

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL DE  
BAMBÚ PARA REHABILITACIÓN FÍSICA**

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

**ERICK MATIAS ACOSTA GUAMAN**

[erick.acosta@epn.edu.ec](mailto:erick.acosta@epn.edu.ec)

**DIRECTOR: MARCO VINICIO GUAMÁN ALARCÓN, Ph.D.**

[marco.guaman@epn.edu.ec](mailto:marco.guaman@epn.edu.ec)

**DMQ, febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, ERICK MATIAS ACOSTA GUAMAN 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.

A handwritten signature in blue ink that reads "Erick Acosta". The signature is stylized with a large, looping initial 'E'.

---

**Erick Matias Acosta Guaman**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ERICK MATIAS ACOSTA GUAMAN, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Marco Vinicio Guamán Alarcón, Ph.D.**

## **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.

Acosta Guaman Erick Matias

Ing. Marco Vinicio Guamán Alarcón, Ph.D.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a todas las personas que han sido y serán imprescindibles en mi vida. A mis padres julio y Elvia por ser el apoyo incondicional y un ejemplo para seguir. A mis hermanos Richard, Lilian y Bryan quienes han sido mis compañeros de vida y han estado presentes en cada etapa.

Sin estas personas nada esto sería posible.

## **AGRADECIMIENTO**

Les agradezco a mis padres Julio y Elvia por el esfuerzo que hicieron durante toda mi formación académica. A mis hermanos Richard y Lilian por estar siempre presentes y hacerse cargo de mis estudios universitarios. A mi hermano Bryan que siempre está conmigo.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, a todos los profesores que hicieron parte de mi formación académica y particularmente mi director de proyecto Marco Guamán por su paciencia, ayuda y guía en el desarrollo de este trabajo.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco Teórico .....	2
2 METODOLOGÍA.....	16
2.1 Determinación de las Especificaciones técnicas .....	16
2.2 Estudio y selección de alternativas .....	19
2.3 Calculo y selección de materiales y componentes.....	28
2.4 Complemento de simulación .....	48
2.5 Selección de componentes .....	51
2.6 Análisis de costos .....	52
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
3.1 Resultados .....	57
3.2 Conclusiones.....	60
3.3 Recomendaciones .....	61
4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	63
5 ANEXOS .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Tipos de plejía [6].	3
<b>Figura 1.2.</b> Sistema de rehabilitación NxStep Unweighing System [10].	4
<b>Figura 1.3.</b> Sistema de rehabilitación PneuWeight Unweighing System [11].	5
<b>Figura 1.4.</b> Sistema de rehabilitación Lokomat Pro en el Hospital básico Durán [12].	5
<b>Figura 1.5.</b> Rehabilitación en barras paralelas [14].	6
<b>Figura 1.6.</b> Desarrollo de muletas de bambú en Zambia [19].	8
<b>Figura 1.7.</b> Construcción de andadores de bambú en Brasil [20].	8
<b>Figura 1.8.</b> Centro de documentación del bambú construido con guadúa en Guayaquil [21].	8
<b>Figura 1.9.</b> Estructura de bambú con conexiones flexibles [22].	9
<b>Figura 2.1.</b> Categorización de peso utilizando el ICM [29].	17
<b>Figura 2.2.</b> Nivel 0 – Estructura modular.	20
<b>Figura 2.3.</b> Nivel 1 – Estructura modular.	20
<b>Figura 2.4.</b> Definición de módulos el sistema.	20
<b>Figura 2.5.</b> Arnés ortopédico PneuVest Ultima [31].	21
<b>Figura 2.6.</b> Arnés de seguridad convencional [32].	21
<b>Figura 2.7.</b> Sistema de polea [33].	23
<b>Figura 2.8.</b> Cabrestante manual de manivela [34].	23
<b>Figura 2.9.</b> Teclé eléctrico con cable de acero [35].	23
<b>Figura 2.10.</b> Sistema nivelador para madera [36].	25
<b>Figura 2.11.</b> Estructura tipo pórtico con uniones de acero y empernadas.	25
<b>Figura 2.12.</b> Estructura tipo pórtico doble con uniones de acero y empernadas.	25
<b>Figura 2.13.</b> Estructura tipo pórtico con uniones empernadas.	26
<b>Figura 2.14.</b> Solución virtual.	27
<b>Figura 2.15.</b> Sección transversal de la guadúa y dirección de las fibras [37].	28
<b>Figura 2.16.</b> Dimensiones del sistema.	29
<b>Figura 2.17.</b> Vista frontal de la estructura.	29
<b>Figura 2.18.</b> Fuerzas actuantes en la viga.	30
<b>Figura 2.19.</b> Fuerzas existentes en la viga superior y su diagrama de cuerpo libre.	31
<b>Figura 2.20.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector para la viga 2-3.	31
<b>Figura 2.21.</b> Diagrama de cuerpo libre para la columna 1-2.	32
<b>Figura 2.22.</b> Diagrama de cuerpo libre para la columna 3-4.	32
<b>Figura 2.23.</b> Uso de abrazaderas en extremos de la guadúa.	34
<b>Figura 2.24.</b> Esquema de junta empernada soporte cabrestante - columnas.	37

