{ N}$; $R_3=172,38 \text{ N}$; $P_1=235,1$; $P_2=905,67$, $M_{\max}=95,21$

En las figuras 2.16 y 2.17 se encuentran los gráficos de fuerza cortante y momento flector.

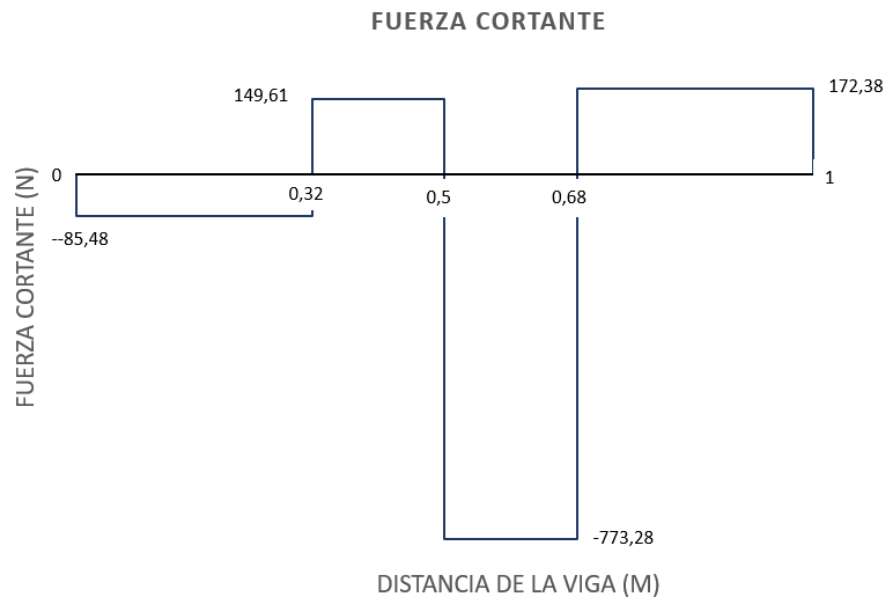


Figura 2.16 Diagrama de fuerza cortante en la viga.

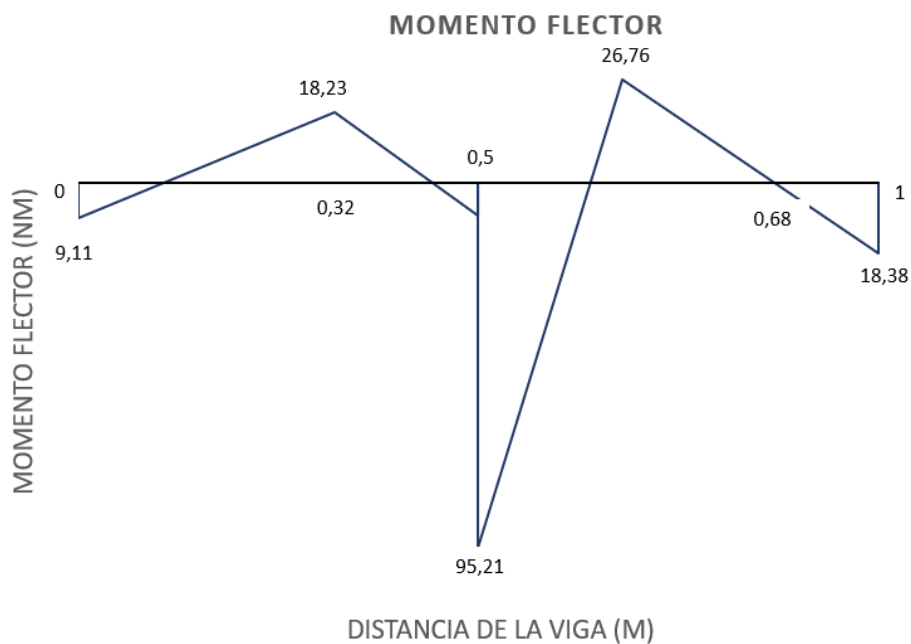


Figura 2.17 Diagrama de momento flector en la viga.

Cálculo de la columna 1-2

En la estructura se utiliza un cabrestante manual en una de las columnas, debido a que no actúa directamente en el eje neutro de la columna se genera un momento que influye para el cálculo de las reacciones, en la Figura 2.18 se presenta el diagrama de cuerpo libre para esta

columna junto con el momento generado.

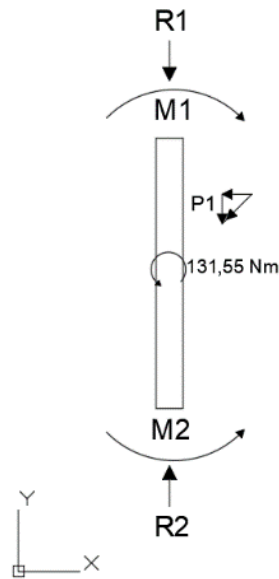


Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre columna.

Se procede a encontrar las reacciones mediante análisis de fuerzas.

$$\sum F_y = 0$$

$$R1 + P1 - R2 = 0$$

$$R2 = 797,42 + 235,1$$

$$R2 = 1032,52 \text{ N}$$

Análisis de esfuerzos

Cálculo de esfuerzo a flexión en la viga

Se procede a usar la ecuación:

$$M_m = X_{m,d} * S_{elast}$$

Ecuación 2.1 Esfuerzo por flexión [31].

Donde:

M_m Momento aplicado al elemento

$X_{m,d}$ Esfuerzo a flexión $X_{i,d}$

S_{elast} Módulo de sección

En la siguiente ecuación se calcula el esfuerzo a flexión con base en el factor de seguridad,

que es el valor por determinar en este estudio.

$$X_{i,d} = k_{mod} * k_{sis} \frac{X_k}{FS}$$

Ecuación 2.2 Cálculo de valor de diseño [21].

Donde:

$X_{i,d}$ Valor de diseño

$k_{sis} = 1,1$ Factor de corrección del sistema

$k_{mod} = 0,5$ Factor de corrección por tipo de servicio y duración.

$X_k = 40$ Valor característico f_{ki} de la sollicitación.

FS Factor de seguridad

Factor de corrección por tipo de servicio y duración.

En la tabla 2.6 se encuentran los valores para el factor de corrección.

Tabla 2.6 Factores de corrección k_{mod} por tipo de servicio y duración [21].

Permanente	A largo plazo	Mediano plazo	Corto plazo (construcción)	Instantáneo (viento, sismo)
0,4	0,45	0,55	0,5	0,75

Cálculo de valores de esfuerzo característico f_{ki}

Según estudios realizados por otros autores [21], es posible encontrar este valor en tablas designadas:

Tabla 2.7 Valores característicos f_{ki} para diferentes sollicitaciones [21].

	Flexión ($f_{m, \kappa}$) (N/mm ²)	Corte ($f_{v, \kappa}$) (N/mm ²)	Tracción paralela a las fibras ($f_{t, 0, \kappa}$) (N/mm ²)	Compresión paralela a las fibras ($f_{c, 0, \kappa}$) (N/mm ²)
GaK	35 - 50	3 - 5	40	20

De igual manera se encuentra el factor de corrección del sistema.

$$k_{sis} = 1,1 [21]$$

Módulo de sección

$$S_{elast} = \frac{\pi(D_e^4 - D_i^4)}{32D_e}$$

$$S_{elast} = 57962,38 \text{ mm}^3$$

Al reemplazar en la ecuación

$$M_m = k_{mod} * k_{sis} \frac{X_k}{FS} * S_{elast}$$

El momento flector en la viga es

$$M_m = 95,21 \text{ Nm}$$

Se puede encontrar el valor para el factor de seguridad deseado

$$110360 = 0,5 * 1,1 \frac{40}{FS} * 57962,38$$

Factor de seguridad final

$$FS = 13,4$$

El esfuerzo debido a flexión es:

$$\delta_{flex} = \frac{M_m}{S_{elast}}$$

$$\delta_{flex} = 1.64 \text{ MPa}$$

Cálculo de esfuerzo cortante en la viga

Para el cálculo de esfuerzo cortante se da la siguiente ecuación:

$$F_v = \left(k_{mod} * k_{sis} \frac{f_k}{FS} \right) * k_{cr} * \frac{3\pi t * (D_e^4 - D_i^4)}{8(D_e^3 - (D_e - D_i)^3)}$$

Ecuación 2.3 Esfuerzo por cortante [31].

Donde

F_v Fuerza cortante

$k_{sis} = 1,1$ Factor de corrección del sistema

$k_{mod} = 0,5$ Factor de corrección por tipo de servicio y duración.

$f_k = 4$ Valor característico de la sollicitación.

$k_{cr} = 0,5$ Factor de reducción de fisuras [31].

FS Factor de seguridad

$$797,42 = 0,5 * 1,1 * \frac{4}{FS} * 0,5 * 1425,30$$

Se obtiene el factor de seguridad

$$FS = 1,96$$

El esfuerzo cortante máximo viene dado por la ecuación:

$$\tau_{max} = \frac{F_v * 8(D_e^3 - (D_e - Di)^3)}{3\pi t * (D_e^4 - Di^4)}$$

$$\tau_{max} = 0,56 MPa$$

Cálculo a compresión axial

El esfuerzo de compresión axial este dado dependiendo de que tipo de columna se considere, siendo corta, intermedia o larga cada una de sus posibilidades. Para encontrar que tipo de columna se tiene es necesario encontrar la esbeltez [31].

$$l_e = kL$$

Ecuación 2.4 Longitud efectiva de la columna [31].

Donde

l_e Longitud efectiva de la columna

k Coeficiente de longitud efectiva según los apoyos

L Longitud de la columna

El coeficiente de longitud efectiva se obtiene de:

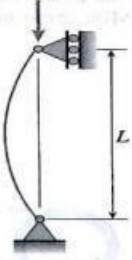
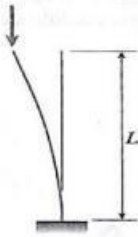
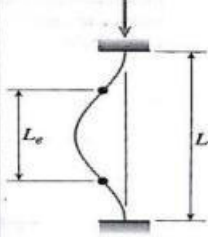
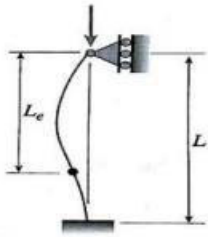
(a) Columna articulada-articulada	(b) Columna empotrada-libre	(c) Columna empotrada-empotrada	(d) Columna empotrada-articulada
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{L^2}$
			
$L_e = L$	$L_e = 2L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 0.699L$
$K = 1$	$K = 2$	$K = 0.5$	$K = 0.699$

Figura 2.19 Valores de k para longitud efectiva [32].

Longitud efectiva

$$l_e = kL$$

$$l_e = 2m$$

Esbeltez de la columna

$$\lambda = \frac{l_e}{r}$$

Donde

λ Esbeltez de la columna

r Radio de giro de la sección

El radio de giro dado por:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde

I Inercia de Gak

A Sección transversal

$$r = 32,015 \text{ mm}$$

La esbeltez es:

$$\lambda = 62,47$$

Para encontrar el tipo de columna, se tiene la tabla:

Tabla 2.8 Clasificación de las columnas según su esbeltez [31].

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$
Larga	$C_k < \lambda < 150$

El valor C_k es un límite dado por la ecuación:

$$C_k = \pi \sqrt{\frac{E_{0.05}}{FS * X_{c,o,d}}}$$

C_k Valor de esbeltez límite entre columnas intermedias y largas

$E_{0.05}$ Módulo de elasticidad percentil $E_{0.05}$

FS Factor de seguridad

$X_{c,o,d}$ Esfuerzo a compresión

Como resultado

$$C_k = 52,78$$

Con esto se determina que se tiene una columna alarga, la fuerza axial para este caso está dada por la siguiente ecuación:

$$F_C = 0.6 \frac{\pi * A * E_{0.05}}{FS * \lambda^2}$$

Ecuación 2.5 Esfuerzo por compresión axial [31]

Donde

F_C Fuerza axial aplicada al elemento

A Sección transversal de GaK

$E_{0.05}$ Módulo de elasticidad percentil $E_{0.05}$

γ_M Factor de seguridad

λ Esbeltez

Se puede obtener el valor de factor de seguridad deseado

$$797,42 = 0.6 \frac{\pi * 2827,43 * 7500}{FS * 62,47^2}$$

$$FS = 12,84$$

Cálculo de pandeo

Para conocer si existe pandeo en la estructura se procede a utilizar la carga crítica de Euler por medio de la ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{l_e^2}$$

Ecuación 2.6 Carga critica de Euler [31].

Donde

P_{cr} Carga critica de pandeo

$E_{0.05}$ Módulo de elasticidad percentil $E_{0.05}$

I Inercia del elemento

l_e Longitud efectiva

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 7500 * 2898119,22}{2000^2}$$

$$P_{cr} = 34142,66 \text{ N}$$

Al comparar el valor obtenido con la fuerza que actúa sobre la columna $F = 797,42 \text{ N}$, se tiene que es mucho mayor y como consecuencia no existe pandeo.

Diseño del pasador de las poleas

Las poleas son las encargadas de transmitir el peso ejercido por el paciente, en este caso se fabricarán los pasadores con acero AISI 4140 con propiedades $S_y=1096$ y $S_u=1172$ con una longitud de 66 mm. Se requiere encontrar el diámetro funcional y realizar cálculos de aplastamiento y corte en el pasador.

El conjunto polea-pasador trabaja con un ajuste móvil como se muestra en la Figura 2.19.

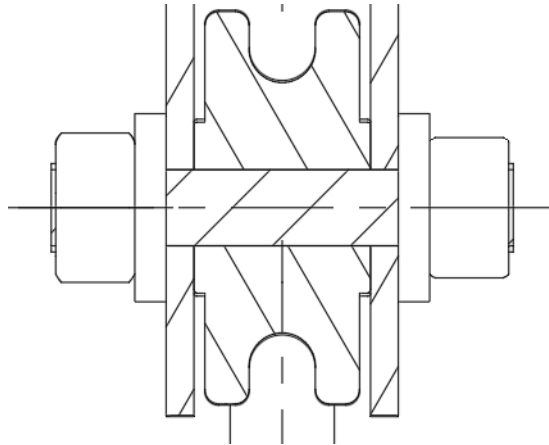


Figura 2.20 Conjunto polea pasador.

Mediante el diagrama de cuerpo libre del pasador de puede empezar a realizar el análisis de esfuerzos.

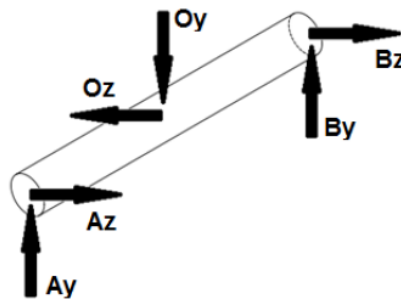


Figura 2.21 DCL pasador polea.

Para este caso se generan dos tipos de reacciones (O_y y O_z) pero debido a que solo actúa la tensión del cable son iguales.

Se calcula que el momento flector para cada plano es igual a $M=29,31$. Para este caso donde existen dos tipos de planos se tiene la ecuación:

$$M_m = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$$

$$M_m = 41,45$$

Para las fuerzas que actúan sobre el pasados se utiliza la siguiente ecuación:

$$Rm = \sqrt{O_z^2 + O_y^2}$$

$$Rm = 1248,6 \text{ N}$$

Al encontrar el momento máximo que actúa sobre el pasador se puede continuar a calcular el

diámetro requerido despejando valores conocidos por medio de la ecuación de esfuerzo por flexión ya que se tiene como dato las propiedades del material, para este caso se utilizará un factor de seguridad de 2.

$$\sigma = \frac{M_m * c}{I} * FS$$

Donde:

σ Esfuerzo por flexión

M_m Momento máximo

c Distancia del eje neutro al esfuerzo (En este caso es el radio)

I Inercia del elemento

FS Factor de seguridad

$$\sigma = \frac{M_m * \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{64}} * FS$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{41450 * 32 * 2}{\pi * 1096}}$$

$$d = 9,16$$

El diámetro mínimo requerido es de 9,16, para efectos prácticos se procede a elegir un diámetro comercial de 1/2 pulgada.

También se realiza el análisis de aplastamiento entre el pasador y la placa de soporte que en este caso se construye con acero A36 con $S_y=230$ y 4 mm de espesor. Para esto se calcula el esfuerzo generado por la reacción máxima en el pasador calculada anteriormente y la placa de soporte.

$$\sigma = \frac{Rm}{FS * e * d}$$

$$\sigma = \frac{1248,6}{2 * 4 * 12,7} = 12,28 \text{ MPa}$$

En comparación con los esfuerzos permisibles (S_y) del pasador y la placa de apoyo se tiene que:

$$12,28 \text{ MPa} \leq 1096$$

$$12,28 \text{ MPa} \leq 230$$

Como conclusión se indica que no existirá aplastamiento entre los elementos.

Peso de la estructura

Con los datos obtenidos acerca del material es posible obtener el peso de la estructura de bambú, considerando la viga superior junto con sus dos columnas más partes de refuerzo se tienen como resultado la masa de la GaK.

$$m_{GaK} = 21,21 \text{ kg}$$

2.4 Selección de elementos externos

Los materiales externos por seleccionar son el cabrestante manual junto con el tipo de cable a usar y el gancho de sujeción al arnés.

En el país, la empresa Azza distribuye un tipo de cabrestante que incluye el cable de acero, gancho y poleas.



Figura 2.22 Cabrestante de manual Gebuwin [33].

Características técnicas

Marca: Gebuwin

Capacidad: 250 kg

Peso: 10 kg

Montaje: pared y piso



Figura 2.23 Alambre de acero Gebuwin [34].

Características técnicas

Materia: Acero galvanizado

Diámetro: 4 mm

Esfuerzo de rotura: 1570 N/mm²

2.5 Costos de materiales

A continuación, se detalla los costos que influyen en la fabricación del sistema de suspensión.

Costos de elementos normalizados

En la Tabla 2.9 se presenta los costos de elementos normalizados utilizados.

Tabla 2.9 Costos elementos normalizados.

Descripción	Cantidad	\$/unidad	Total \$
Perno 3/8	42	0,20	8,40
Perno 1/2	6	0,30	1,80
Perno M10x130	4	0,35	1,40
Arandela M10	4	0,05	0,20
Arandela 3/8	42	0,04	1,68
Arandela 1/2	6	0,04	0,24
Tuerca M10	4	0,10	0,40
Varilla roscada 3/8 x 150 mm	11	0,25	2,75
Varilla roscada 3/8 x 250 mm	8	0,46	3,68
Varilla roscada 3/8 x 300 mm	2	0,51	1,02
Total			21,57

Costo de materiales

Para la estructura se necesitan aproximadamente 11,4 metros de bambú, la distribución se presenta de 6 y 9 metros, debido a eso se compra 12 metros.

Tabla 2.10 Costos materia prima.

Descripción	Cantidad	\$/unidad	Total \$
Guadua angustifolia Kun	12 m	4,50	54,00
Tubo acero A 36 4"x3m	1	16,00	48,00
Plancha acero A36 500x250x3 mm	1	6,41	6,41
Eje de acero AISI 1045 ½	70 mm	3,22	3,22
Total			132,88

Costos de mecanizado

Tabla 2.11 Costos mecanizado.

Pieza	Perforado 5 \$/hora	Fresado 20 \$/hora	Soldadura 10 \$/hora	Corte 5 \$/hora	Cantidad	Total (\$)
Codo superior	0,1	0,2	0,7	0,1	1	12
Codo para polea	0,1	0,5	0,8	0,1	1	19
Acople suelo	0,1	0,5	0,5	0,15	4	65
Soporte medio de polea	0,1		0,6	0,1	1	7
Polea	1				1	5
Soporte winch	0,1	0,5	0,5	0,15	1	16,25
Tubo en T	0,1		0,6	0,1	1	7
					Total	131,25

Costo total

Tabla 2.12 Costos materia prima.

Costos	Valor \$
Elementos normalizados	21,57
Materia prima	111,63
Cabrestante manual con cable	51,00
Mecanizado	131,25
Total	315,45

Costo de la estructura final

Tabla 2.13 Costos final de la estructura.

Costo subtotal	315,45\$
Costos De Montaje (10%)	31,54 \$
Costos Imprevistos (15%)	47,31 \$
Costos De Diseño (15%)	47,31 \$
Total	441,61 \$

Simulación de esfuerzos en software

Para el presente proyecto se realiza una simulación de esfuerzos en la viga superior y la columna principal donde se apoya el cabrestante manual, mediante la simulación se complementa los cálculos realizados con anterioridad utilizando la herramienta de análisis de esfuerzos de Autodesk Inventor.

En este caso no existe complejidad elevada en la simulación al ser una estructura tipo pórtico, por este motivo se utiliza una malla básica para la simulación como en la figura 2.24.