<b>Figura 2.25.</b> Dimensiones de la junta soporte cabrestante - columnas.....	37
<b>Figura 2.26.</b> Esquema de la junta empernada soporte polea - vigas.....	39
<b>Figura 2.27.</b> Dimensiones de la junta soporte de la polea - vigas.....	39
<b>Figura 2.28.</b> Uso de arandela tipo cuña para unión inclinada.....	40
<b>Figura 2.29.</b> Fuerzas de tensión presentes en el cable.....	40
<b>Figura 2.30.</b> Esquema del sistema polea - pasador.....	41
<b>Figura 2.31.</b> Diagrama de cuerpo libre pasador.....	41
<b>Figura 2.32.</b> Diagrama de momento flector y fuerza cortante del pasador planos xy y xz. .....	41
<b>Figura 2.33.</b> Efecto de cortante doble en el pasador.....	43
<b>Figura 2.34.</b> Fuerza actuantes sobre el soporte de la polea.....	44
<b>Figura 2.35.</b> Esquema de soldadura del soporte de la polea.....	44
<b>Figura 2.36.</b> Diagrama de cuerpo libre para el soporte de la polea.....	44
<b>Figura 2.37.</b> Diagrama de cuerpo libre para el soporte del cabrestante.....	47
<b>Figura 2.38.</b> Esquema de soldadura del soporte del cabrestante.....	47
<b>Figura 2.39.</b> a) Distancias de los apoyos y fuerza $F$ con respecto al centro de gravedad b) Diagrama de cuerpo libre en perspectiva.....	50
<b>Figura 2.40.</b> Cabrestante de manivela seleccionado [39].....	51
<b>Figura 2.41.</b> Nivelador industrial antideslizante Inaher [40].....	52
<b>Figura 3.1.</b> Uso de niveladores en la base de la estructura.....	59



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Esfuerzos admisibles de la caña guadúa [23].	9
<b>Tabla 1.2.</b> Módulos de elasticidad de la caña guadúa [23]	10
<b>Tabla 1.3.</b> Resistencia característica $X_i$ para diferentes sollicitaciones [24]	11
<b>Tabla 1.4.</b> Factores de seguridad sugeridos [24].	11
<b>Tabla 1.5.</b> Factores de corrección $k_{mod}$ por tipo de servicio y duración [24].	11
<b>Tabla 1.6.</b> Tipo de columnas según esbeltez [25].	13
<b>Tabla 2.1.</b> Voz del usuario y Voz del ingeniero.	18
<b>Tabla 2.2.</b> Especificaciones técnicas del sistema.	19
<b>Tabla 2.3.</b> Evaluación de pesos específicos para cada criterio - Módulo 1.	22
<b>Tabla 2.4.</b> Conclusiones del análisis - Módulo 1.	22
<b>Tabla 2.5.</b> Evaluación de pesos específicos para cada criterio - Módulo 2.	24
<b>Tabla 2.6.</b> Conclusiones del análisis - Módulo 2.	24
<b>Tabla 2.7.</b> Evaluación de pesos específicos para cada criterio - Módulo 3.	26
<b>Tabla 2.8.</b> Conclusiones del análisis - Módulo 3.	27
<b>Tabla 2.9.</b> Resumen resultados columnas 1-2 y 3-4.	36
<b>Tabla 2.10.</b> Especificación de materiales seleccionados.	36
<b>Tabla 2.11.</b> Costo de elementos normalizados - Módulo 1.	52
<b>Tabla 2.12.</b> Costo de elementos normalizados - Módulo 2.	53
<b>Tabla 2.13.</b> Costo de materiales - Módulo 2.	53
<b>Tabla 2.14.</b> Costo e mano de obra - Modulo 2.	53
<b>Tabla 2.15.</b> Costo total - Módulo 2.	54
<b>Tabla 2.16.</b> Costo de elementos normalizados - Módulo 3.	54
<b>Tabla 2.17.</b> Costo de materiales - Módulo 3.	54
<b>Tabla 2.18.</b> Costo de fabricación - Módulo 3.	55
<b>Tabla 2.19.</b> Costo total - Módulo 3.	55
<b>Tabla 2.20.</b> Costo total de la máquina.	56
<b>Tabla 3.1.</b> Comparación de características principales entre el modelo propuesto y los sistemas en el mercado.	57
<b>Tabla 3.2.</b> Resultados y error obtenidos de la simulación.	58

## RESUMEN

La fisioterapia por medio de sistemas de suspensión corporal ha sido utilizada desde la antigüedad para corregir alteraciones en la locomoción humana. Esta actividad conlleva un arduo trabajo tanto para el paciente como para el fisiatra, por este motivo, en este proyecto se plantea el diseño y simulación de un sistema estructural de bambú para rehabilitación física. El sistema permite realizar terapia física a una persona lesionada desde el hogar, evitando largos tiempos de espera y complicaciones en el traslado a centros de rehabilitación y facilitando las terapias. Primero se realizó una revisión acerca de las alteraciones de la locomoción humana provocadas por lesiones medulares, los distintos sistemas de rehabilitación en el mercado, así como los utilizados en los hospitales en el Ecuador, también se revisó la producción y aplicación del bambú en el Ecuador. Posteriormente, con base en las necesidades de una persona con lesión medular se establecieron las características técnicas, se obtuvo una solución óptima para el sistema, se realizó el dimensionamiento de la estructura, selección de elementos normalizados y elaboración de planos.

**Palabras clave:** simulación, rehabilitación física, locomoción humana, bambú,

## **ABSTRACT**

Physiotherapy by means of body suspension systems has been used since ancient times to correct alterations in human locomotion. This activity involves hard work for both the patient and the physiatrist, for this reason, this project intended to design and simulation of a bamboo structural system for physical rehabilitation. The system allows to perform physical therapy to an injured person from home, avoiding long waiting times and complications in the moving to rehabilitation centers and facilitating therapies. First, a compilation of information was made about the alterations in human gait caused by spinal cord injuries, the different rehabilitation systems available on the market, as well as those used in hospitals in Ecuador, the production and application of bamboo in Ecuador was also reviewed. In addition, based on the needs of a person with spinal cord injury, the technical characteristics were established, an optimal solution for the system was obtained, which were calculated and sized, the selection of standardized elements was made, and drawings were developed.

**Keywords:** simulation, physical rehabilitation, human locomotion, bamboo.

# 1 INTRODUCCIÓN

En Ecuador en el campo de la salud existen deficiencias en varias áreas, entre ellas la rehabilitación física. El escaso desarrollo de tecnología local genera la importación de equipos para cubrir diferentes necesidades dentro del campo de la fisioterapia, principalmente equipos que permiten la rehabilitación de alteraciones de la marcha humana. En Ecuador, 216.479 personas sufren de una discapacidad física [1] y en 2014, según información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 453 personas sufrieron algún tipo de lesión medular traumática [2], las cuales temporal o permanentemente necesitarán terapia física diariamente. Cabe mencionar que para acceder a este tipo de rehabilitación existen dos grandes problemas, tiempo de espera prolongado si se desea acceder al tratamiento en un hospital público y elevados costos si se desea acceder a un servicio privado.

Ecuador es considerado un país privilegiado por la abundante presencia del bambú, en los últimos años ha incrementado el uso del bambú como materia prima en diferentes industrias. Debido a sus propiedades mecánicas, precio, rápida producción y efectos positivos en el medio ambiente en el país el uso de bambú es una estrategia sostenible [3]. El uso del bambú en estructuras disminuye los costos y la complejidad de fabricación, dentro de este contexto, se propone el diseño y simulación de una estructura para suspensión de peso corporal cuyo principal material de construcción sea el bambú. El diseño estará enfocado a la rehabilitación desde el hogar de una persona con lesión medular.

Con este objetivo, en el primer capítulo se inicia con la investigación de las alteraciones de la marcha humana provocadas por lesiones medulares. También, se revisa la evolución que ha tenido la rehabilitación ante este tipo de lesiones, los sistemas de fisioterapia existentes en el mercado y los sistemas que se utilizan en el país. Finalmente, se presenta la producción y aplicaciones del bambú en el Ecuador. En el segundo capítulo comprende el diseño conceptual y de detalle. Basado en la metodología de diseño concurrente se definen las especificaciones técnicas del sistema. Luego, con un análisis funcional se realiza un análisis y selección de alternativas obteniendo una solución adecuada. También, se presentan el dimensionamiento del sistema, donde se presenta los cálculos de elementos mecánicos, la selección de elementos normalizados. Se realiza la simulación del sistema para poder compararla y analizarla posteriormente. Finalmente, se desarrollan los planos de conjunto, subconjunto y de taller del sistema diseñado. En el tercer capítulo se realiza un análisis de resultados del proyecto, así como las conclusiones y recomendaciones.

## **1.1 Objetivo general**

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

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Revisar el estado del arte con respecto a los sistemas de suspensión de peso corporal utilizados para rehabilitación física.
2. Establecer las especificaciones técnicas del sistema y determinar los requerimientos funcionales del sistema.
3. Diseñar y seleccionar los elementos manufacturables y normalizados del sistema.
4. Elaborar los planos de conjunto, subconjunto y de taller de los componentes manufacturables del sistema.
5. Realizar un análisis de costos del sistema.
6. Realizar una simulación del sistema diseñado.