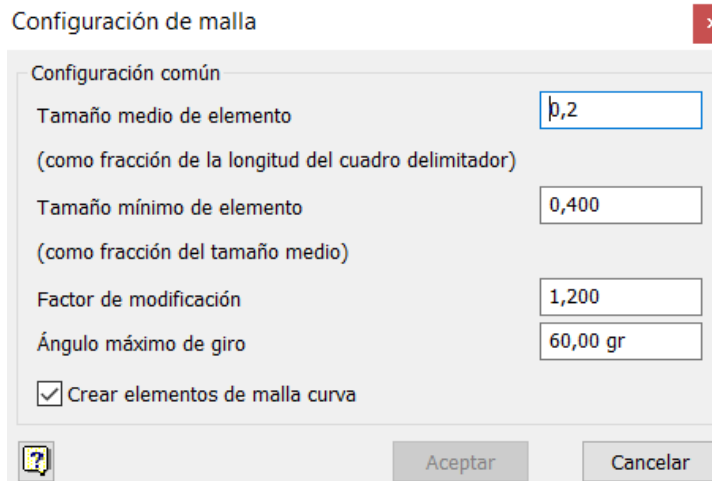


Figura 2.24 Configuración de mallado

Para el caso de la viga superior se colocan restricciones en los extremos en representación las juntas empernadas y colocación de apoyos a 320 mm de cada extremo en representación a las uniones de bambú que sirven como apoyo entre la viga y la columna.

Al realizar la simulación de análisis de esfuerzos se encuentran 7 resultados de desplazamientos y esfuerzo de Von Mises como en la Figura 2.25.

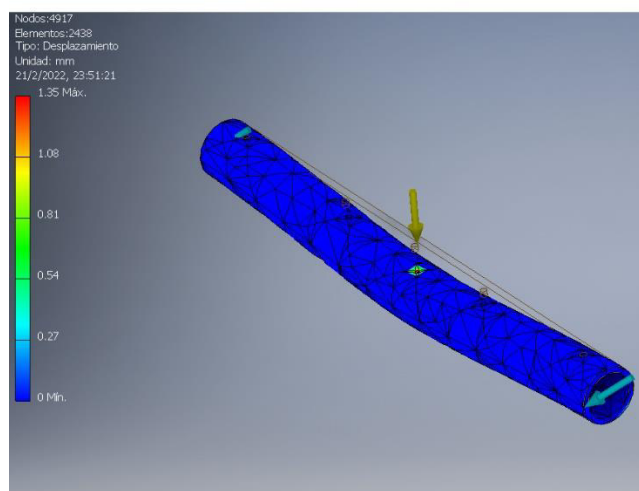
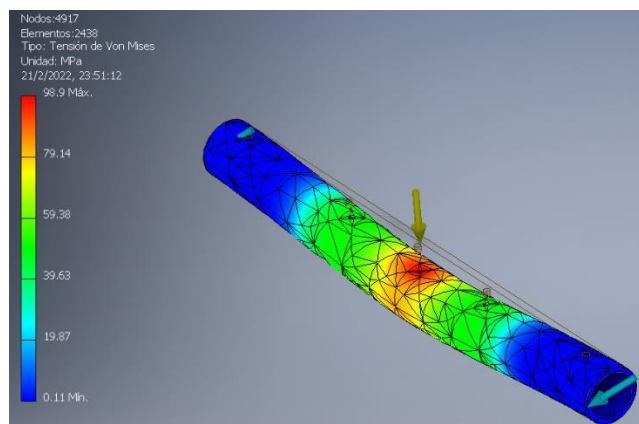


Figura 2.25 Resultados análisis en viga

En la Figura 2.25 se encuentra que el momento flector máximo para la vida fue de 98,9 MPa, el calculado en la sección de cálculos fue de 95,21 MPa.

Para la simulación se tiene un total de 4917 nodos a lo largo del elemento y una cantidad de 2438 elementos.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos, incluyendo dimensiones, metodología, comparaciones. También se presenta las conclusiones y recomendaciones desarrolladas.

3.1 Análisis de resultados

Como resultado final las dimensiones generales de la estructura son 2,22 x 1,5 x 1,2 m, sin embargo, estos son valores exteriores, la estructura está diseñada para personas de altura máxima 1,8 m y peso de 90 kg.

En el capítulo 1 se realizó un benchmarking en busca de estructuras fabricadas para cumplir con la misma tarea planteada en el proyecto (sistema de rehabilitación), en la Tabla 3.1 se presenta una comparación entre los sistemas encontrados junto con la estructura presentada en este proyecto.

Tabla 3.1 Comparativa de sistemas de suspensión

Nombre	Imagen	Capacidad [kg]	Tipo de tecnología	Precio [\$]
<p>Equipo Yeecon</p>		<p>250</p>	<p>Motor eléctrico</p>	<p>10.000</p>
<p>Equipo H/p/cosmos airwalk ap</p>		<p>120</p>	<p>Compresor de aire</p>	<p>12.000</p>
<p>Equipo Lokomat Pro</p>		<p>135</p>	<p>Robótica, motor eléctrico</p>	<p>90.000</p>
<p>Estructura propia</p>		<p>90</p>	<p>Manual</p>	<p>441</p>

En la Tabla 3.1 se aprecia la diferencia de precios entre diversos sistemas de suspensión corporal existentes en el mercado revisados en el Capítulo 1, dando como resultado una gran diferencia de precios (más de 10.000 USD). Si bien los sistemas que existen en el mercado cuentan con materiales de construcción o tecnología del más alto nivel que el diseño propuesto, se presenta una alternativa viable a nivel económico para personas de recursos limitados que necesitan realizar rehabilitación.

Un punto importante para destacar es que en el sistema propuesto se utiliza un sistema de elevación manual, en comparación con diseños eléctricos o neumáticos se tiene la ventaja de que se puede llevar a cualquier ubicación, una gran ventaja para sitios donde la cobertura de sistema eléctrico sea limitada.

La elección del bambú como material de construcción de la estructura permite sustituir materiales metálicos como materia prima. El uso de la caña guadúa angustifolia kunth presenta valores de resistencia adecuados para resistir esfuerzos como los que se han planteado en este proyecto y brindar una alternativa económica y sustentable al medio ambiente.

Como el bambú es del tipo madera y varia sus propiedades en función de su geometría, condiciones ambientales, geografía, es necesario revisar trabajos de autores externos donde las propiedades del material estén relacionadas con las disponibles en la región.

Debido a que la caña guadúa tiene dimensiones específicas de diámetro y espesor, para este proyecto se realizó el diseño seleccionando como base dimensiones ya establecidas y a partir de ello comenzar con el dimensionamiento. Se emplearon las ecuaciones de diseño presentadas en el trabajo "Structural use of bamboo", donde se permite determinar un factor de seguridad adecuado dependiendo del tipo de esfuerzo que existe en los elementos dando como resultado los valores de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Factores de seguridad calculados

Tipo de esfuerzo	Factor de seguridad
Flexión en la viga superior	13,4
Cortante en la viga superior	1,96
Compresión en la columna principal	122,84

En comparación con datos de factores de seguridad sugeridos en la Tabla 1.2, donde los valores son de 1,5, se cumple la recomendación de las normas internacionales logrando que el sistema propuesto sea seguro sin riesgo del falla para que el paciente pueda realizar su

rehabilitación sin problemas.

Al comparar el esfuerzos obtenido por la simulación en la viga superior, donde se tiene el máximo momento flecto a soportar se tiene un valor de 98,9 MPa, el calculado en la sección de cálculos fue de 95,21, lo que equivale a un 3% de error. El poco valor de variación es posible que es dado debido a que la geometría es simple ya que es tipo pórtico con puntos de apoyo simples.

Para el análisis de costos se incluyen porcentajes de diseño y montaje, del 10 al 15%, esto es debido a que la persona a cargo de fabricar el proyecto debe de tener una correcta remuneración.

3.2 Conclusiones

Se diseñó y simuló un sistema de rehabilitación física tomando como principio el uso de una geometría establecida para determinar esfuerzos principales y factores de seguridad.

Se determinó que la estructura es capaz de soportar el peso de una persona de 90 kg y de altura 1,80, empleando un cabrestante manual por medio de poleas y dando como resultado dimensiones externas de 2,22 x 1,5 x 1,2 m, suficiente para emplear una caminadora comercial.

Se diseñó un sistema de rehabilitación tomando como material principal la caña guadúa, de forma que pueda soportar de manera correcta el peso del paciente para realizar el tipo de rehabilitación física deseada.

Se elaboraron los correspondientes planos de conjunto, subconjunto y de taller para cada elemento empleado desde partes fabricadas y elementos normalizados, utilizando las normas de dibujo correspondiente para la correcta representación e interpretación de la estructura.

Se dimensionaron los elementos con base en el análisis de fuerzas actuantes sobre los principales elementos (viga y columna), y como resultado se obtuvieron factores de seguridad en la viga principal 13,4 para flexión, 1,96 para cortante y en la columna 122,84 trabajando a compresión. Lo recomendado por la norma es 1,5 [21], por lo que el diseño cumple con su propósito.

Por medio del software Inventor se obtuvo una simulación del análisis de esfuerzos en la viga superior principal de la estructura, lugar donde se encuentra el máximo momento según los cálculos de diseño realizados y encontrados.

Se realizó el análisis de costo de fabricación de la estructura (341 USD), el uso de la caña guadúa brinda ventajas en comparación a precios de sistemas comerciales (>10000 USD),

debido a esto se presenta como una buena oportunidad de construcción para personas de bajos recursos que requieran realizar un tipo de tratamiento adecuado.

3.3 Recomendaciones

En caso de querer adaptar a la estructura para usarla en movimiento y realizar otro tipo de rehabilitación, es posible poner garrúchas en la parte inferior y añadir elementos de soporte adicionales como pasamanos.

Se recomienda realizar un estudio sobre una posible implementación de un sistema con suspensión dinámica que permita variar la altura del paciente en tiempo real, esto se puede realizar por medio de resortes o muelles.

En caso de optar por el uso de otro tipo de bambú, se recomienda realizar el dimensionamiento de la estructura tomando como base de referencia valores de acuerdo con la ubicación geográfica del material a emplear, puesto que las propiedades pueden verse afectadas.

Se recomienda realizar un tratamiento superficial para mantener las propiedades de la caña guadúa en las mejores condiciones, la temperatura y humedad afectan al material y sus propiedades.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Q. Huang and K. Yokoi, "Planning Walking Patterns for a Biped Robot," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 3, pp. 280–288, 2001.
- [2] S. Moreno García, "Trauma raquimedular," *Morfología*, vol. 7, no. 1, pp. 48–54, 2015.
- [3] R. Simon, D. Greenberg, and M. Aminoff, *Neurología Clínica*, 7th ed. Mexico: McGraw-Hill, 2010.
- [4] L. Cerda, "Manejo del trastorno de marcha del adulto mayor," *Rev. Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, no. 2, pp. 265–275, 2014, doi: 10.1016/s0716-8640(14)70037-9.
- [5] S. Children's, "Parálisis cerebral (PC) y su topografía," 2020.
- [6] Krusen, F. Kottke, G. Keith Stillwell, and F. Lehmann, *Medicina Física y Rehabilitación*, Tercera E. Editorial Panamericana, 1991.
- [7] I. Sánchez *et al.*, *Manual de Rehabilitación y Medicina física*. Editorial médica PanamericSERMEF. Sociedad Española de Rehabilitación y medicina físicaana, 2006.
- [8] Yeecon, "Suspension walker," Yeecon, 2021. <https://www.yikangmedical.com/suspension-walker.html> (accessed Nov. 30, 2021).
- [9] hpcosmos, "h/p/cosmos airwalk® ap," hpcosmos, 2021. <https://www.hpcosmos.com/en/products/supplies-options/hpcosmos-airwalk-ap> (accessed May 23, 2021).
- [10] Hocoma, "Lokomat User Script." 2021, [Online]. Available: https://knowledge.hocoma.com/wp-content/uploads/2019/03/Lokomat_User_Script_EN_20180322.pdf.
- [11] Hocoma, "Lokomat®Pro," Hocoma, 2021. <https://www.hocoma.com/> (accessed May 23, 2021).
- [12] Edición médica, "Nuevo centro de Rehabilitación del HCAM contará con el 'robot lokomat,'" *Edición médica*, 2018. <https://www.edicionmedica.ec/secciones/gestion/nuevo-centro-de-rehabilitacion-del-hcam-contar-con-el-robot-lokomat--92505> (accessed May 23, 2021).
- [13] A. S. Muñoz Pinto, "Lokomat En La Re-Educación De La Marcha En Personas Hemipléjicas Post Accidente Cerebro Vascular," UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2016.
- [14] Edición médica, "Resultados positivos de rehabilitación en pacientes con lesión medular," *Edición médica*, 2020. <https://www.edicionmedica.ec/secciones/salud-publica/resultados-positivos-de-rehabilitacion-en-pacientes-con-lesion-medular--95148> (accessed May 23, 2021).
- [15] E. R. Álvarez Castilla, "Comportamiento mecánico de las conexiones en los elementos de bambú para estructuras ligeras. El caso de las especies del trópico de veracruz."

- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2012.
- [16] INBAR, “Ecuador: Estrategia Nacional del Bambú 2018-2022 (versión resumida).” Red Internacional del Bambú y el Ratán, Quito, Ecuador, p. 103, 2019, [Online]. Available: <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2019/03/estrategia-nacional-bambc3ba-2018-2022-versic3b3n-resumida.pdf>.
- [17] J. Morán Ubidia, *Manual de construcción. Construir con bambú “Caña de Guayaquil,”* 3rd ed. Lima, Peru: Red Internacional de Bambú y Ratán, 2015.
- [18] M. Añasco and S. Rojas, “Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie *Guadua angustifolia*,” *Imbar*. Quito, Ecuador, p. 193, 2015, [Online]. Available: <https://bit.ly/3t1EDjO>.
- [19] GuaduaBamboo, “Productos hechos de Bambú,” *GuaduaBamboo*, 2021. <https://www.guaduebambu.com.co/blog/productos-hechos-de-bambu> (accessed May 18, 2021).
- [20] EL COMERCIO, “Las claves de la vivienda típica esmeraldeña,” *EL COMERCIO*, 2016. <https://www.elcomercio.com/tendencias/vivienda-esmeraldas-materiales-canaguadua-intercultural.html> (accessed May 18, 2021).
- [21] S. Kaminski, A. Lawrence, D. Trujillo, I. Feltham, and L. López, “Structural use of bamboo: Part 3: Design values,” *Struct. Eng.*, vol. 94, pp. 42–45, 2016.
- [22] NEC, “Estructuras de guagúa (GaK).” Norma Ecuatoriana de la Construcción, Quito, p. 94, 2016.
- [23] N. C. D. Risk and F. Collaboration, “A century of trends in adult human height,” *Elife*, vol. 5, pp. 1–29, 2016, doi: 10.7554/eLife.13410.
- [24] Inec, “Encuesta Nacional De Salud,” vol. 1. p. 47, 2012, [Online]. Available: www.ecuadorencifras.gob.ec/...inec/Estadisticas.
- [25] C. Riba, *Diseño concurrente*. Barcelona, 2002.
- [26] ANTEC, “Catalogo Antec Soluciones Anticaídas.” 2008, [Online]. Available: <https://fdocuments.ec/reader/full/catalogo-antec-2008>.
- [27] Pneumex, “PneuVest Ultima™,” *Pneumex*. <http://www.pneumex.com/pneuvest.html> (accessed May 23, 2021).
- [28] Directindustry, “Polipasto de cadena neumático,” 2021. <https://www.directindustry.es/prod/ingersoll-rand/product-16225-1690658.html>.
- [29] TRUPER, “Malacates de manivela con cable,” *TRUPER*, 2021. <https://www.truper.com/malacates-de-manivela-con-cable.html>.
- [30] alamy, “sistema de poleas,” *alamy*, 2021. <https://www.alamy.es/imagenes/sistema-de-poleas.html>.
- [31] S. Kaminski, A. Lawrence, D. Trujillo, I. Feltham, and L. F. López, “Structural use of bamboo. Part 4: Element design equations,” *Struct. Eng.*, vol. 95, no. 3, pp. 24–27, 2017.

- [32] J. Gere and B. Goodno, *Séptima edición materiales Séptima edición*, Séptima Ed. CENGAGE Learning, 2009.
- [33] Gebuwin, "Worm gear hand winch 250 kg," 2021. <https://gebuwin.com/products/hand-winch/worm-gear-hand-winch-250-kg/>.
- [34] Gebuwin, "Galvanized wire rope 4 mm," 2021. <https://gebuwin.com/products/accessories/galvanized-wire-rope-4-mm/>.

5 ANEXOS

Anexo 1

Casa de la calidad

Título Sistema estructural de bambú para rehabilitación física
Autores José Insuasti
Fecha: 21/2/2021

Leyenda	
⊕	Relación fuerte 9
○	Relación moderada 3
△	Relación débil 1
⊕⊕	Correlación positiva fuerte
+	Correlación positiva
-	Correlación negativa
▽	Correlación negativa fuerte
▼	El objetivo es minimizar
▲	El objetivo es maximizar
X	El objetivo es alcanzar el objetivo

# Fila	Valor máximo de relación en fila	Peso relativo	Peso / Importancia	Calidad exigida (conocido como "Requisitos del cliente" o "Qué")	# Columna						
					1	2	3	4	5	6	
					Dirección de mejora: Minimizar (▼), Maximizar (▲), or Objetivo (X)						
					Características de calidad (Conocido como "Requisitos Funcionales" o "Cómo")						
					Ancho de la base	Altura para el paciente	Capacidad de carga	Factor de seguridad	canismo de elevación sencillo	Precio	
1	9	20,0	5,0	Espacio para usarse con una caminadora	⊕						
2	9	20,0	5,0	Altura suficiente para el paciente		⊕			▲		
3	9	20,0	5,0	Soportar el peso del paciente			⊕	⊕	⊕		
4	9	20,0	5,0	Seguro para el paciente			⊕	⊕	▲		
5	9	12,0	3,0	Fácil posicionamiento del paciente para rehabilitación		○	⊕	▲	⊕	▲	
6	9	8,0	2,0	Barato					▲	⊕	
Valor objetivo o límite					≥ 1 m	1,80 m	90 kg	> 2	Acción rápida	< 500 USD	
Dificultad (0=Fácil de lograr, 10=Extremadamente difícil)					4	4	8	6	7	6	
Max Relationship Value in Column					9	9	9	9	9	9	
Peso / Importancia					180,0	216,0	468,0	372,0	336,0	84,0	
Peso relativo					10,9	13,0	28,3	22,5	20,3	5,1	

ANEXO II

EVALUACIÓN DE SOLUCIONES PARA MÓDULO 1

Criterio	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	$\Sigma+1$	Ponderado
Precio		0,5	0	0	1,5	0,15
Disponibilidad	0,5		0,5	0	2	0,2
Capacidad	1	0,5		0,5	3	0,3
Seguridad	1	1	0,5		3,5	0,35
					10	1
Seguridad > Capacidad > Disponibilidad > Precio						

Precio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		1	2	0,66666667
Solución 2	0		1	0,33333333
		suma	3	1
Solución 1 > Solución 2				
Disponibilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		1	2	0,66666667
Solución 2	0		1	0,33333333
		suma	3	1
Solución 1 > Solución 2				
Capacidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		1	2	0,66666667
Solución 2	0		1	0,33333333
		suma	3	1
Solución 1 > Solución 2				
Seguridad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		suma	3	1
Solución 1 = Solución 2				

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución 1	0,1	0,1333333333	0,2	0,175	0,6083	1
Solución 2	0,05	0,0666666667	0,1	0,175	0,3917	2

ANEXO III

EVALUACIÓN DE SOLUCIONES PARA MÓDULO 2

Criterio	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	$\Sigma+1$	Ponderado
Precio		0	0	0	1	0,1
Disponibilidad	1		0	0	2	0,2
Capacidad	1	1		1	4	0,4
Seguridad	1	1	0		3	0,3
					10	1
Capacidad > Seguridad > Disponibilidad > Precio						

Precio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0	1	0,33333333
Solución 2	1		2	0,66666667
		suma	3	1
Solución 2 > Solución 1				
Disponibilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		suma	3	1
Solución 1 = Solución 2				
Capacidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0	1	0,33333333
Solución 2	1		2	0,66666667
		suma	3	1
Solución 2 > Solución 1				
Seguridad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		suma	3	1
Solución 1 = Solución 2				

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución 1	0,0333	0,1	0,13333333	0,15	0,41	2
Solución 2	0,0667	0,1	0,26666667	0,15	0,58	1