## **1.3 Alcance**

Este proyecto tiene como fin diseñar y simular un sistema estructural de bambú que permitirá realizar rehabilitación física.

- Se considera el dimensionamiento de la estructura, cálculos de elementos mecánicos, selección de componentes, elaboración de planos y análisis de costos del sistema.
- En este trabajo no se considera la construcción de la estructura.
- Para el dimensionamiento de la estructura no se realizará la caracterización mecánica del bambú ecuatoriano, si no que se utilizarán las propiedades mecánicas del bambú existentes en la literatura.
- Se corroborará el dimensionamiento de los elementos de bambú por medio de una simulación en el programa Ansys Mechanical.

## **1.4 Marco Teórico**

### **Locomoción humana**

La locomoción humana se define como el desplazamiento del cuerpo y se genera alternando los movimientos de las extremidades y el tronco. La marcha es considerada el mecanismo principal de locomoción humana, ya que permite desplazar el cuerpo hacia adelante. En este proceso, el peso corporal es soportado por las piernas alternativamente, una pierna estará apoyada en el suelo mientras que la otra pierna se encuentra oscilando [4].

La marcha de una persona se ve afectada, limitada o imposibilitada a causa de los traumatismos, estos pueden generar lesiones temporales como golpes o fracturas, sin embargo, las lesiones permanentes surgen ante un daño a nivel de la médula espinal. A continuación, se define el traumatismo medular y las alteraciones que producen en la marcha.

### Traumatismo medular

El traumatismo medular se presenta cuando la columna vertebral ha sufrido varias lesiones en sus distintos niveles, las afecciones pueden localizarse en diferentes zonas como cartílagos, músculos, vasos sanguíneos, huesos y médula. El traumatismo medular puede provocar lesión completa de la médula, lesión parcial de la médula y síndrome de cono medular. La lesión completa de la médula se produce cuando un segmento de la médula espinal está completamente dañado. Conduce a una pérdida o disminución de la sensibilidad y movilidad en las extremidades inferiores. La lesión parcial de la médula ocurre cuando solo una parte de un segmento de la médula espinal está lesionada. Normalmente los pacientes presentan pérdida o reducción de la sensibilidad y movilidad en el tórax y las extremidades superiores. El síndrome de cono medular se produce como resultado de una fractura en la zona lumbar y causa incontinencia urinaria, debilidad muscular, disminución de la sensibilidad y movilidad [5].

Cabe mencionar que los principales escenarios para este trauma son los accidentes de tránsito, laborales y deportivos. El pronóstico para los pacientes que sufren un traumatismo medular depende del estado de salud previo a la lesión y de la atención prehospitalaria ante el trauma, sin embargo, es seguro que todos los pacientes sufrirán algún tipo de plejía. La plejía es la parálisis o incapacidad de realizar movimientos, en la Figura 1.1 se observan los tipos de plejía y qué miembros se ven afectados en cada caso.



Figura 1.1. Tipos de plejía [6].

## **Fisioterapia de la columna vertebral**

La rehabilitación física o fisioterapia se encarga del estudio, diagnóstico, desarrollo, prevención y tratamiento de las discapacidades físicas. Su objetivo es la recuperación física de una persona lesionada en el mayor grado posible [7]. La fisioterapia de lesiones en la columna se remonta a Suiza en el siglo XVII, el tratamiento consistía en aplicar tracción en la columna y se conseguía por medio de un mecanismo que anclaba la zona cervical a una cama y una fuerza aplicada a un arnés colocado en la zona pélvica del paciente. Estos sistemas se utilizaron durante muchos años como tratamiento para la lumbalgia y la escoliosis. Al final del siglo XIX surgen los sistemas de suspensión corporal para rehabilitación de la columna, utilizados para tratar la mielitis crónica, y afecciones en la ciática [8].

En la actualidad los sistemas de suspensión son utilizados para la rehabilitación de pacientes con lesiones medulares, existen diversos mecanismos diseñados para facilitar el tratamiento, a continuación, se revisan algunos de estos sistemas.

### **Sistemas de fisioterapia existentes en el mercado**

#### ➤ **NxStep Unweighing System**

Fabricado en Estados Unidos por la empresa Biodex, el dispositivo tiene un costo aproximado de 7.300 USD y una capacidad máxima de 189 kg. Este sistema permite suspender parcialmente el peso del paciente al momento de realizar la rehabilitación, brindando seguridad al paciente y al fisiatra. Cuenta con controles de una mano que permiten subir o bajar al paciente de manera sencilla. Además, su diseño con ruedas permite cambiarlo de posición fácilmente [9], en la Figura 1.2. se muestra el sistema NxStep Unweighing System.