ANEXO IV

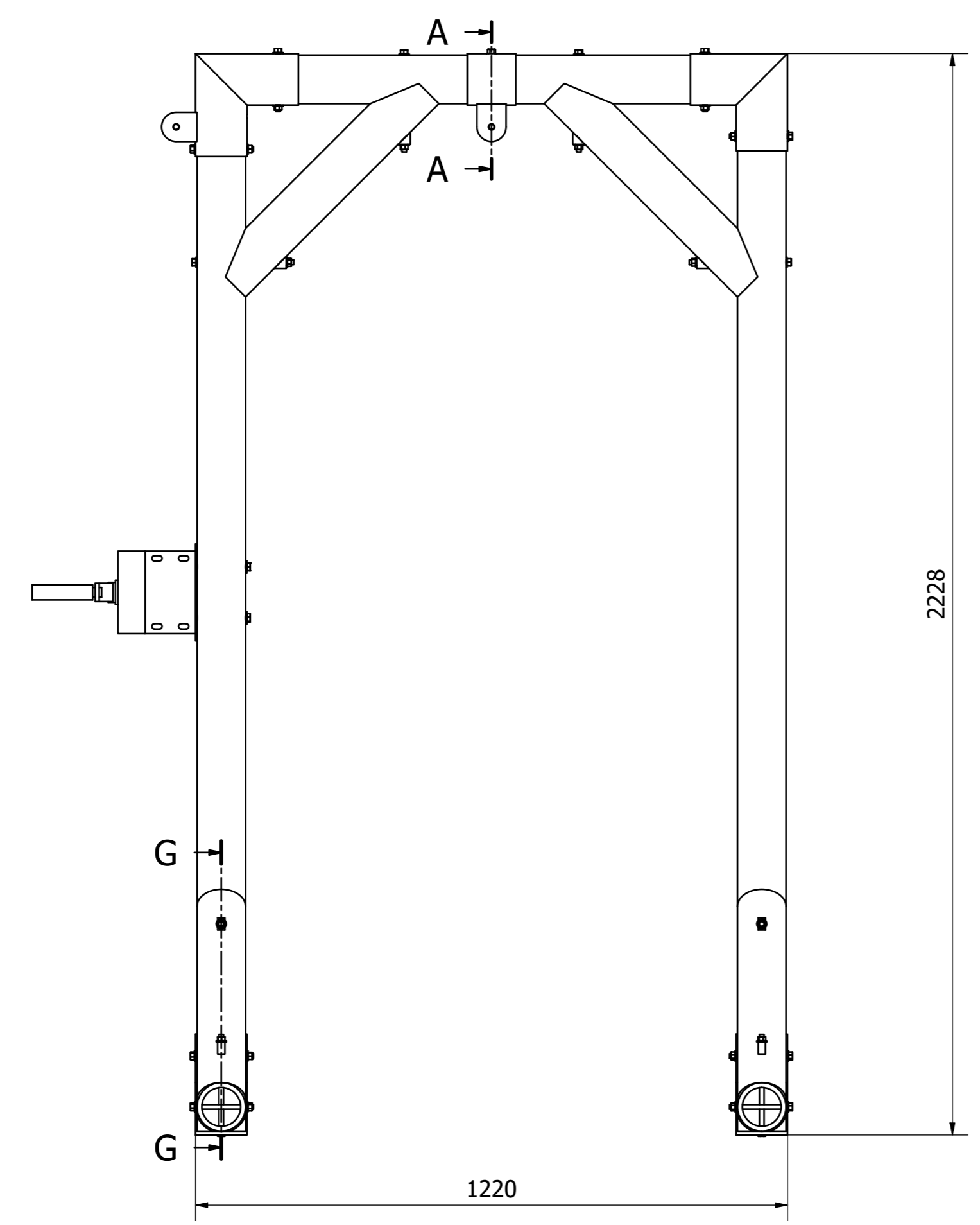
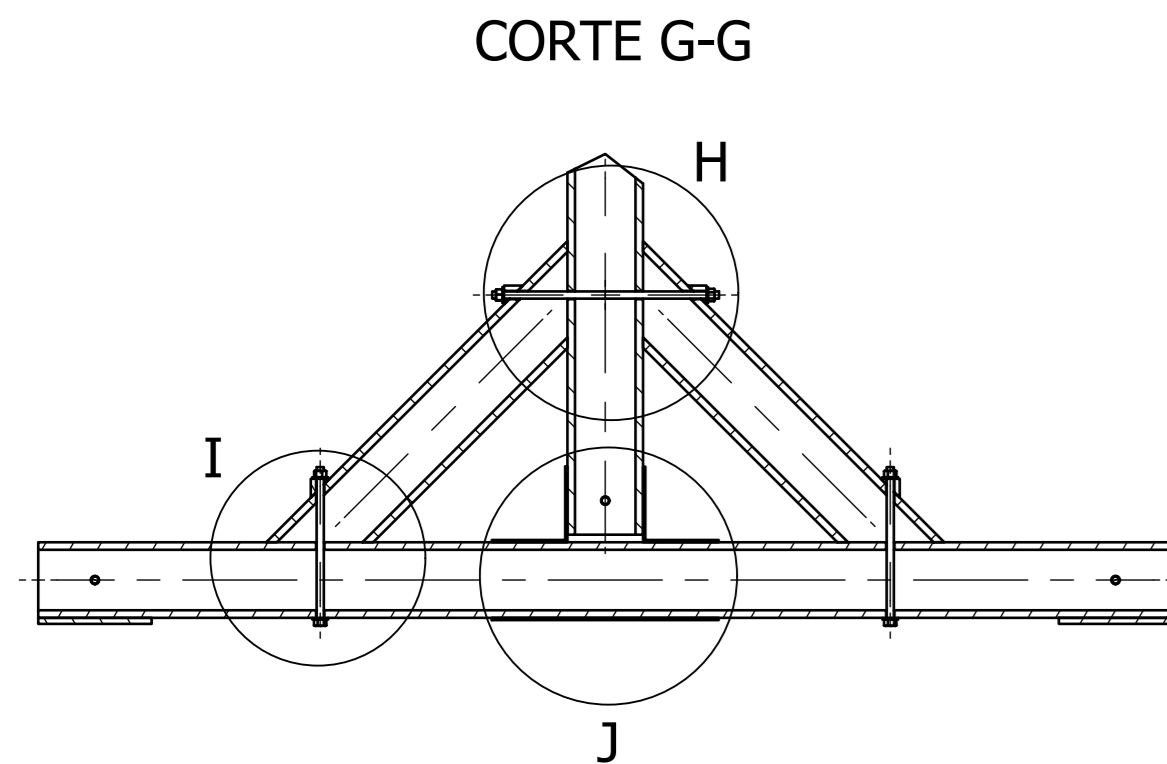
EVALUACIÓN DE SOLUCIONES PARA MÓDULO 3

Criterio	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Construcción	$\Sigma+1$	Ponderado
Precio	0,5	0,5	0	0	1	2,5	0,1667
Disponibilidad	0,5	0	0	0	0	1,5	0,1
Capacidad	1	1	0	1	0	4	0,2667
Seguridad	1	1	0	0	0	3	0,2
Construcción	0	1	1	1	0	4	0,2667
						15	1
Capacidad = Construcción > Seguridad > Precio > Disponibilidad							

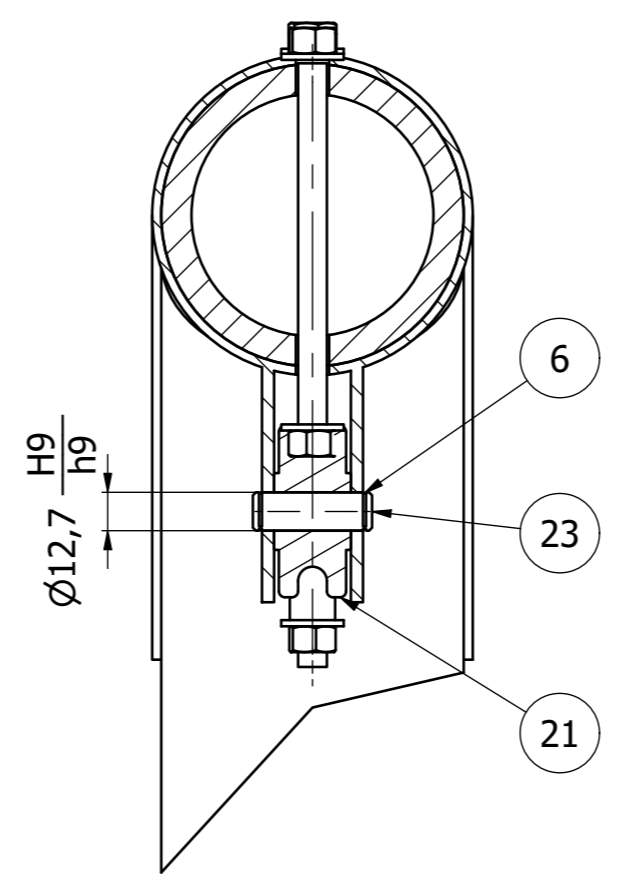
Precio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1	1	0	2	0,66666667
Solución 2	0	0	1	0,33333333
		suma	3	1
Solución 1 > Solución 2				
Disponibilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1	0,5	0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5	0,5	1,5	0,5
		suma	3	1
Solución 1 = Solución 2				
Capacidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1	1	0	2	0,66666667
Solución 2	0	0	1	0,33333333
		suma	3	1
Solución 1 > Solución 2				
Seguridad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1	0,5	0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5	0,5	1,5	0,5
		suma	3	1
Solución 1 = Solución 2				
Construcción	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1	1	0	2	0,66666667
Solución 2	0	0	1	0,33333333
		suma	3	1
Solución 1 > Solución 2				

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Construcción simple	Σ	Prioridad
Solución 1	0,1111	0,05	0,177777	0,1	0,177777	0,6166	1
Solución 2	0,0555	0,05	0,088888	0,1	0,088888	0,3833	2

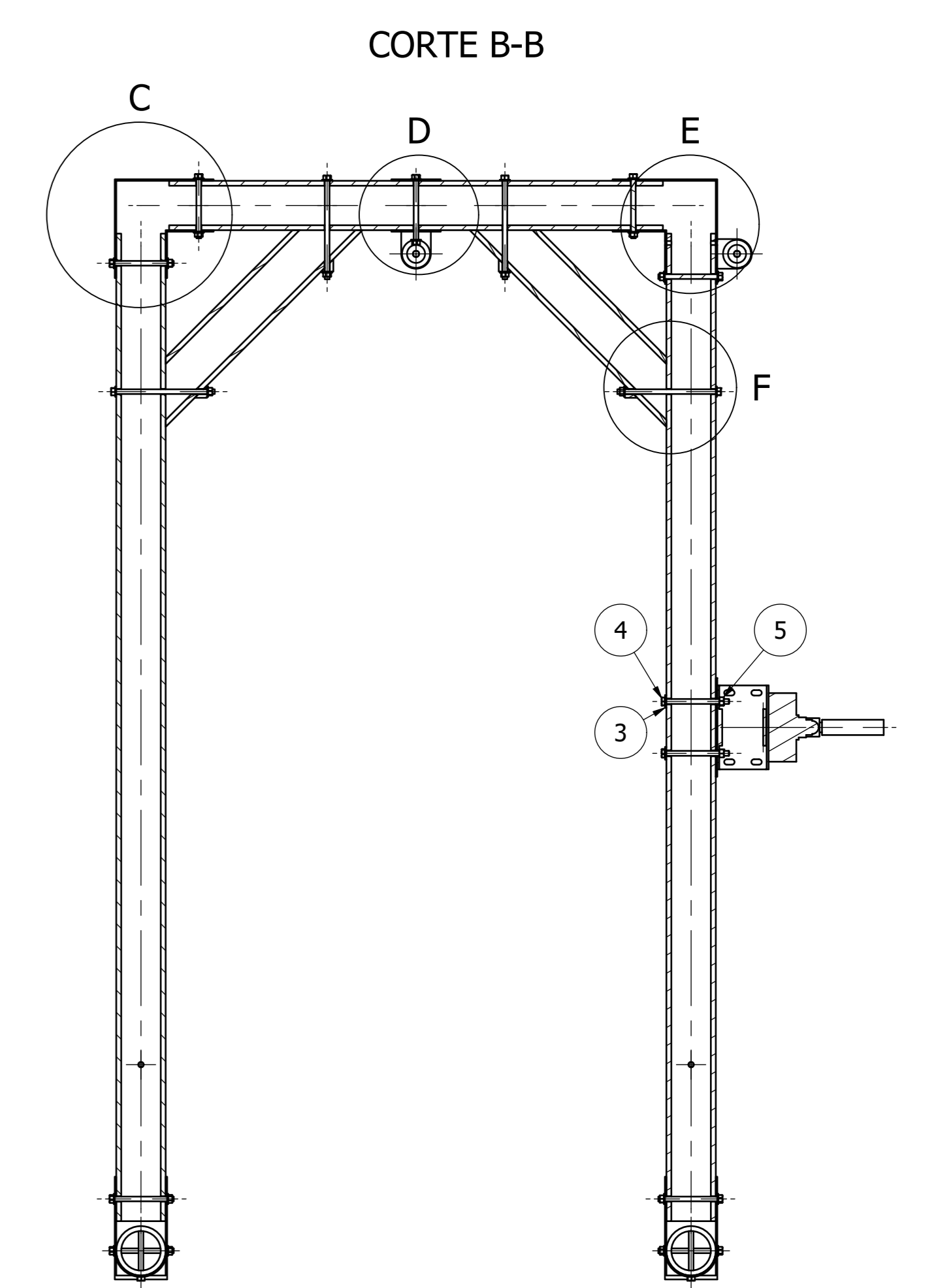
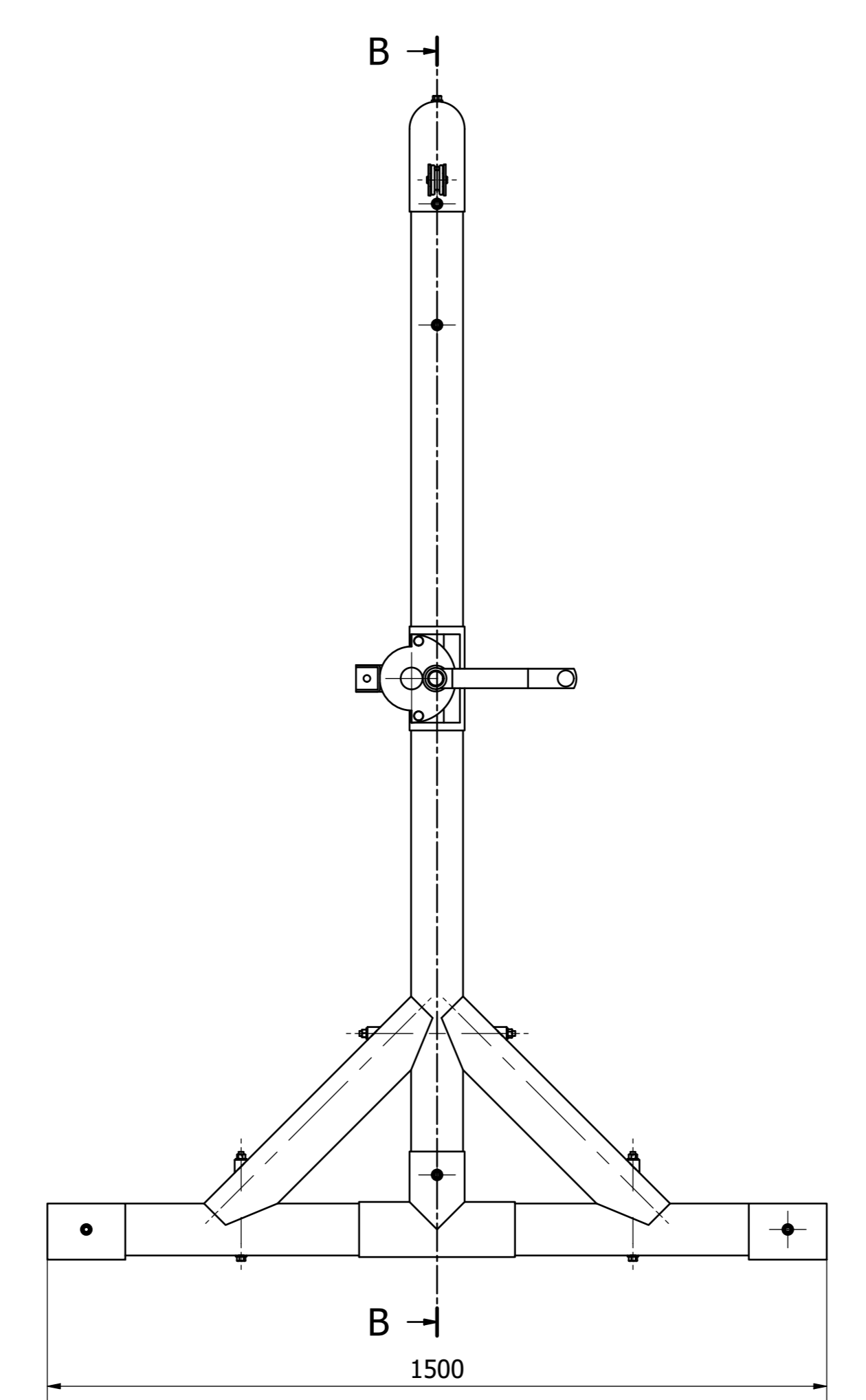
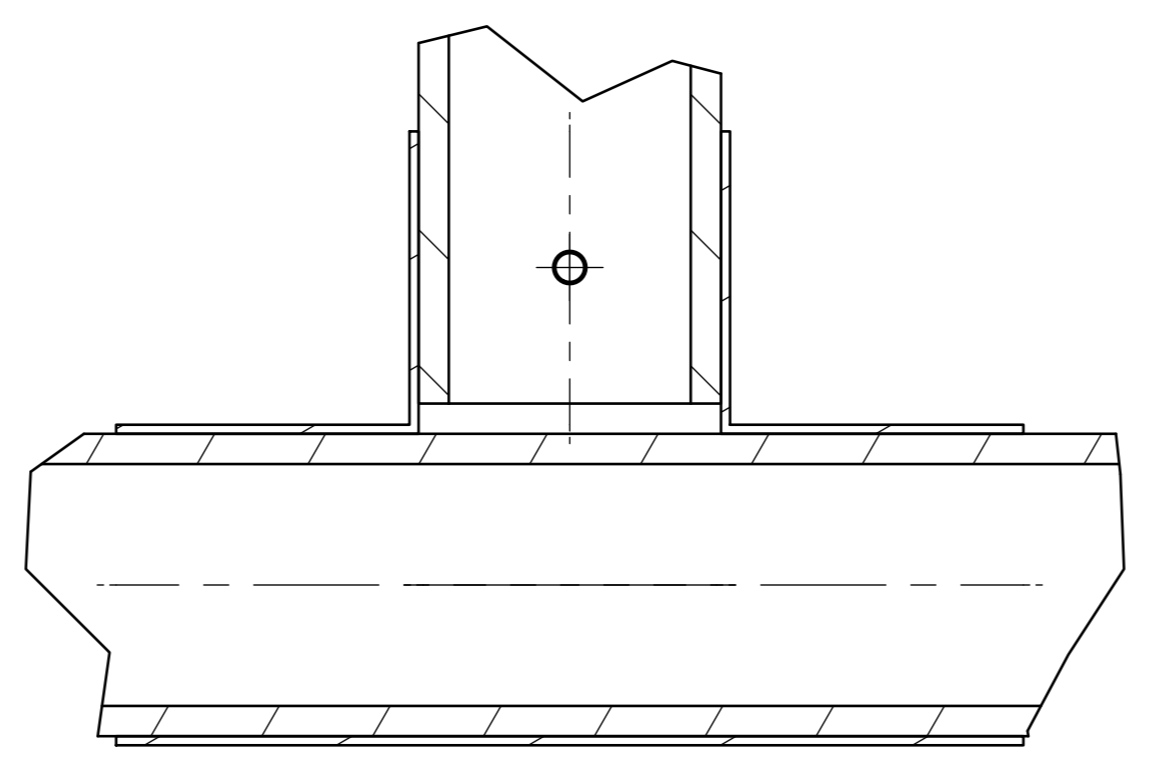
ANEXO V
PLANOS DE CONJUNTO, SUBCONJUNTO Y TALLER



CORTE A-A (1 : 2,5)

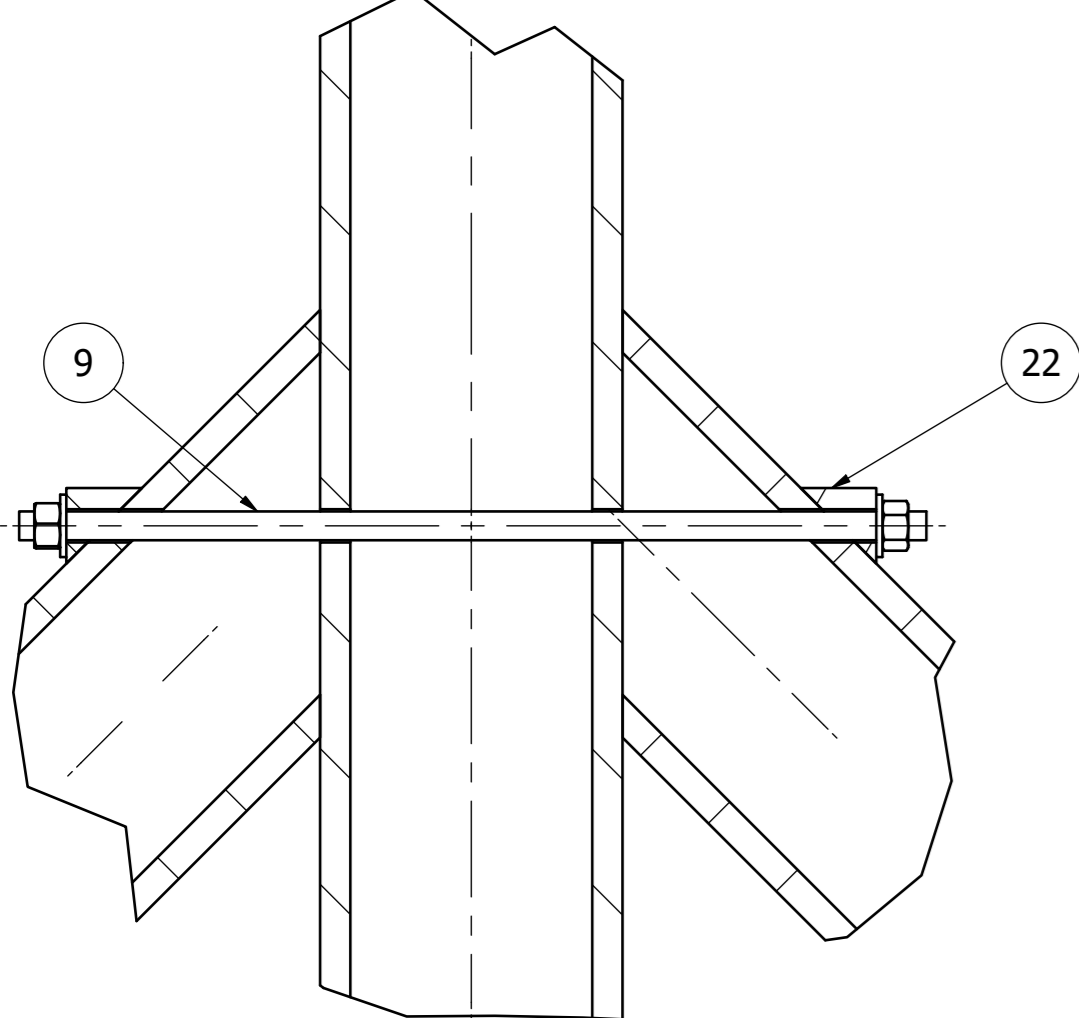


DETALLE J (1 : 2,5)

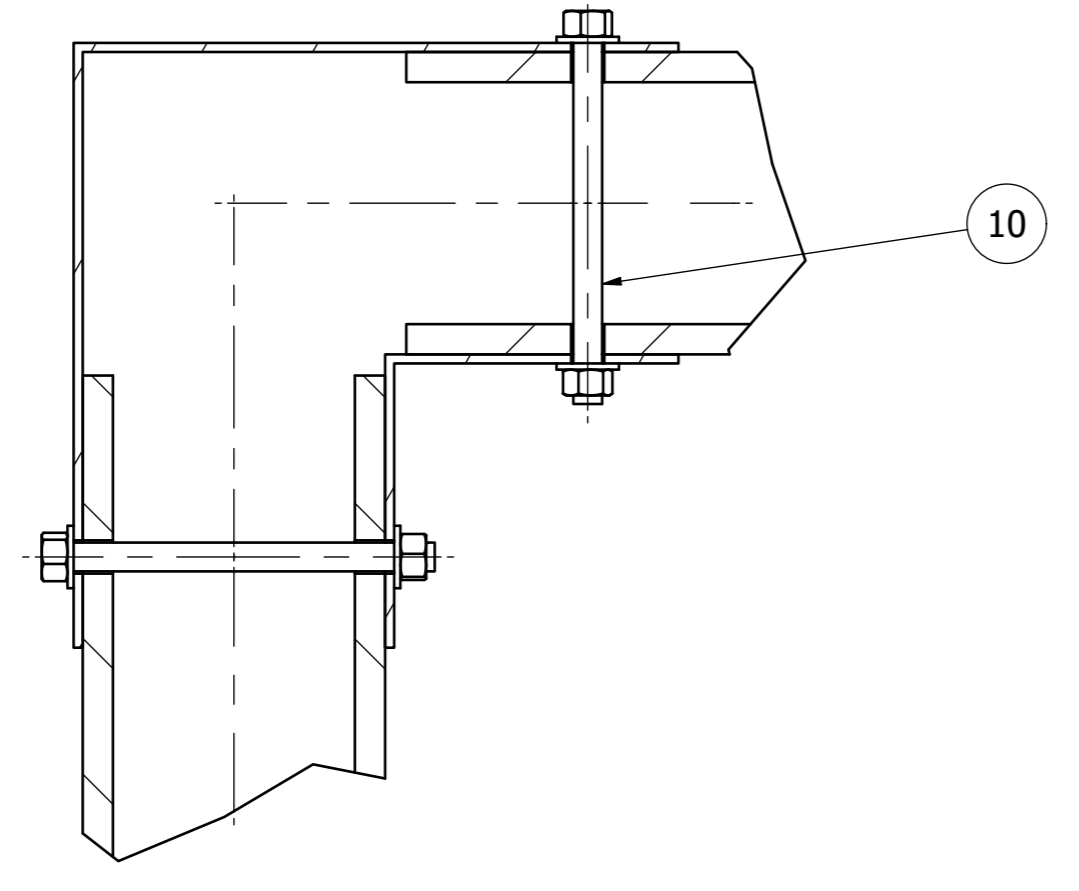


Especificaciones técnicas	
Capacidad máxima	90 kg
Altura	2,2 m
Largo	1,5 m
Ancho	1,2 m
Diámetro cable de acero	4 mm

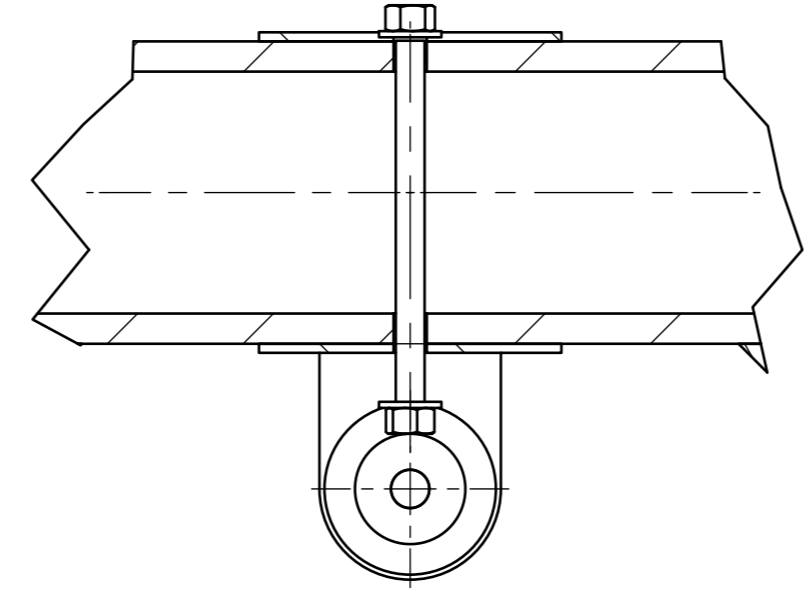
DETALLE H (1 : 2,5)



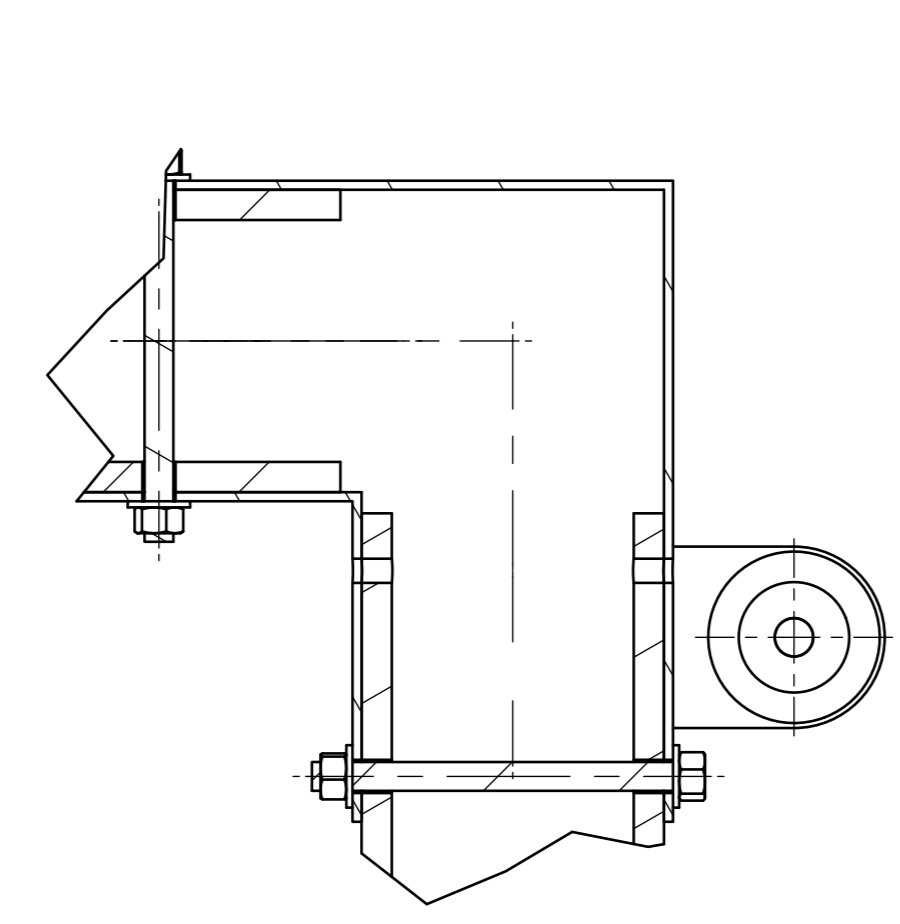
DETALLE C (1 : 2,5)



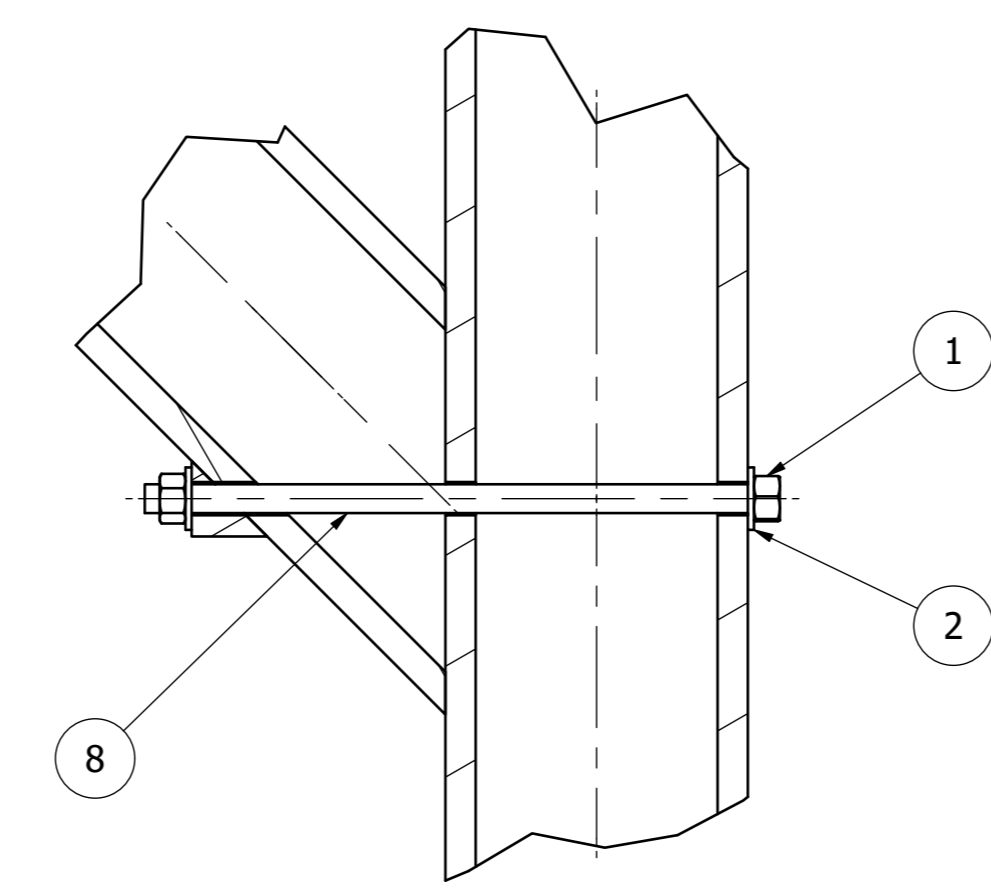
DETALLE D (1 : 2,5)



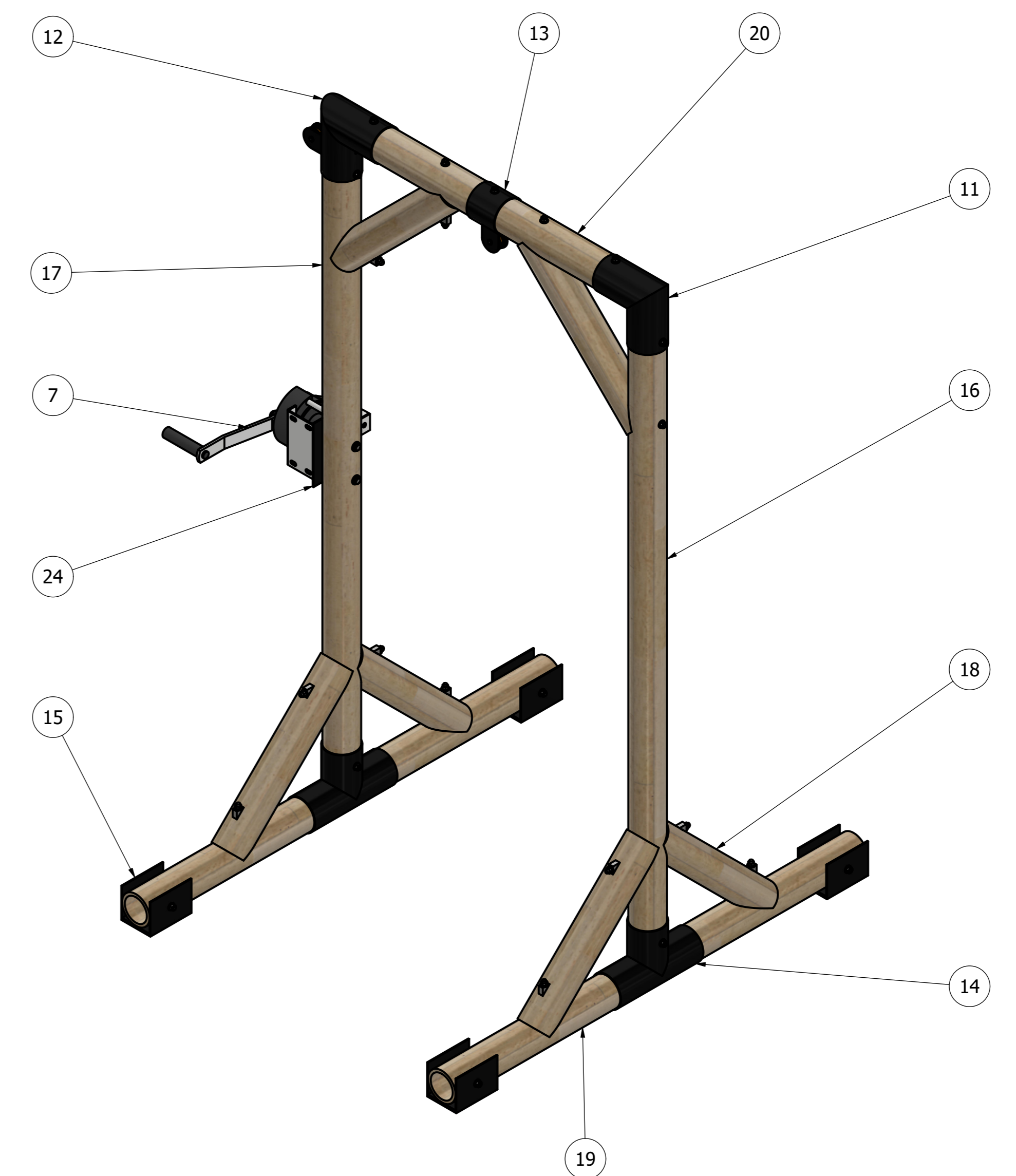
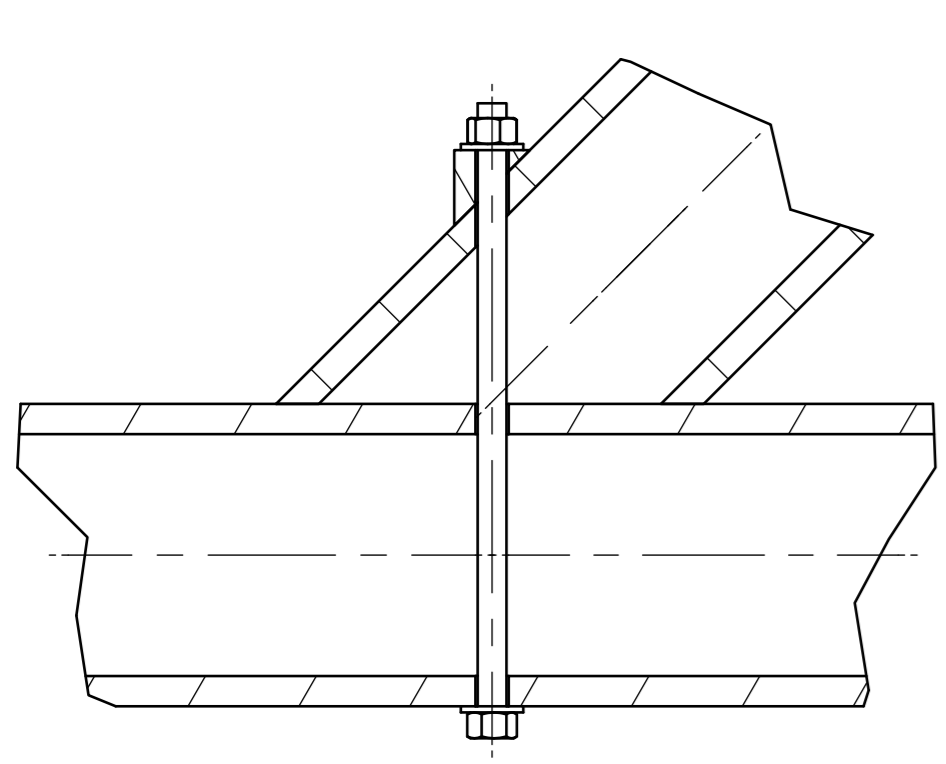
DETALLE E (1 : 2,5)



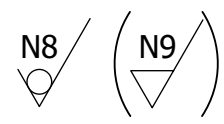
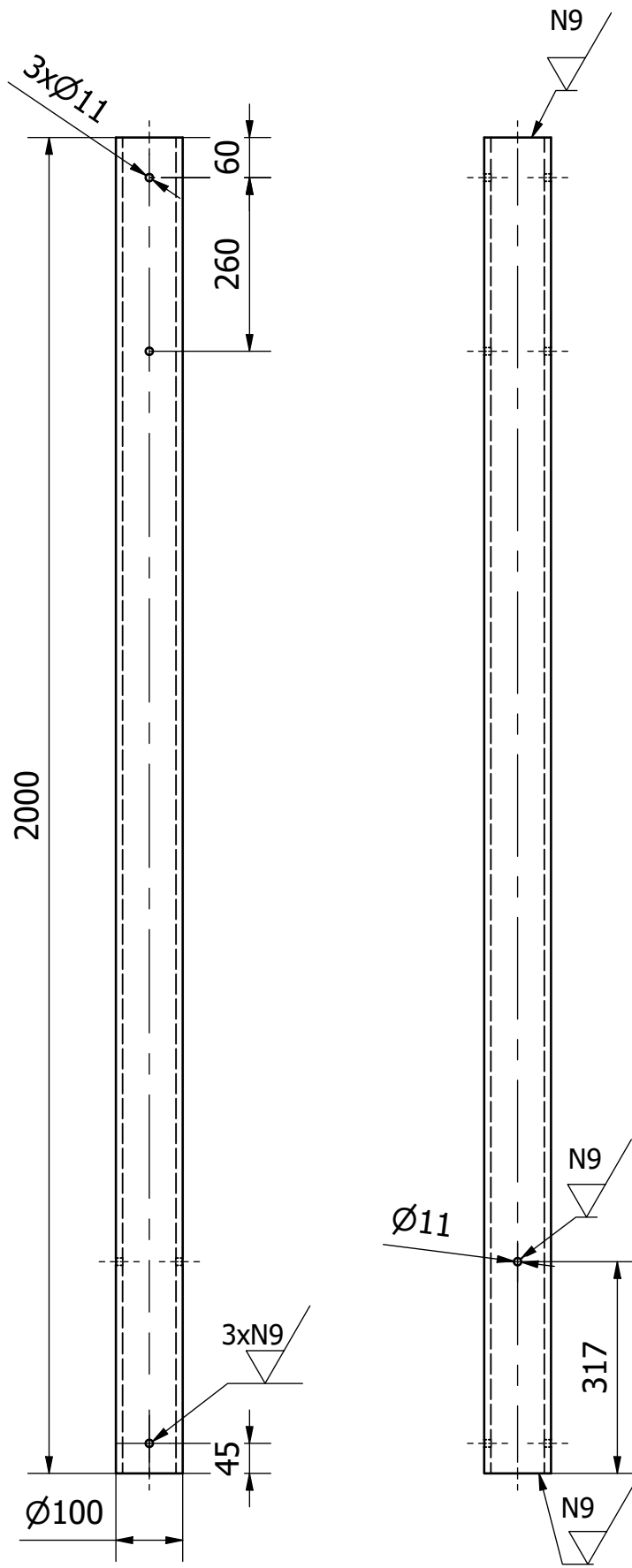
DETALLE F (1 : 2,5)



DETALLE I (1 : 2,5)