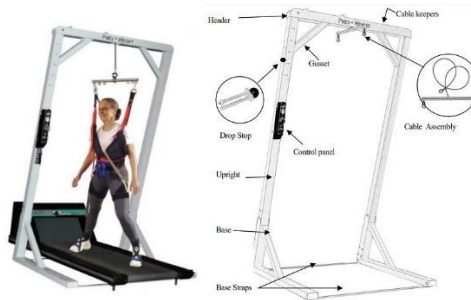


**Figura 1.2.** Sistema de rehabilitación NxStep Unweighing System [10].

#### ➤ **PneuWeight Unweighing System**

Fabricado en Estados Unidos por la empresa Pneumex, el dispositivo tiene un costo aproximado de 8.700 USD y una capacidad máxima de 163 kg. Este sistema permite a los

pacientes realizar actividades terapéuticas sin alterar los patrones de marcha, permite la suspensión parcial del peso de una persona eliminando la presión de la columna y simulando una rehabilitación en una piscina. Además, cuenta con un modo de ejercicio para movimientos bruscos como saltar o subir escaleras. Su diseño permite trabajar en un lugar fijo con una caminadora, en la Figura 1.3 se muestra el sistema PneuWeight Unweighting System.



**Figura 1.3.** Sistema de rehabilitación PneuWeight Unweighting System [11].

### **Sistemas de fisioterapia utilizados en Ecuador**

En el Ecuador se realiza fisioterapia en varios centros como es el caso del Hospital básico Durán que, por medio de los sistemas de suspensión corporal realiza terapia a pacientes con lesión medular, parálisis cerebral, traumatismo craneoencefálico, esclerosis múltiple, hemiplejía y enfermedades neurodegenerativas. Con el uso del sistema Lokomat Pro mensualmente se atienden a 50 pacientes [12]. La Figura 1.4 muestra el sistema de rehabilitación Lokomat que se usa en el Hospital básico Durán. Cabe mencionar que varios hospitales del país poseen del sistema lokomat tales como el Hospital general Ambato, Hospital del día Santo Domingo y el Hospital general Babahoyo.



**Figura 1.4.** Sistema de rehabilitación Lokomat Pro en el Hospital básico Durán [12].

Existen también otro tipo de sistemas de rehabilitación física utilizados en el país. En la Figura 1.5 se muestra la rehabilitación con barras paralelas, que son utilizadas también para rehabilitación de lesiones medulares [13].





**Figura 1.5.** Rehabilitación en barras paralelas [14].

## **Bambú**

Bambú es el nombre común dado a la subfamilia de plantas Bambusoideae, siendo parte de la familia de las gramíneas es una especie maderable y a diferencia de lo que se cree, el bambú no es un árbol, más bien se clasifica como una hierba arborescente gigante. Poseen un tallo leñoso similar al de un árbol y las especies gigantes pueden alcanzar hasta 40 m de altura. Existen alrededor de 1.200 especies de bambú y su forma, tamaño y color varían de acuerdo a la zona de producción [15]. Generalmente, el bambú crece en bosques tropicales lluviosos, pero también puede sobrevivir en zonas templadas. Su crecimiento depende completamente de la humedad y temperatura del ambiente [16].

### ➤ **Producción de bambú en el Ecuador (*Guadua Angustifolia Kunth*)**

Ecuador posee abundante bambú, ya sean especies nativas de la región o especies introducidas. Este material puede ser utilizado como materia prima para elaborar una gran cantidad de productos con valor agregado durante el proceso. La introducción del bambú a diferentes aplicaciones en el país el bambú es una estrategia hacia la sostenibilidad, no solo debido a los efectos positivos en el medio ambiente, sino a los diferentes sectores sobre los cuales el bambú tiene incidencia [3].

Existen 44 especies de bambú entre exóticas y nativas, sin embargo, de todas las especies existentes la más utilizada en el país es la *Guadua Angustifolia Kunth* (conocida también como Caña guadúa [17]). La superficie para plantaciones de bambú equivale al 2% del territorio nacional, cerca de 600.026 hectáreas. El 59,2% de las especies se producen en la costa ecuatoriana, el 23,4% en la Amazonía y el 17,4% en la Sierra [3].

### ➤ **Caña guadúa como especie maderable**

El proceso productivo de la caña guadúa inicia en la siembra con condiciones climáticas favorables. Posterior a la siembra durante el desarrollo, la caña pasará por las etapas de renovación, caña verde, madura y vieja. En este proceso puede alcanzar hasta 40 m de altura. A los 4 años de desarrollo caña estará lista para su aprovechamiento comercial debido a que ha alcanzado la resistencia máxima [17]. Finalmente, en la cosecha de guadúa es

necesario realizar un proceso de curado en el tronco para reducir el porcentaje de humedad y evitar el crecimiento de hongos. Es necesario almacenar la caña en un lugar seco.