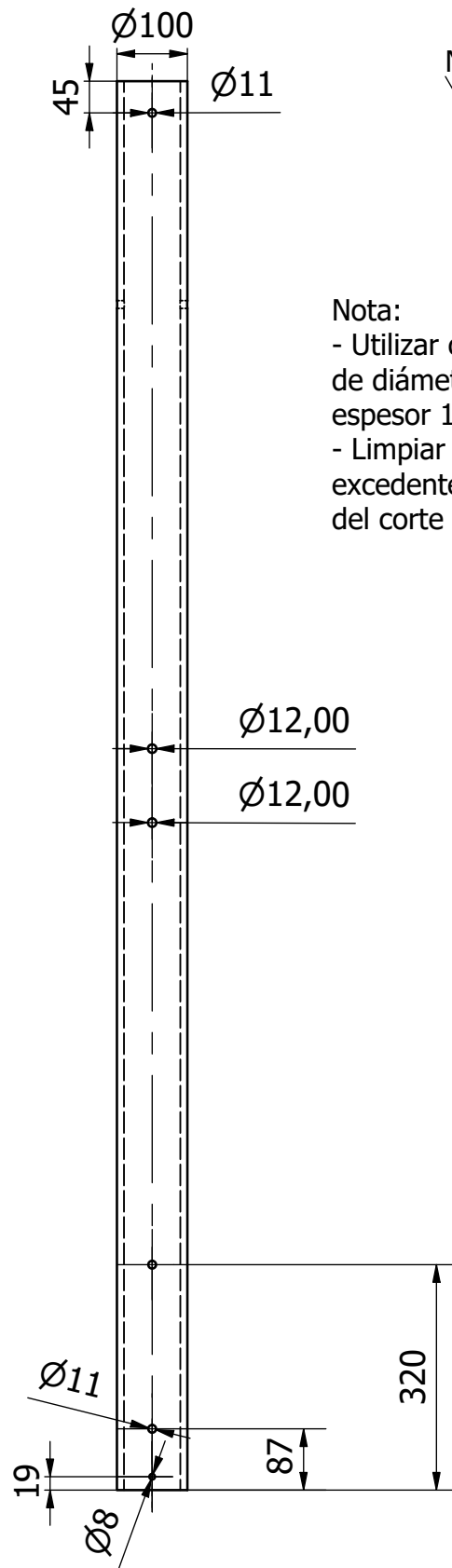
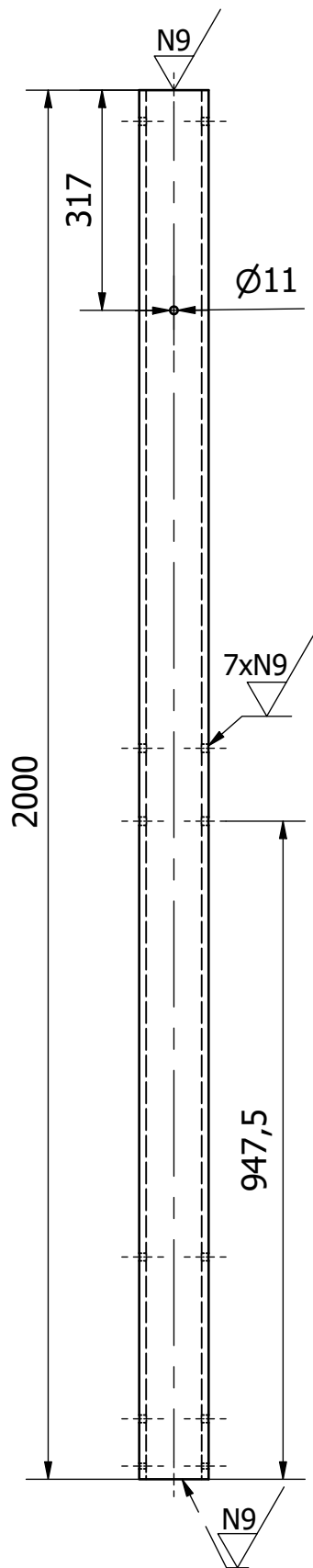


Nº	ZONA	DE NOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
24	J10	Soporte winch	.109	1	Acero	ASTM A36
23	C8	Pasador polea	.108	2	Acero AISI 4340	
22	H3	Tope angular de apoyo para tuerca	.107	12	Madera	
21	D8	Polea	.106	2	Acero AISI 4140	
20	H	Viga superior	.105	1	Bambú	Caña guadúa
19	K19	Soporte inferior	.104	2	Bambú	Caña guadúa
18	J13	Soporte angular bambú	.103	6	Bambú	Caña guadúa
17	I10	Columna winch	.102	1	Bambú	Caña guadúa
16	I13	Columna lateral	.101	1	Bambú	Caña guadúa
15	J10	Subconjunto Acople suelo	.006			
14	K13	Subconjunto Tubo en T	.005			
13	H	Subconjunto Soporte medio polea	.004			
12	H	Subconjunto Codo para polea	.003			
10	H	Subconjunto Codo superior	.002			
10	H6	Varilla roscada codos	ASTM A193	11	ASTM A193	3/8 in. X 130
9	H1	Varilla roscada apoyo doble	ASTM A193	2	ASTM A193	3/8 in. x 300
8	K7	Varilla roscada apoyos angulares	ASTM A193	8	ASTM A193	3/8 in. x 210
7	I10	Winch		1		
6	C8	Anillo de retención de muelle	DIN 472	4	Acero, suave	
5	C15	Tuerca hexagonal	ANSI B18.2.4.2	2	Acero, suave	M10x1,5
4	C15	Perno métrico	AS 1111	2	Acero, suave	M10 x 130
3	C15	Arandela métrica plana	ANSI B18.22M	2	Acero, suave	M10
2	K8	Arandela ANSI	ASTM F436	42	Acero, suave	3/8 in.
1	J8	Tuerca hexagonal	AS 2465	42	Acero, suave	3/8 in.



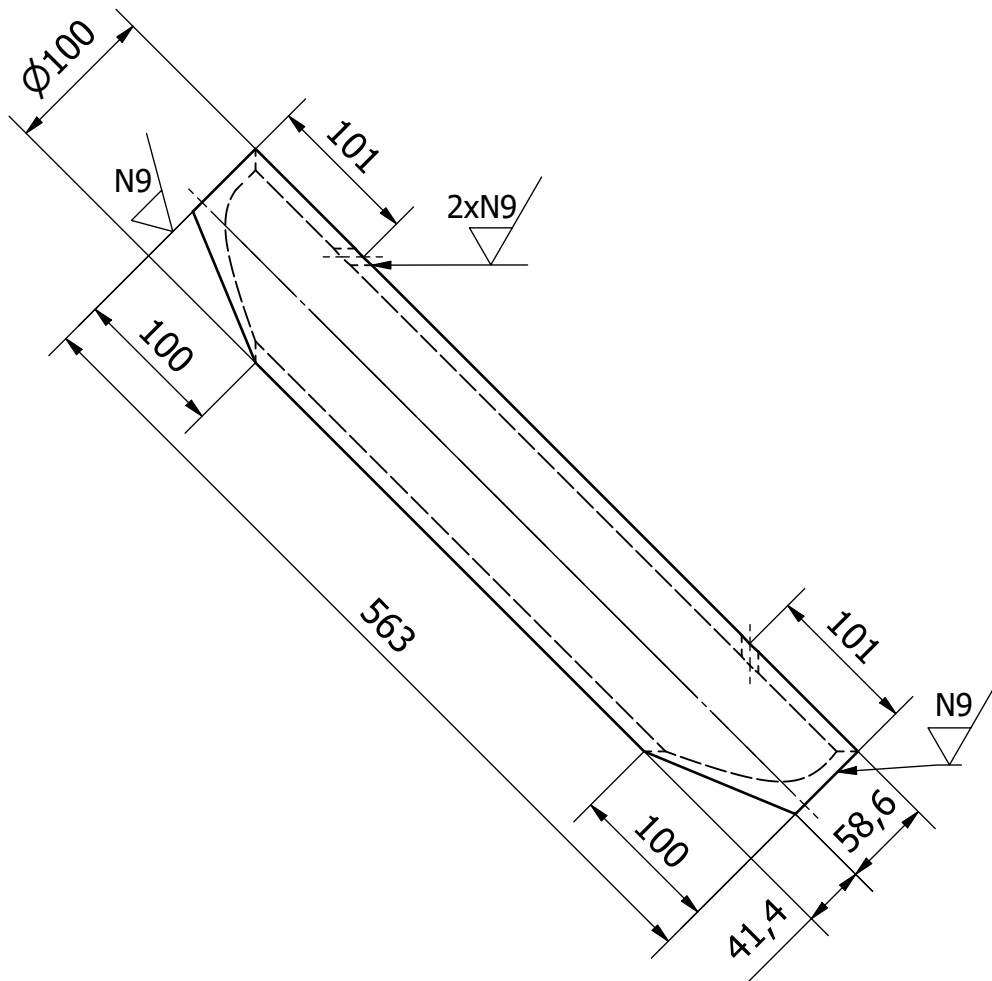
Nota:
 - Utilizar caña guadua de diámetro 100 mm y espesor 10 mm
 - Limpiar los bordes de excedentes después del corte

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Caña guadua	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		± 0,5	1:10	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
COLUMNA LATERAL		FIM-JI.101			FECHA: 12/01/2022



Nota:
 - Utilizar caña guadua de diámetro 100 mm y espesor 10 mm
 - Limpiar los bordes de excedentes después del corte

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL: Caña guadua	TOL. GRAL.: ± 0,5	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		1:10	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
COLUMNA WINCH		FIM-JI.102		FECHA: 12/01/2022

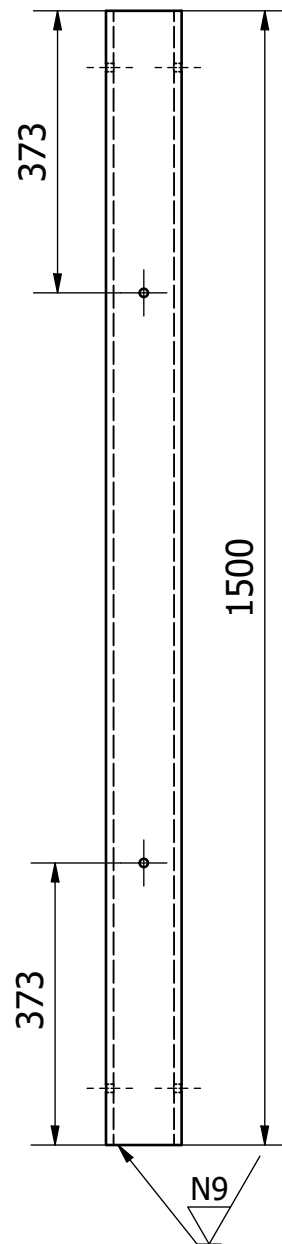
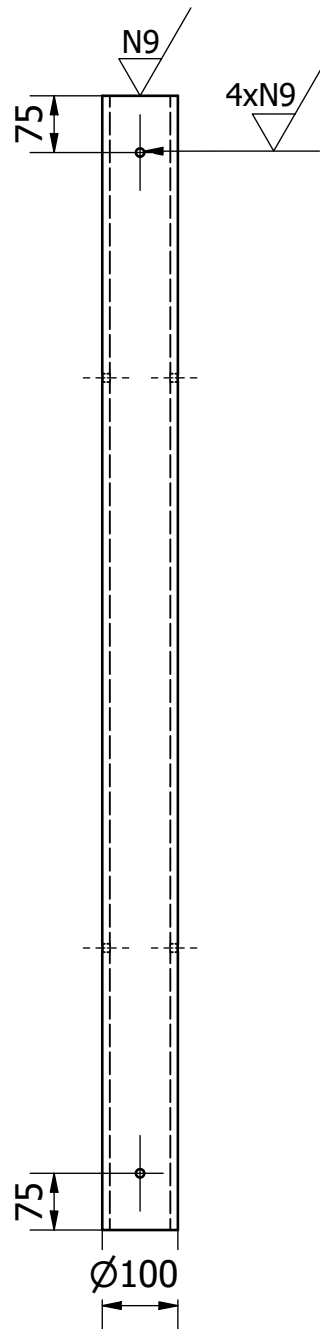


Nota:

- Utilizar caña guadua de diámetro 100 mm y espesor 10 mm
- Limpiar los bordes de excedentes después del corte
- Realizar cortes rectos en los bordes
- Los agujeros son de diámetro 11 mm

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL: Caña guadua	TOL. GRAL.: ± 0,5	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		1:5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
			SOPORTE ANGULAR BAMBÚ	
				FECHA: 12/01/2022

N8 (N9)

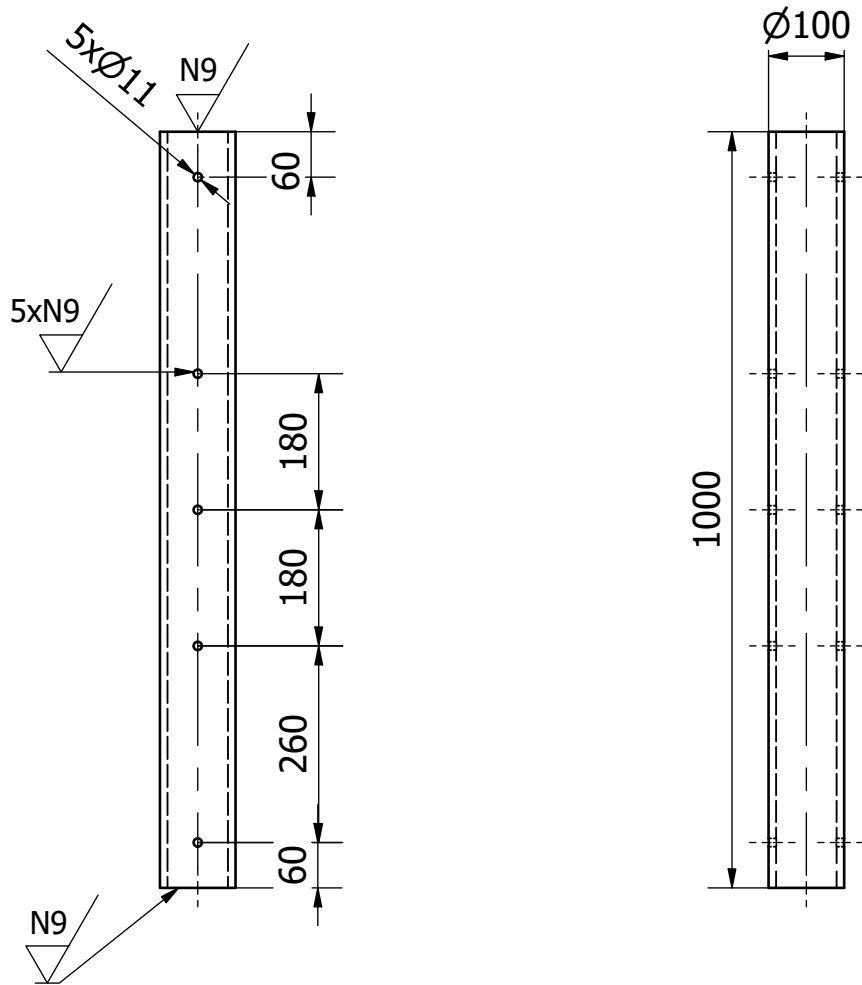


Nota:

- Utilizar caña guadua de diámetro 100 mm y espesor 10 mm
- Limpiar los bordes de excedentes después del corte
- Todos los agujeros son de diámetro 11 mm y acabado superficial N9

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL: Caña guadúa	TOL. GRAL.: ± 0,5	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		1:10	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
SOPORTE INFERIOR		FIM-JI.104		FECHA: 12/01/2022

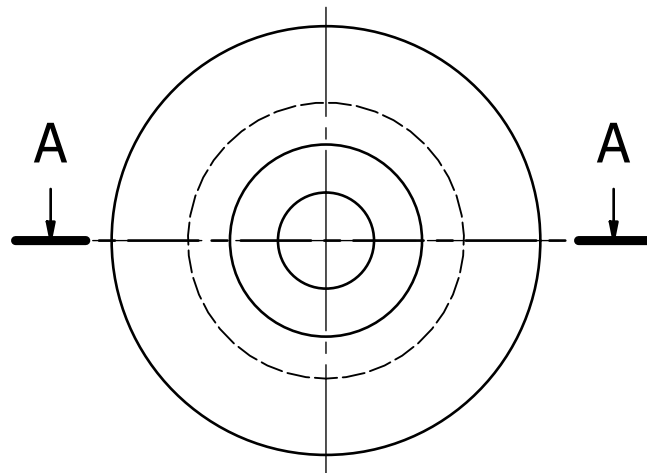
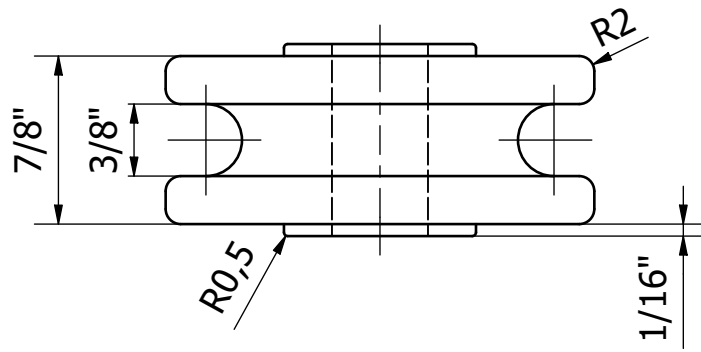
N8 (N9)



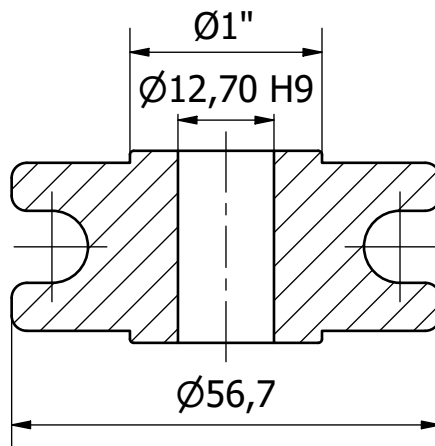
Nota:

- Utilizar caña guadua de diámetro 100 mm y espesor 10 mm
- Limpiar los bordes de excedentes después del corte

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Caña guadúa	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		$\pm 0,5$	1:10	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
VIGA SUPERIOR		JI-FIM.105			FECHA: 12/01/2022

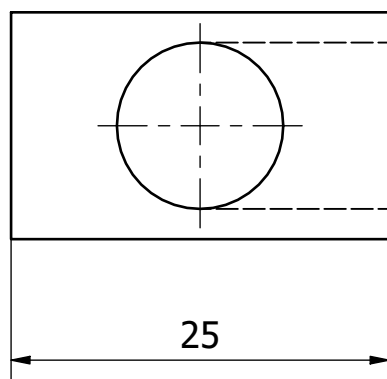
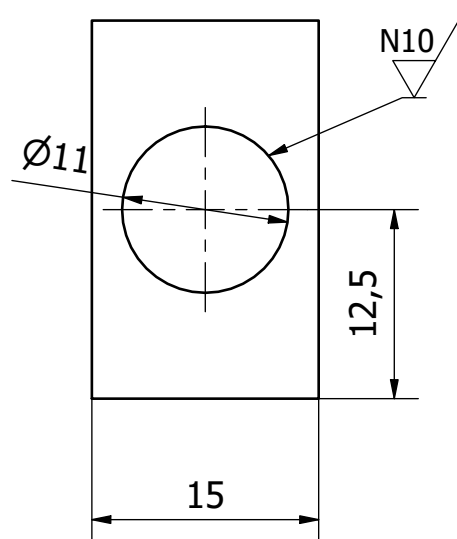
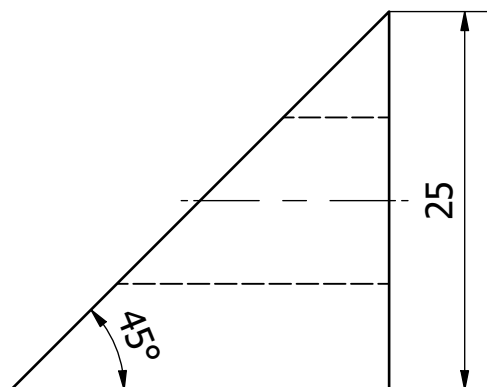


CORTE A-A

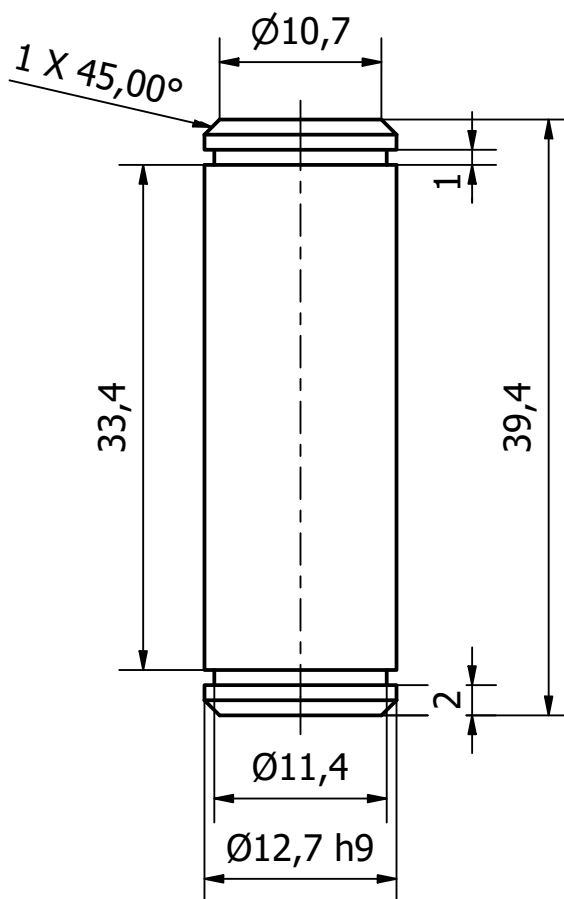


TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: José Insuasti	
MATERIAL:	Acero AISI 4140	TOL. GRAL.: ± 0,1	ESCALA 1:1	DIS.: José Insuasti
				REV.: Porf. Marco Guamán A.
POLEA		FIM-JI.106		FECHA: 12/01/2022

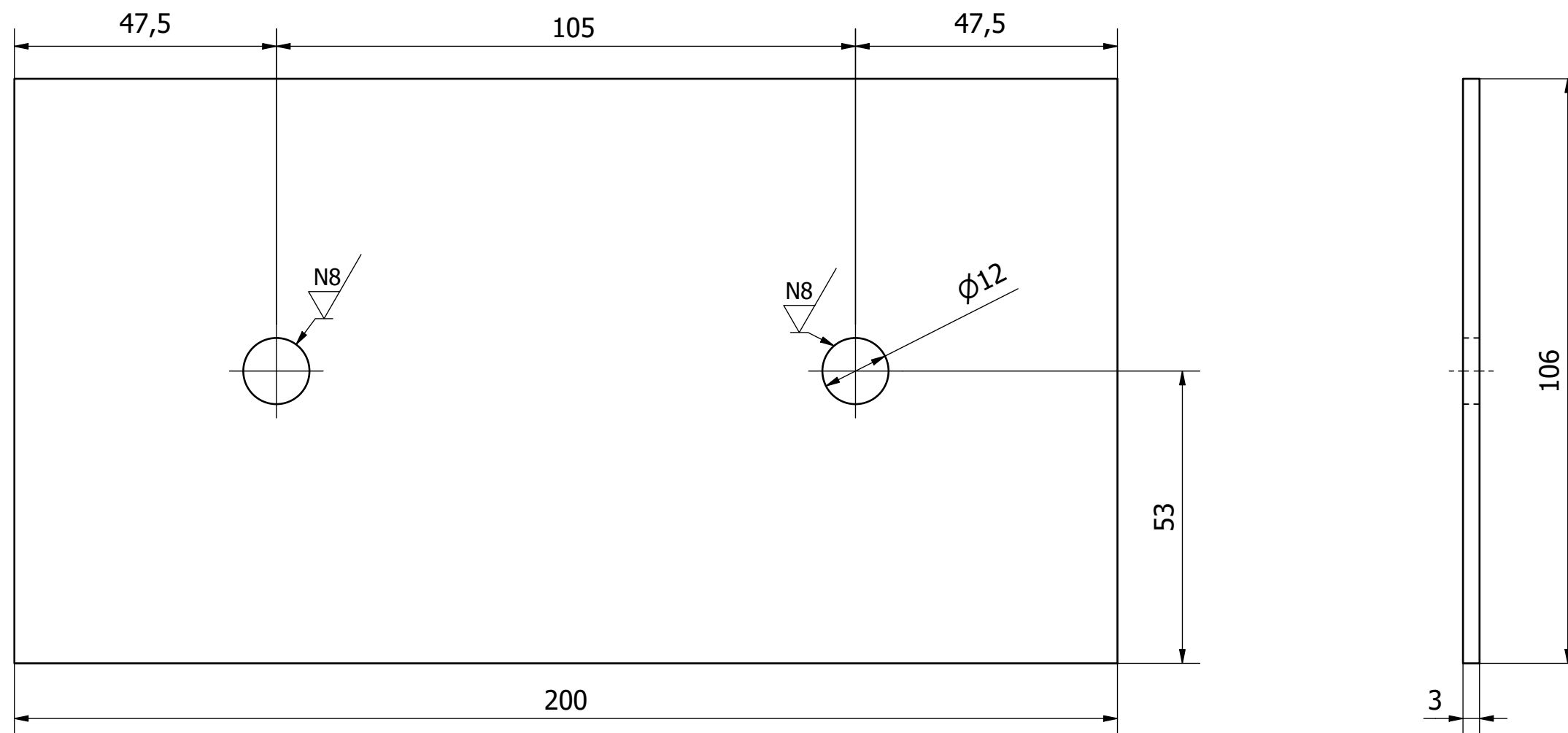
N9 / (N10)



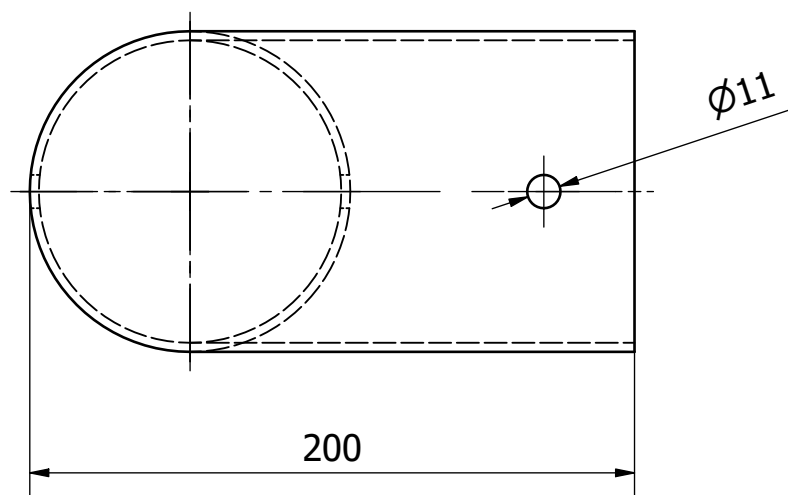
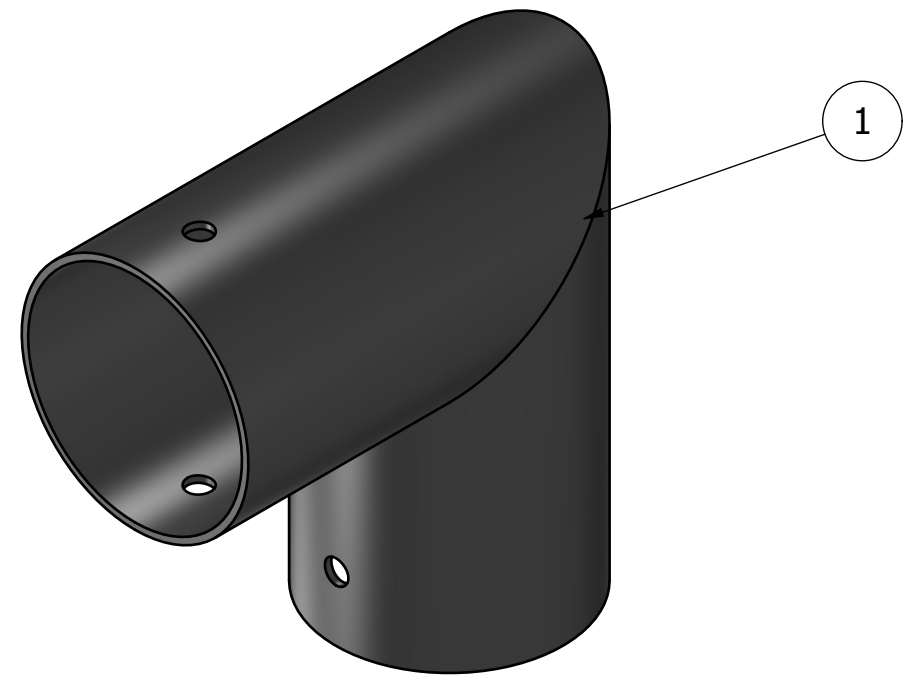
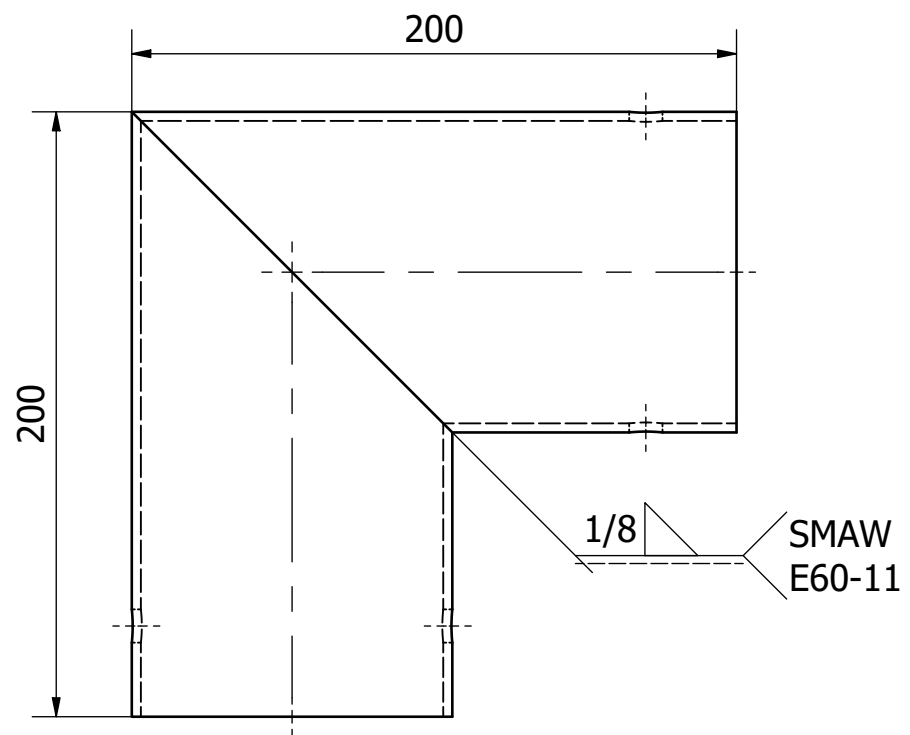
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL: Madera	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA 2:1	DIS.:	José Insuasti
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
TOPE ANGULAR DE APOYO PARA TUERCA		FIM-JI.107		FECHA: 12/01/2022



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero AISI 4340	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		± 0,1	1:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PASADOR POLEA		FIM-JI.108			FECHA: 12/01/2022



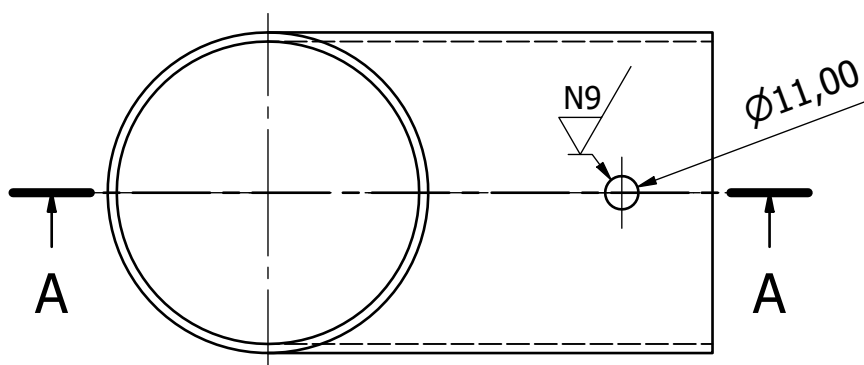
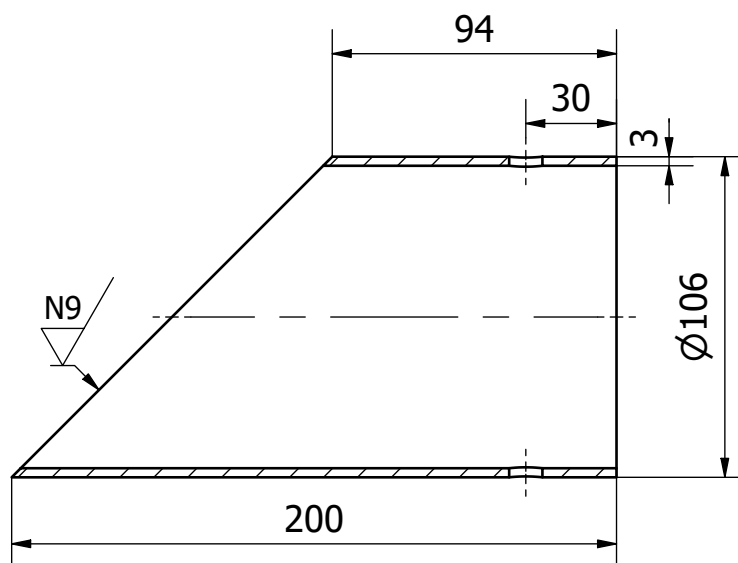
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:
		± 0,1	1:1	José Insuasti
				REV.:
				Prof. Marco Guamán A.
SOPORTE WINCH		FIM-JI.011		FECHA:
				12/01/2022



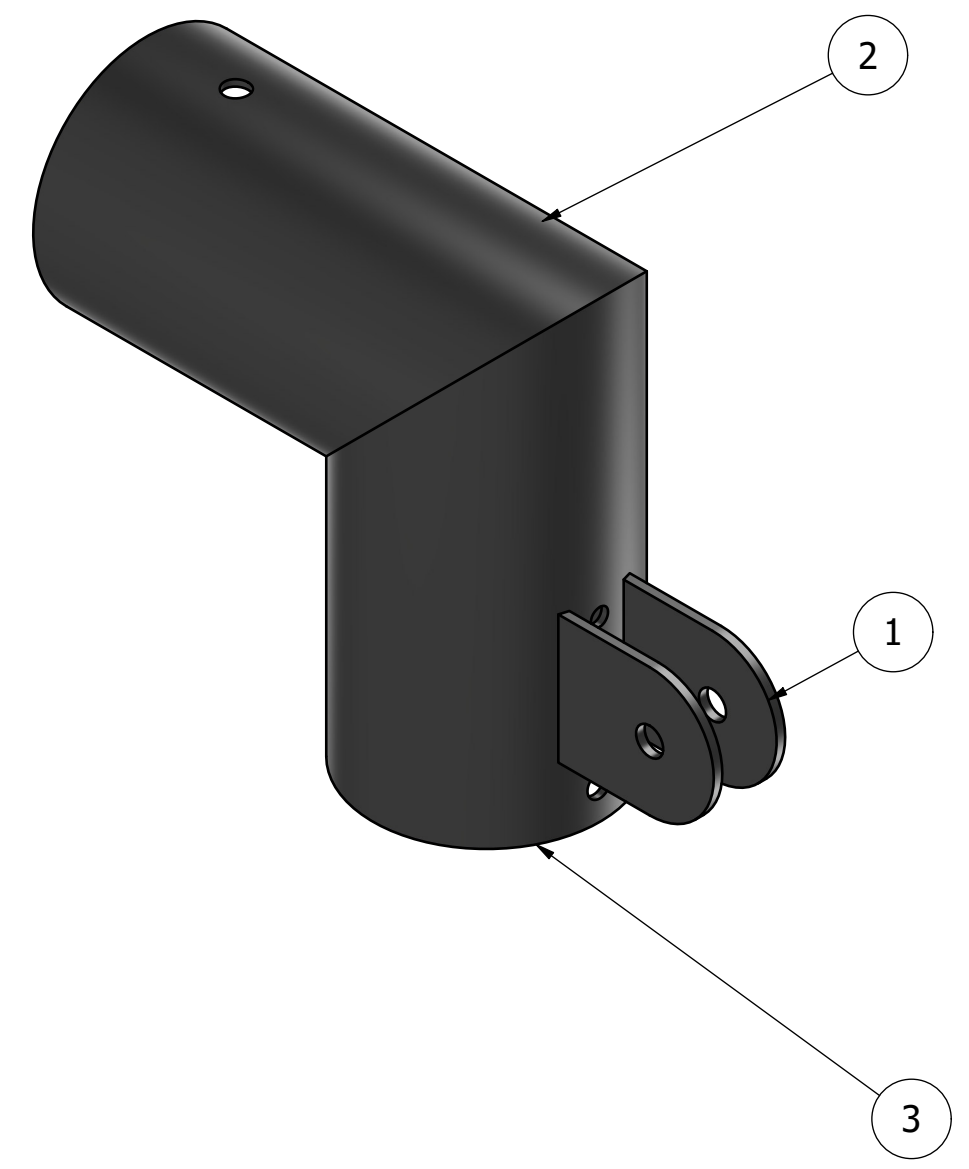
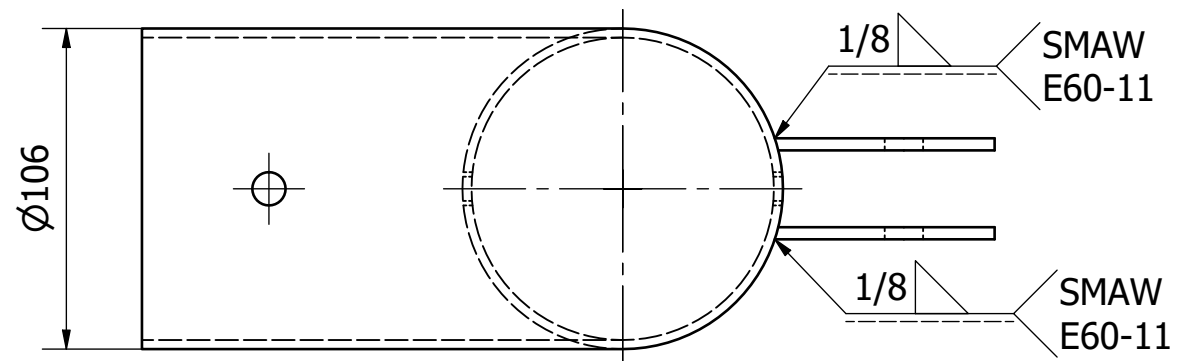
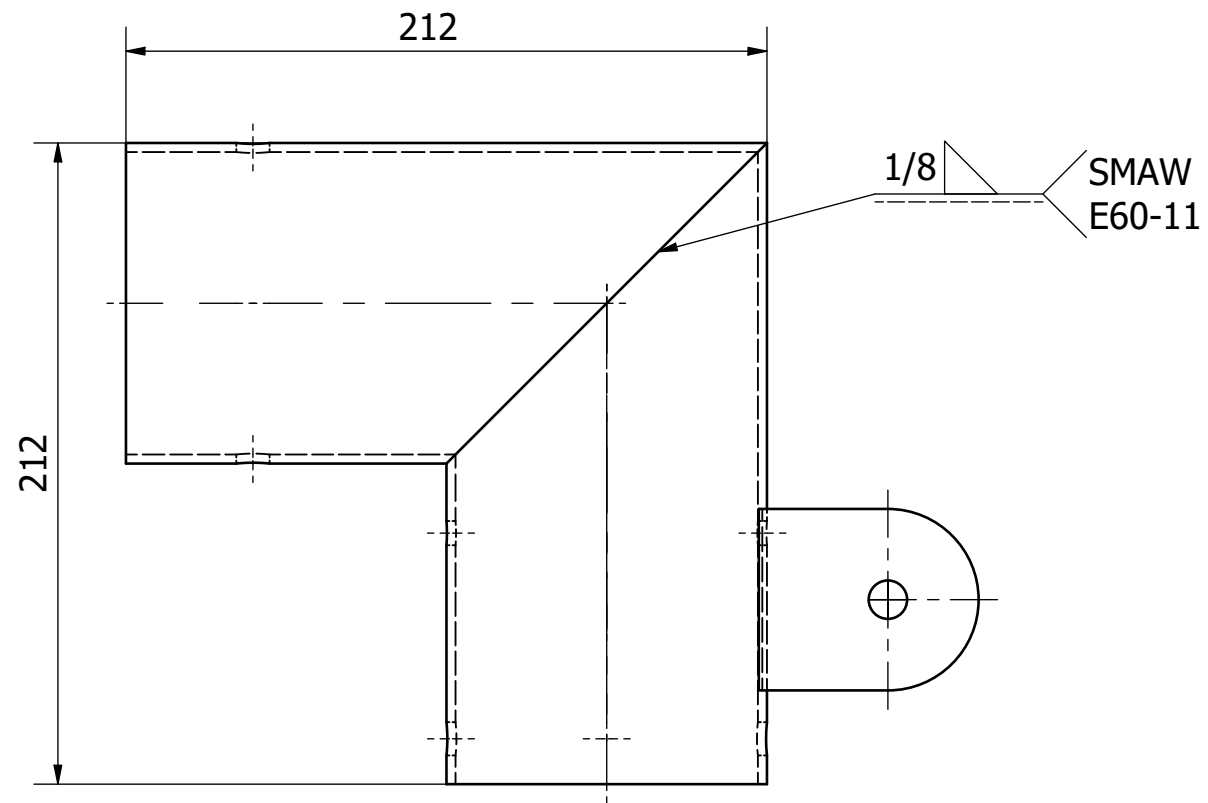
PLANO DE TALLER						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
1	B8	Parte codo superior	.201	2	Acero ASTM A36	
EPN FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA				Dib.: José Insuasti		ESCALA: 1:2,5
				Dis.: José Insuasti		
				Rev.: Prof. Marco Guamán A.		
CODO SUPERIOR				FIM-JI.002		FECHA: 12/01/2022

N8 / (N9)

CORTE A-A



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		± 0,1	1:2,5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
Parte codo superior			FIM-JI.201		FECHA: 12/01/2022

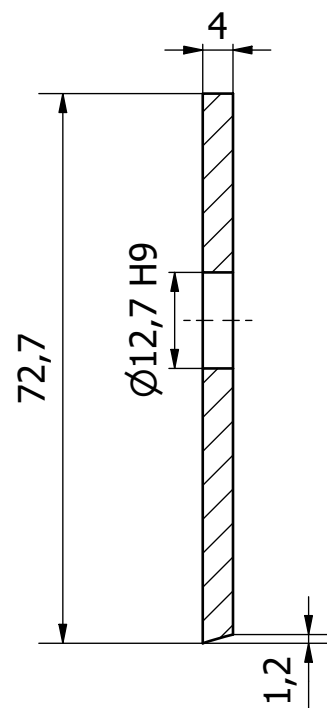
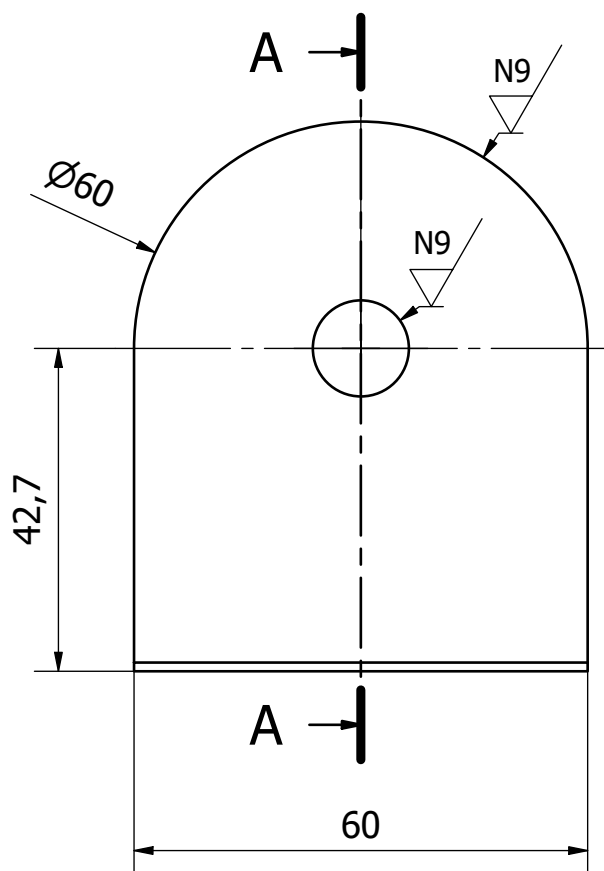


PLANOS DE TALLER						
Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
3	D8	Cilindro pieza codo vertical	.303	1	Acero ASTM A36	
2	A8	Cilindro pieza codo horizontal	.302	1	Acero ASTM A36	
1	C8	Soporte polea	.301	2	Acero ASTM A36	
EPN				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		ESCALA: 1:2,5
CODO PARA POLEA				FIM-JI.003		FECHA: 12/01/2022

Dib.: José Insuasti
 Dis.: José Insuasti
 Rev.: Prof. Marco Guamán A.