Si se compara con una especie maderable comercial como el eucalipto que tiene su ciclo de producción entre los 12 y 15 años [18]. La caña guadúa podría cumplir casi 4 ciclos de producción mientras que el eucalipto cumpliría solo uno. Cabe mencionar que el espacio necesario para la producción en el caso de la caña se reduce considerablemente en comparación a otras especies maderables.

➤ **Importancia**

La guadúa es importante a nivel económico debido a que se proyecta como un reemplazo de la industria maderera. A diferencia de la lenta producción de especies maderables, los guaduales crecen rápidamente [17], [18]. La importancia a nivel ecológico radica en el papel que desempeña dentro de un ecosistema natural. Un guadual ubicado a las orillas de un río actúa como un tanque de almacenamiento de agua, ya que por medio del principio de vasos comunicantes absorbe agua en épocas de lluvia y después la regresa al río en épocas de sequía. La caña guadúa presenta gran cantidad de raíces entretrejidas, las cuales en un guadual actúan como un muro de contención natural que deslizamientos de tierra. Captura el CO<sub>2</sub> cuatro veces más que las otras especies maderables y su presencia da paso a otras especies animales y vegetales [17].

➤ **Bambú aplicado en la ingeniería**

Las diferentes aplicaciones dependen del tipo de especie y de la etapa de desarrollo debido a las diferentes características y propiedades que presentan. Debido a su costo, producción y propiedades, el bambú se presta para diferentes aplicaciones en la ingeniería y a continuación se detallan algunas de estas.

En Zambia debido a la falta de implementos para rehabilitación y el alto porcentaje de personas con problemas de movilidad se han implementado proyectos comunitarios para el desarrollo de muletas construidas con bambú, cuerdas de fibra natural para las uniones y neumáticos desechados para las puntas [19], en la Figura 1.6. se presenta un esquema de la muleta.



**Figura 1.6.** Desarrollo de muletas de bambú en Zambia [19].

En la Figura 1.7 se muestran andadores para niños y para personas mayores con dificultades para caminar contruidos con bambú en Brasil.



**Figura 1.7.** Construcción de andadores de bambú en Brasil [20].

En Ecuador la caña guadúa es utilizada como elemento estructural, permitiendo todo tipo de construcciones con llamativos diseños. En la Figura 1.8 se muestra una construcción de caña guadua.



**Figura 1.8.** Centro de documentación del bambú construido con guadúa en Guayaquil [21].

Existen también aplicaciones estructurales para el bambú, en donde los elementos se unen mediante conexiones flexibles utilizando cuerdas de poliéster. Este tipo de uniones permite obtener estructuras móviles y ligeras [22]. En la Figura 1.9 se presenta una estructura de bambú construida con uniones flexibles.



**Figura 1.9.** Estructura de bambú con conexiones flexibles [22].

## Dimensionamiento de elementos estructurales de caña guadúa

### ➤ Dimensionamiento según la Norma Ecuatoriana de la construcción

Este método de validación está basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para estructuras de caña guadúa [23], este método toma como válido el diseño de un elemento estructura siguiendo la siguiente comparación.

$$f_A \leq F'_A$$

Donde

$f_A$  Esfuerzo actuante en el elemento

$F'_A$  Esfuerzo admisible modificado

Este método toma como aceptable el diseño de un elemento estructural de guadúa si el esfuerzo en los elementos es menor o igual al admisible modificado por los factores de corrección propios del material. Esta misma comparación se utiliza para cada tipo de esfuerzo ya sea flexión, corte, compresión y tracción.

La NEC especifica las propiedades mecánicas que se deben utilizar para el diseño, en la Tabla 1.1 se observan los esfuerzos últimos y admisibles para la caña guadúa y en la Tabla 1.2 se observan los valores para módulos de elasticidad para diferentes casos de análisis.

**Tabla 1.1.** Esfuerzos admisibles de la caña guadúa [23].

<b>Esfuerzos Admisibles [MPa]</b>				
$\sigma_b$ <b>Flexión</b>	$\sigma_t$ <b>Tracción</b>	$\sigma_c$ <b>Compresión</b>	$\sigma_p$ <b>Compresión</b>	$\tau_v$ <b>Corte</b>
15	19	14	1,4	1,2
<b>Esfuerzos Últimos [MPa]</b>				
45	117	37	-	7
<b>Factores de seguridad utilizados</b>				
3	6,15	2,64	-	5,83

		Compresión paralela a las fibras	Compresión perpendicular a las fibras	
--	--	----------------------------------------	---------------------------------------------	--

**Tabla 1.2.** Módulos de elasticidad de la caña guadúa [23]

<b>Módulos de elasticidad [MPa]</b>		
<b>Módulo percentil 5 E<sub>0.5</sub></b>	<b>Módulo percentil 5 E<sub>0.05</sub></b>	<b>Módulo mínimo E<sub>min</sub></b>
12.000	7.500	4.000
Uso en elementos estructurales		Uso en cálculo de coeficientes de estabilidad en vigas

Como se puede observar en las tablas de propiedades mecánicas en este método se valida el diseño con factores de seguridad ya establecidos debido a que se utiliza los valores de esfuerzos admisibles para la comparación.

➤ **Dimensionamiento según el trabajo “Structural use of bamboo”**

Este método de dimensionamiento está basado en las ecuaciones de diseño y los valores definidos en los artículos 3 y 4 del trabajo “ Structural use of bamboo” [24], [25]. A continuación, se detallan las ecuaciones de diseño para elementos de guadúa que se utilizaran en este trabajo.

**Cálculo de valores de diseño**

Los valores de diseño para cada tipo de esfuerzo se calcularán mediante la Ecuación 1.1.

$$\sigma_i = k_{mod} \cdot \frac{X_i}{n_i}$$

**Ecuación 1.1.** Cálculo de esfuerzo de diseño para las diferentes solicitaciones [24].

Donde:

$\sigma_i$  Esfuerzo para las diferentes solicitaciones

$k_{mod}$  Factor de corrección por tipo de servicio y duración (ver Tabla 1.5)

$X_i$  Resistencia característica para cada tipo de solicitación (ver Tabla 1.3)

$n_i$  Factor de seguridad para las diferentes solicitaciones

Los valores de resistencia característicos para cada tipo de solicitación se presentan en la Tabla 1.3

**Tabla 1.3.** Resistencia característica  $X_i$  para diferentes solicitaciones [24]

	<b>Flexión</b> ( $x_b$ ) [MPa]	<b>Corte</b> ( $x_v$ ) [MPa]	<b>Tracción</b> ( $x_t$ ) [MPa]	<b>Compresión</b> ( $x_c$ ) [MPa]
<b>Caña guadúa</b>	35 - 50	3 - 5	40	20

En este método de dimensionamiento se sugieren los valores de los factores de seguridad con base en datos de normas internacionales, estos valores se presentan en la Tabla 1.4.

**Tabla 1.4.** Factores de seguridad sugeridos [24].

<b>Flexión</b>	<b>Corte</b>	<b>Tracción</b>	<b>Compresión</b>
1,5	1,5	1,5	1,5

Sin embargo, en este trabajo se calculará los factores de seguridad para cada tipo de esfuerzo. En la Tabla 1.5, se presenta los factores de corrección por tipo de servicio y duración.

**Tabla 1.5.** Factores de corrección  $k_{mod}$  por tipo de servicio y duración [24].

<b>Permanente</b>	<b>A largo plazo</b>	<b>Mediano plazo</b>	<b>Corto plazo</b>	<b>Instantáneo</b>
0,4	0,45	0,55	0,5	0,75

A continuación, se presentan las ecuaciones de diseño para cada tipo de esfuerzo.

- **Flexión**

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la Ecuación 1.2.

$$\sigma_m = \frac{M_m}{S_{elast}}$$

**Ecuación 1.2.** Esfuerzo por flexión [25].

Donde:

$M_m$  Momento máximo aplicado al elemento

$\sigma_m$  Esfuerzo a flexión obtenido de la Ecuación 1.1.

$S_{elast}$  Módulo de sección

Para el cálculo del módulo elástico se utiliza la Ecuación 1.3.

$$S_{elast} = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32D_e}$$

**Ecuación 1.3.** Módulo de sección [25].

- **Cortante**

Para determinar el esfuerzo se utiliza la Ecuación 1.4.

$$\tau = \frac{F_v \cdot 8(D_e^3 - (D_e - 2t)^3)}{3\pi t \cdot (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)} \cdot k_{cr}$$

**Ecuación 1.4.** Esfuerzo cortante [25].

Donde:

$F_v$  Fuerza cortante aplicada al elemento

$\tau$  Esfuerzo a cortante obtenido de la Ecuación 1.1.

Las fisuras longitudinales en la GaK son muy comunes por lo que se recomienda incluir un factor de reducción  $k_{cr}$  [25], este se define a continuación:

$k_{cr} = 0.5$  Factor de corrección por fisuras recomendado

- **Compresión axial**

Para realizar este cálculo primero se determina la longitud efectiva de la columna mediante la Ecuación 1.5.

$$l_e = kL$$

**Ecuación 1.5.** Longitud efectiva de la columna [25].

Donde:

$l_e$  Longitud efectiva de la columna

$k$  Coeficiente para corrección de longitud según el tipo apoyos (ver ANEXO I)

$L$  Longitud de la columna

La esbeltez de la columna se calcula mediante la Ecuación 1.6

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

**Ecuación 1.6.** Esbeltez de la columna [25].

Donde:

$\lambda$  Esbeltez de la columna

$r$  Radio de giro

El radio de giro se calcula mediante la Ecuación 1.7

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

**Ecuación 1.7.** Radio de giro [25].

$I$  Inercia del elemento de guadúa

$A$  Área del elemento

Se determina el tipo de columna, para esto en la Tabla 1.6 se muestra la clasificación de columnas según su esbeltez.