N8 / (N9)

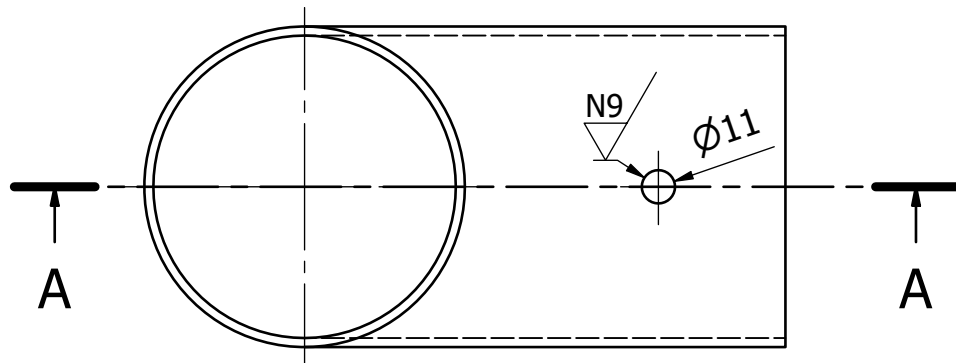
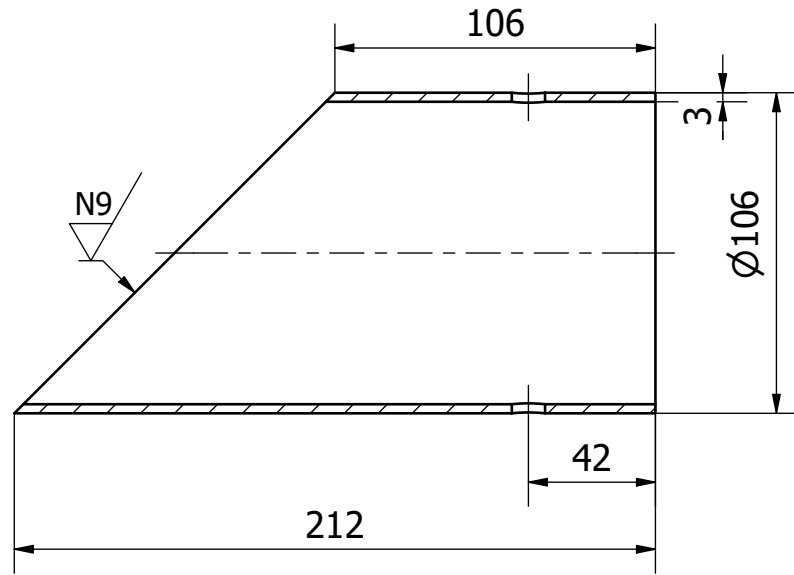
CORTE A-A



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: José Insuasti	
MATERIAL:	ACERO ASTM A36	TOL. GRAL.: 1:1	ESCALA ± 0,1	DIS.: José Insuasti
				REV.: Prof. Marco Guamán A.
SOPORTE POLEA		FIM-JI.301		FECHA: 12/01/2022

N8 / (N9)

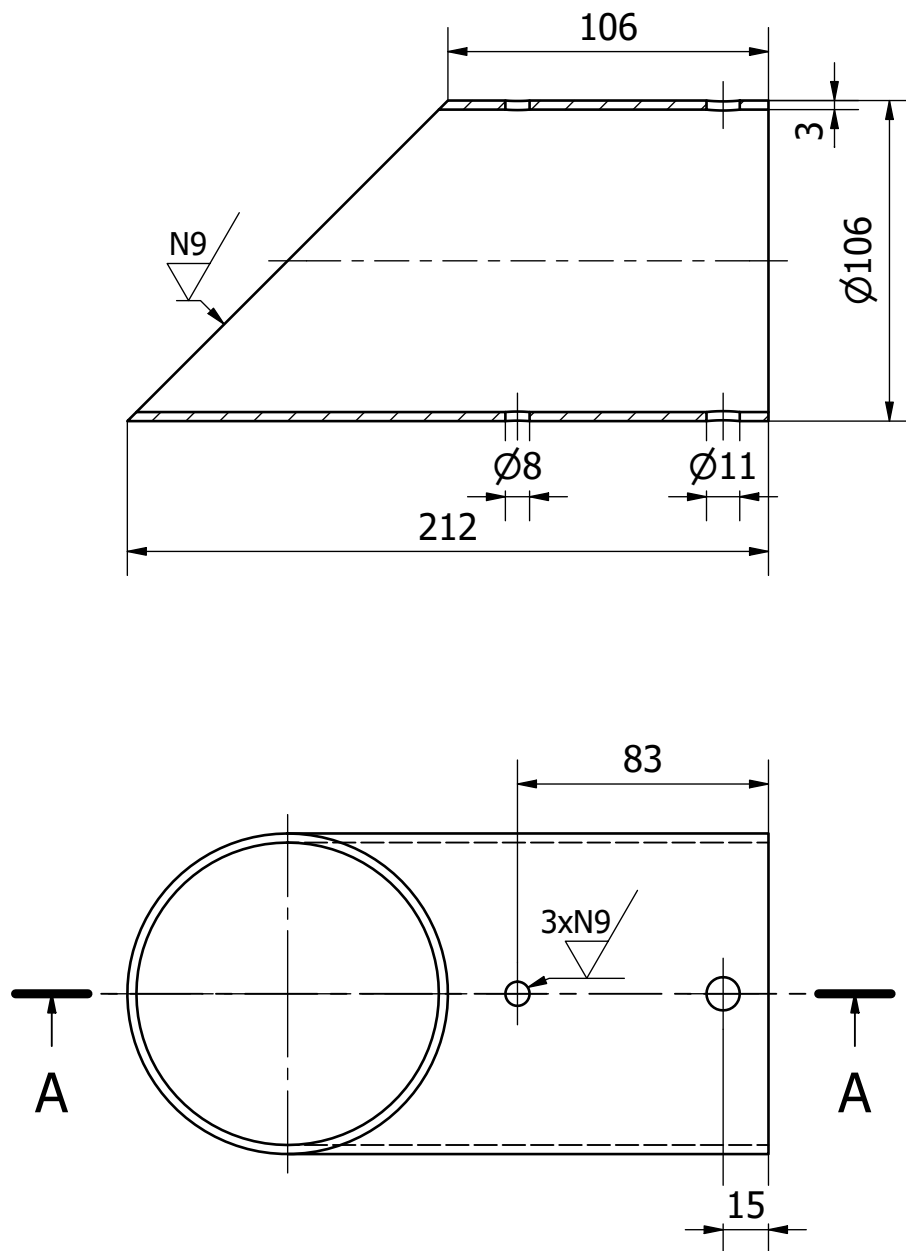
CORTE A-A



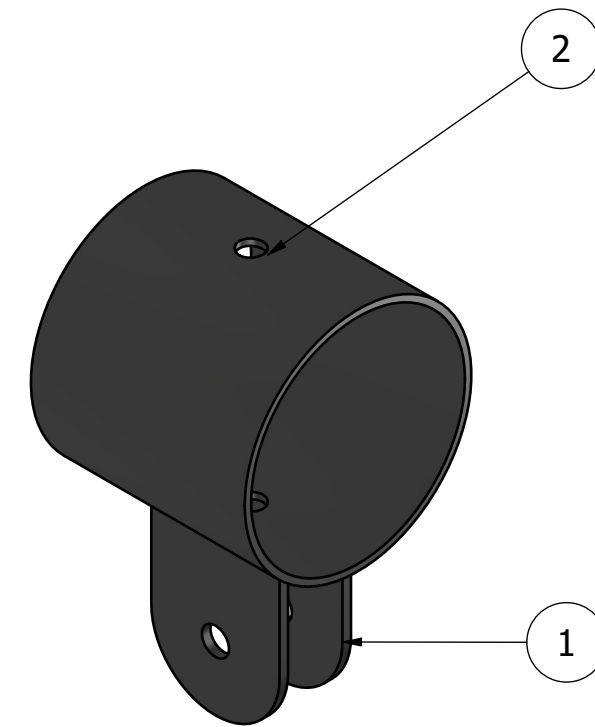
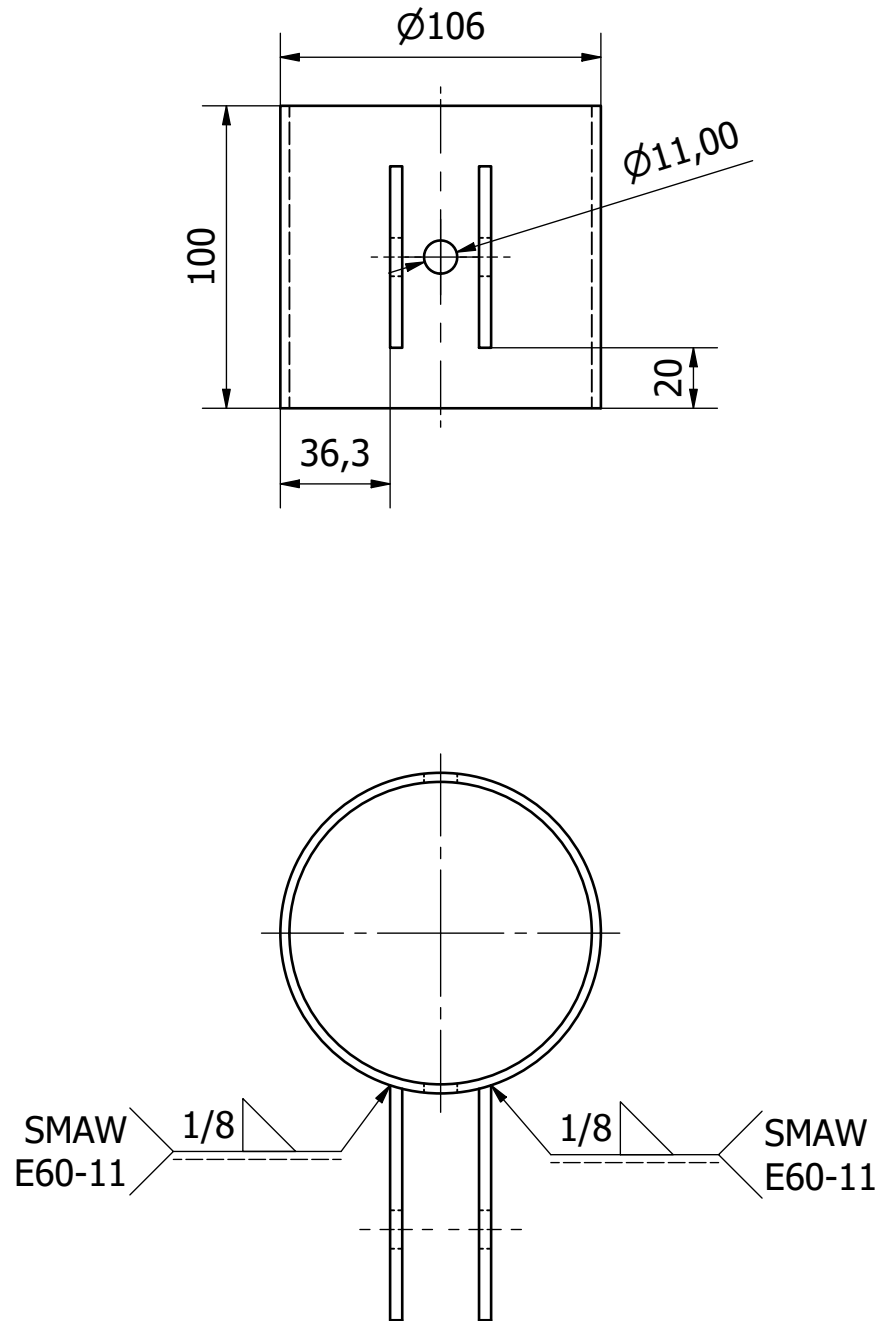
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		± 0,1	1:2,5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
CILINDRO PIEZA CODO HORIZONTAL			FIM-JI.302		FECHA: 12/01/2022

N8 / (N9)

CORTE A-A

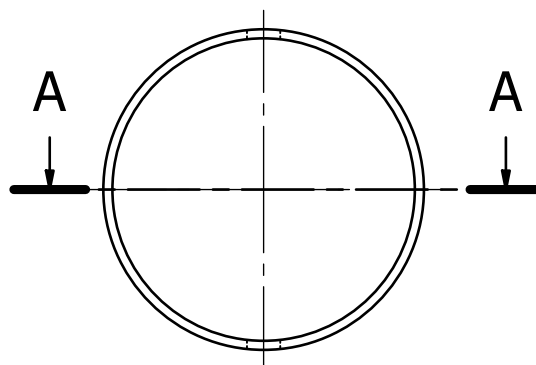


TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL: Acero ASTM A36	TOL. GRAL.: ± 0,1	ESCALA 1:2,5	DIS.:	José Insuasti
			REV.:	Prof. Marco Guamán A:
CILINDRO PIEZA CODO VERTICAL		FIM-JI.303		FECHA: 12/01/2022

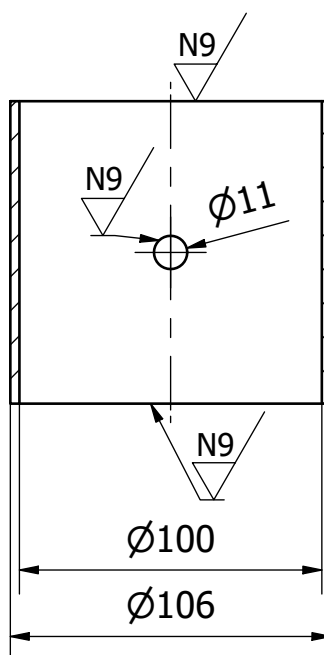


PLANOS DE TALLER						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	A7	Canal mitad polea	.401	1	Acero ASTM A36	
1	C7	Soporte polea	.301	1	Acero ASTM A36	
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib.: José Insuasti Dis.: José Insuasti Rev.: Prof. Marco Guamán A.		ESCALA: 1:2,5
SOPORTE MEDIO DE POLEA				FIM-JI.004		FECHA: 12/01/2022

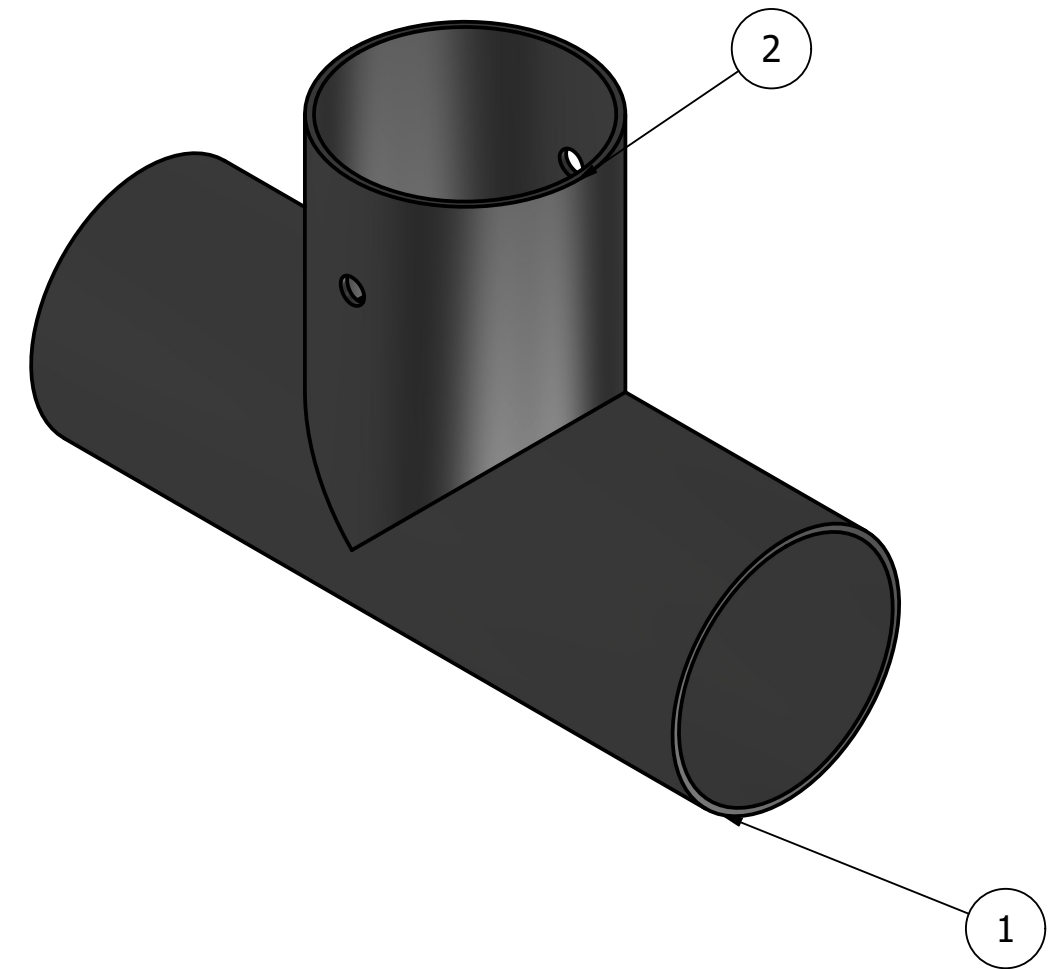
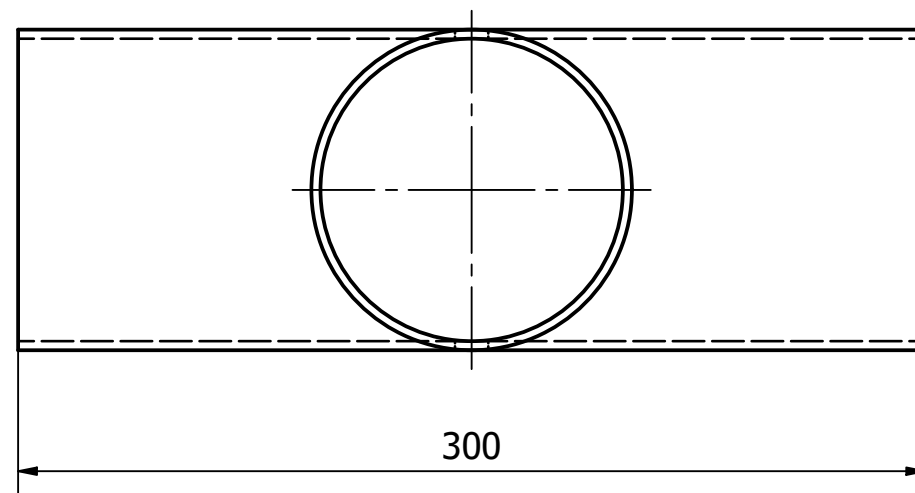
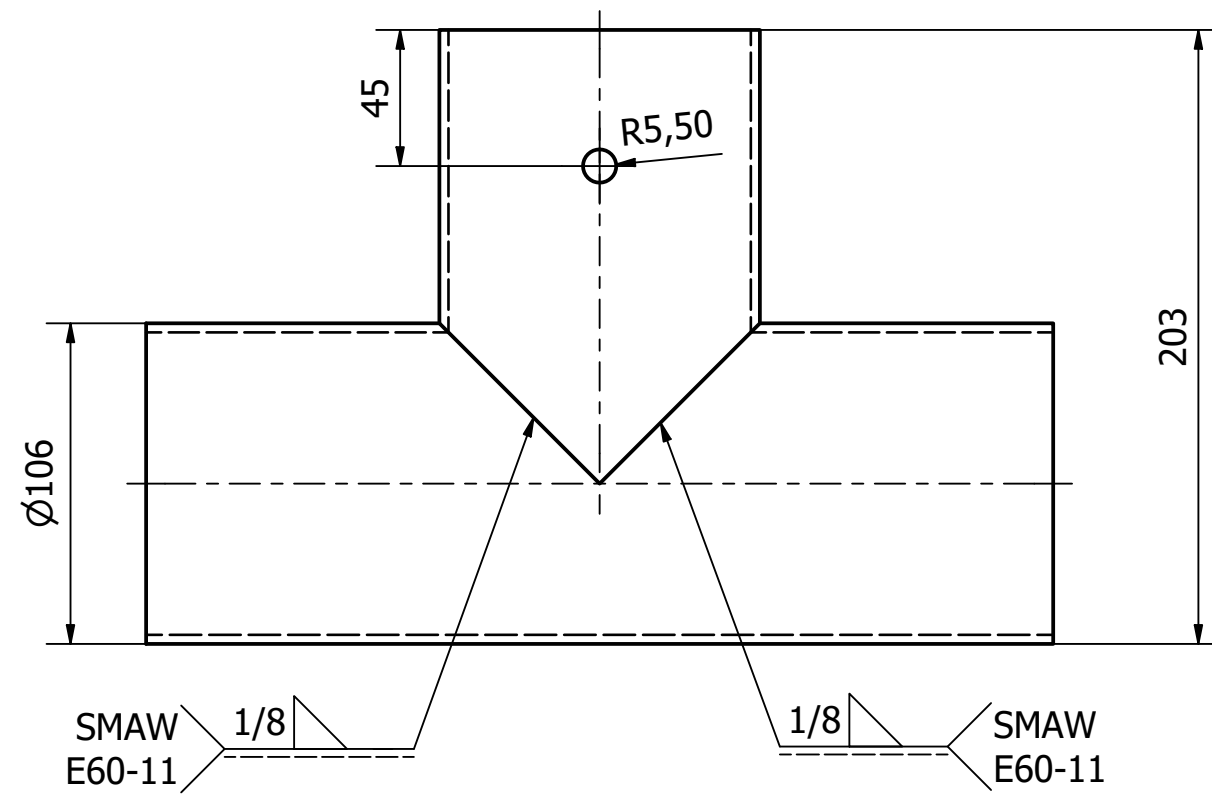
N8 / (N9)



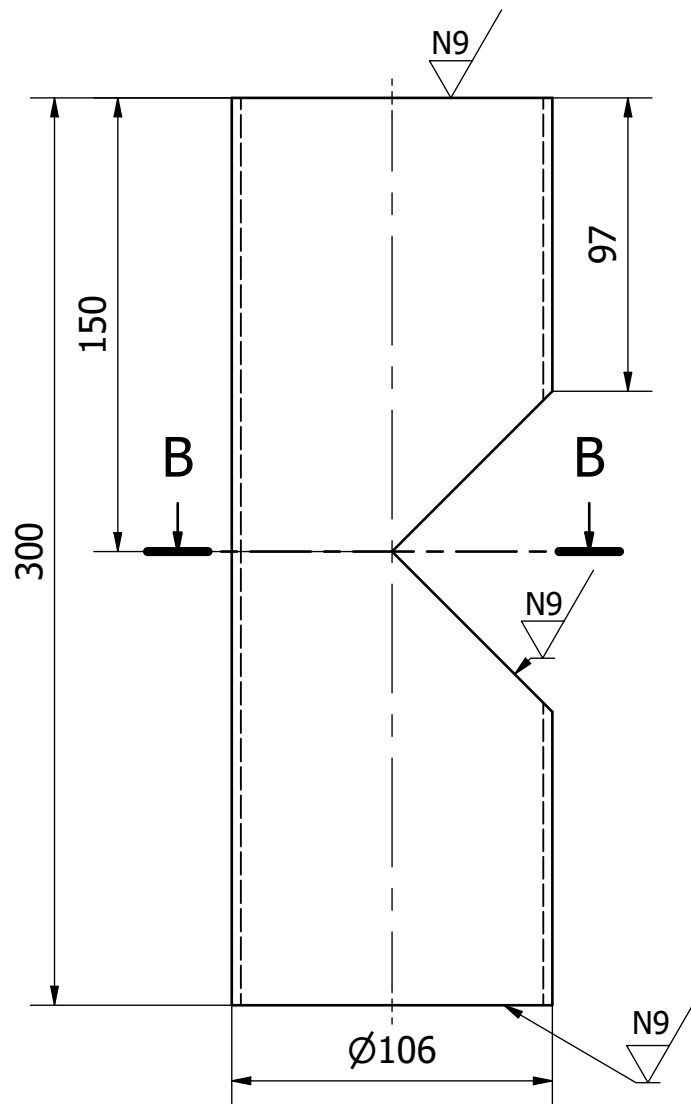
CORTE A-A



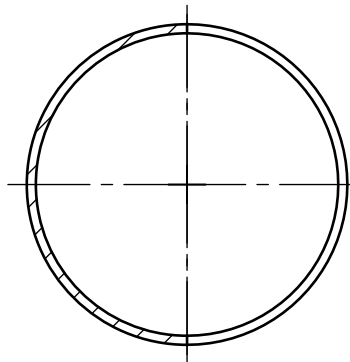
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		$\pm 0,1$	1:2,5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
CANAL MITAD POLEA		FIM-JI.401			FECHA: 12/01/2022



PLANOS DE TALLER						
Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	B7	Parte vertical tubo en T	.502	1	Acero ASTM A36	
1	D8	Parte horizontal tubo en T	.501	1	Acero ASTM A36	
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib.: José Insuasti Dis.: José Insuasti Rev.: Prof. Marco Guamán A.		ESCALA: 1:2,5
TUBO EN T				FIM-JI.005		FECHA: 12/01/2022



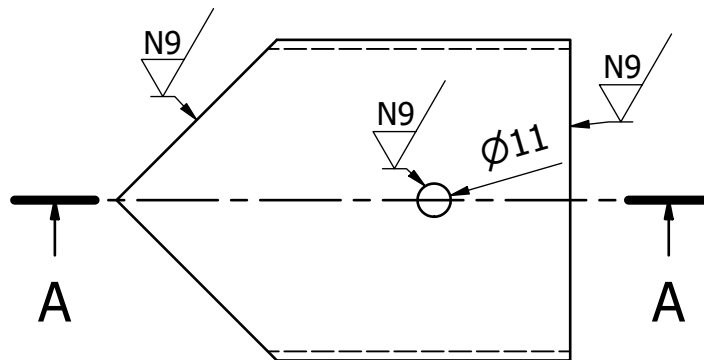
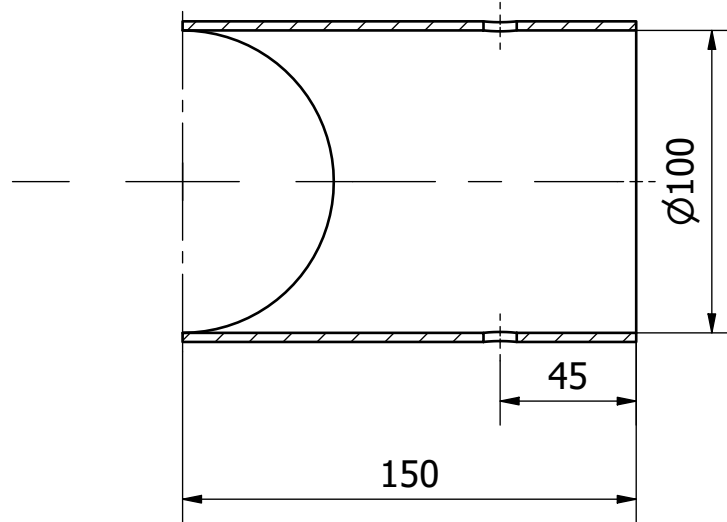
CORTE B-B



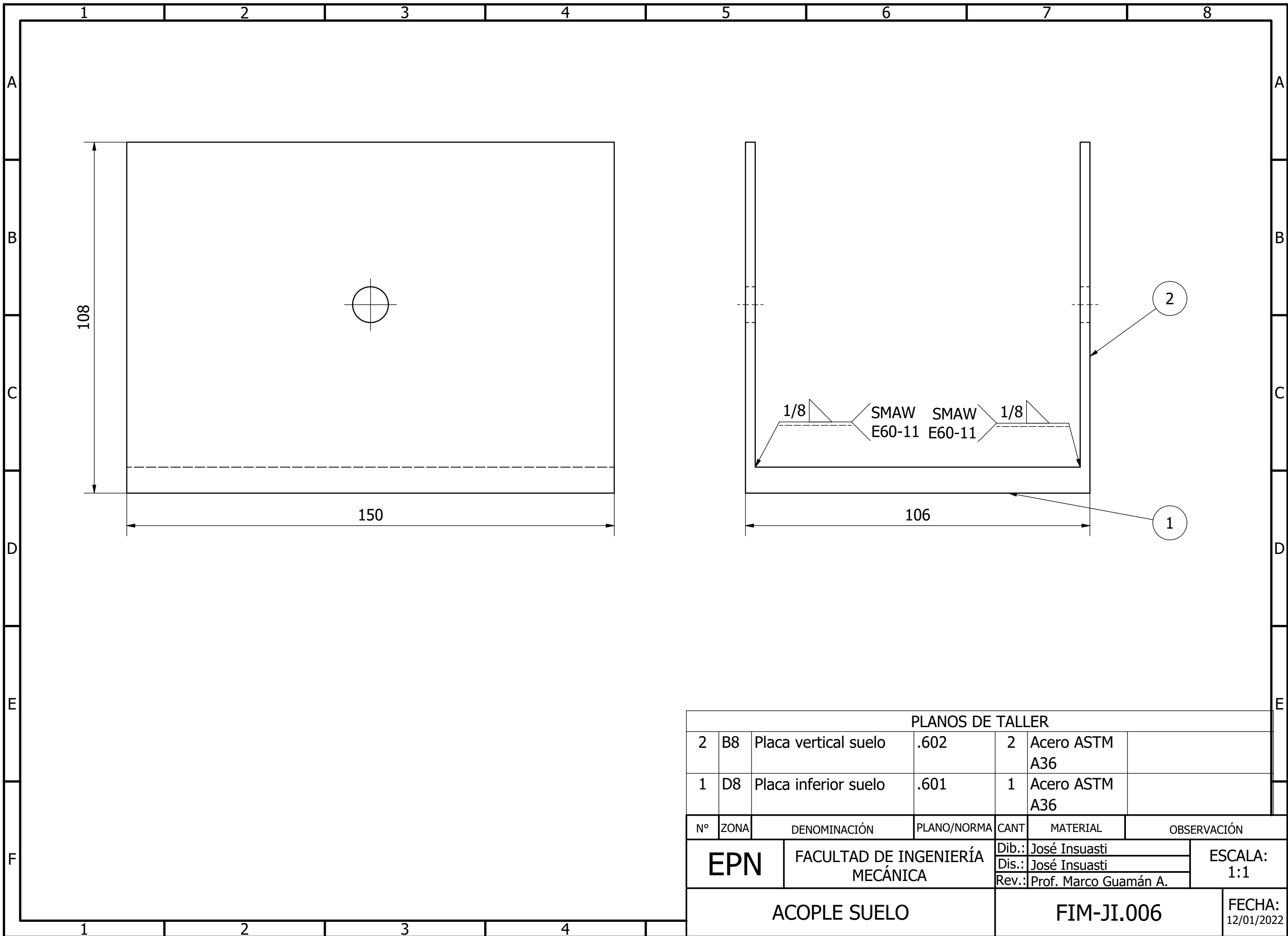
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		± 0,1	1:2,5	REV.:	Prof. Marco Guamán
PARTE HORIZONTAL TUBO EN T		FIM-JI.501			FECHA: 12/01/2022

N8 / (N9)

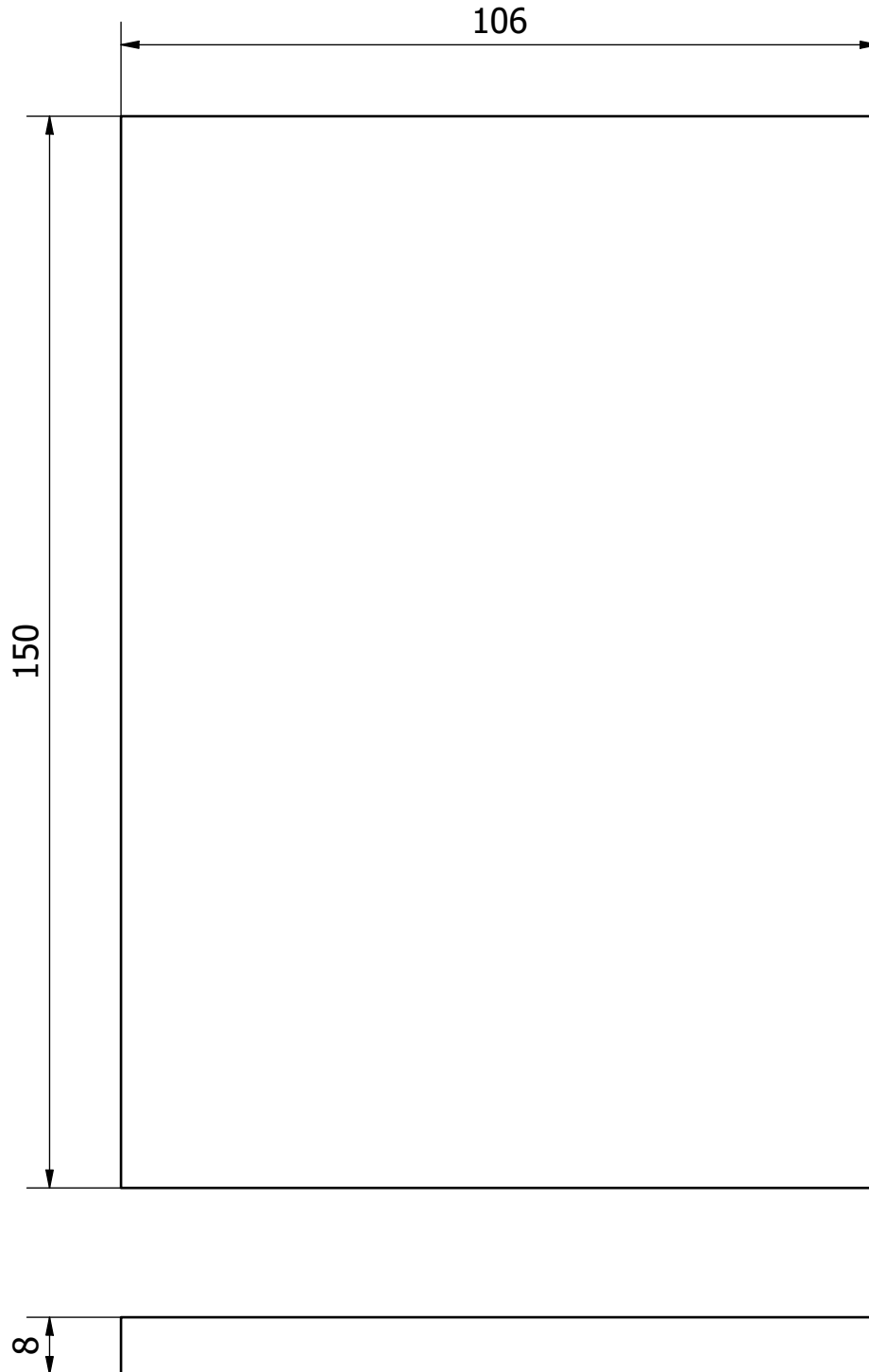
CORTE A-A



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		± 0,1	1:2,5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PARTE VERTTICAL TUBO EN T		FIM-JI.502			FECHA: 12/01/2022

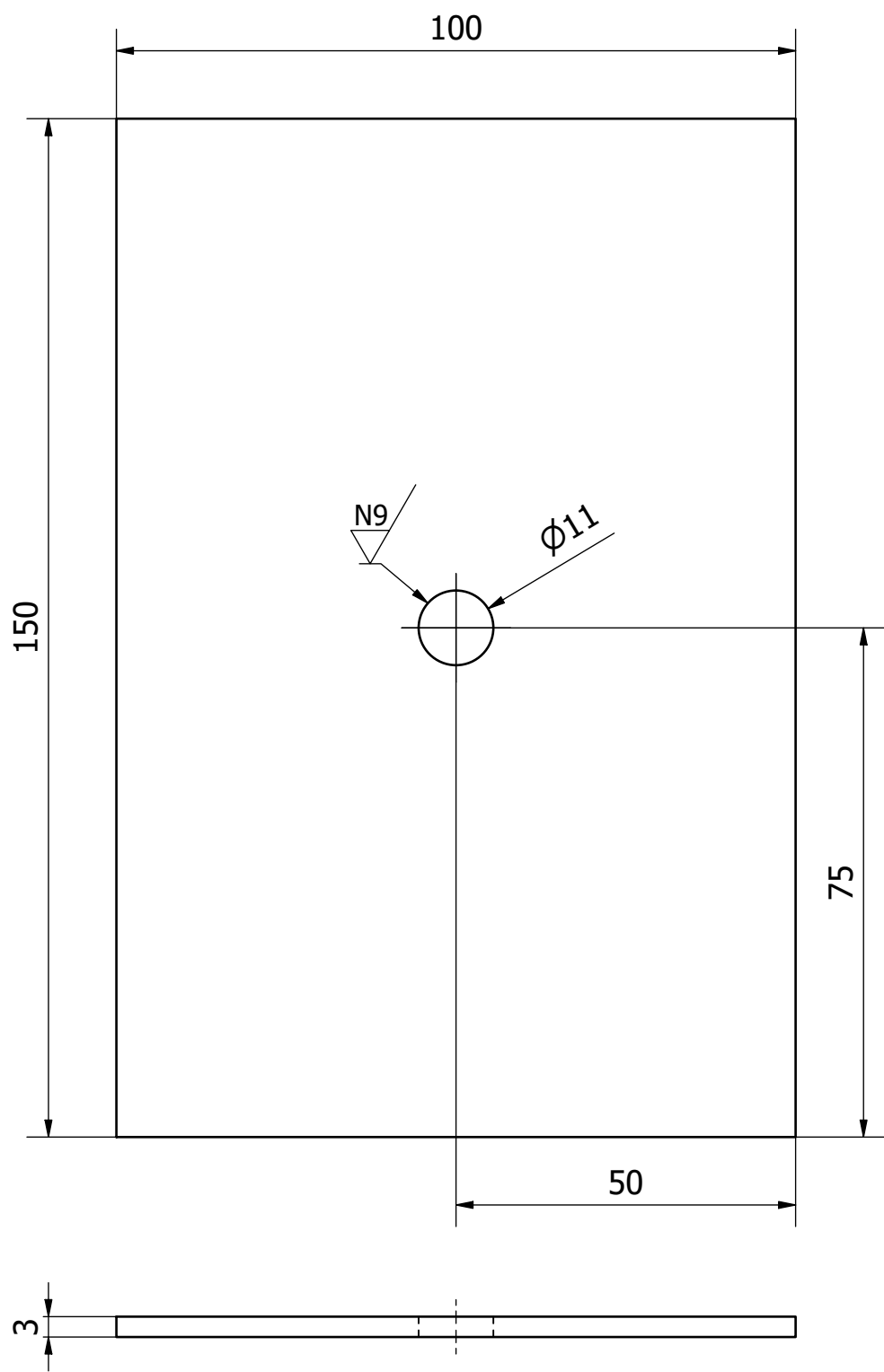


PLANOS DE TALLER						
Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	B8	Placa vertical suelo	.602	2	Acero ASTM A36	
1	D8	Placa inferior suelo	.601	1	Acero ASTM A36	
EPN				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		ESCALA: 1:1
				Dib.: José Insuasti		FECHA: 12/01/2022
				Dis.: José Insuasti		
				Rev.: Prof. Marco Guamán A.		
ACOPLE SUELO				FIM-JI.006		



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti	
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	José Insuasti
		$\pm 0,1$	1:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PLACA INFERIOR SUELO		FIM-JI.601		FECHA:	12/01/2022

N8 / (N9)



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	José Insuasti
MATERIAL: Acero ASTM A36	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA 1:1	DIS.:	José Insuasti
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PLACA VERTICAL SUELO		FIM-JI.602		FECHA: 12/01/2022