**Tabla 1.6.** Tipo de columnas según esbeltez [25].

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

Las columnas intermedias y largas están limitadas por el valor  $C_k$ , y se determina mediante la Ecuación 1.8.

$$C_k = \pi \sqrt{\frac{E_{0.05}}{n_c X_c}}$$

**Ecuación 1.8.** Límite  $C_k$  entre columnas intermedias y largas [25].

Donde:

$E_{0.05}$  Módulo de elasticidad (ver Tabla 1.2)

$n_c = 1,5$  Factor de seguridad recomendado (ver Tabla 1.4)

$X_c$  Resistencia característica a compresión (ver Tabla 1.3)

Dependiendo del tipo de columna se utilizará de la Ecuación 1.9 a la Ecuación 1.11.



$$F_c = \sigma_c \cdot A$$

**Ecuación 1.9.** Esfuerzo por carga axial para columnas cortas [25].

$$F_c = \sigma_c \cdot A \left( 1 - \frac{2}{5} \left[ \frac{\lambda}{C_k} \right]^3 \right)$$

**Ecuación 1.10.** Esfuerzo por carga axial para columnas intermedias [25].

$$F_c = 0.6 \frac{\pi^2 \cdot A \cdot E_{0.05}}{n_c \cdot \lambda^2}$$

**Ecuación 1.11.** Esfuerzo por carga axial para columnas largas [25].

Donde:

$F_c$  Fuerza de compresión aplicada al elemento.

$\sigma_c$  Esfuerzo a compresión obtenido de la Ecuación 1.1.

$n_c$  Factor de seguridad para compresión

- **Cálculo de carga crítica de Euler**

La carga crítica se calcula utilizando la Ecuación 1.12

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

**Ecuación 1.12.** Carga crítica de Euler [25].

Donde:

$P_{cr}$  Carga crítica donde se produce el pandeo del elemento.

$E_{0.05}$  Módulo de elasticidad percentil  $E_{0.05}$  (ver Tabla 1.2)

$I$  Inercia del elemento

$l_e$  Longitud efectiva

- **Calculo a flexo-compresión**

Para realizar el análisis de cargas combinadas se utiliza la Ecuación 1.13.

$$\frac{F_c}{F'_c} + \frac{M_m}{M'_m \left( 1 - \frac{1,5F_c}{P_{cr}} \right)} \leq 1$$

**Ecuación 1.13.** Relación por flexo-compresión [25].

Donde:

$F_c$  Fuerza de compresión aplicada al elemento

$F'_c$  Fuerza de compresión diseñada, calculada con el factor de seguridad recomendado (ver Tabla 1.4)

$M_m$  Momento aplicado al elemento

$M'_m$  Momento de diseño calculado con el factor de seguridad recomendado (ver Tabla 1.4)

## **2 METODOLOGÍA**

En este capítulo se desarrolla el diseño conceptual, diseño de detalle y simulación del sistema estructural, se precederá utilizando el método de diseño concurrente. Primero, por medio de la casa de la calidad se obtendrá la jerarquización de las especificaciones técnicas del sistema. Después, por medio del desarrollo de un análisis funcional y usando una estructura modular, se ejecuta el planteamiento, análisis y selección de alternativas de solución para el diseño utilizando el método de criterios ponderados. Adicional a esto, se muestra los cálculos respectivos de los elementos mecánicos, la selección de elementos normalizados. Se realiza la simulación del sistema para poder compararla y analizarla posteriormente. Finalmente se presentan los planos de conjunto, subconjunto y de taller del sistema. En el ANEXO II se muestra el diagrama de flujo que representa la metodología a seguir en el presente trabajo.

### **2.1 Determinación de las Especificaciones técnicas**

Por medio de la herramienta de la casa de la calidad se jerarquizan las especificaciones técnicas del sistema. Se utilizará el criterio del ingeniero y las necesidades del usuario.

#### **Consideraciones iniciales**

Para definir las especificaciones técnicas del sistema estructural para suspensión de peso corporal, es imprescindible hacer una revisión de los sistemas similares en el mercado actual. En el marco teórico se recopiló información sobre los sistemas de rehabilitación existentes y con base en esta información se obtendrá un concepto inicial de diseño.

Con respecto al sistema de rehabilitación, es necesario obtener información directa de personas involucradas en el tema ya sea de pacientes, familiares y tratantes. Por este motivo se tomará como base un caso específico de lesión medular. La persona involucrada sufrió una lesión en el año 2015 cuando tenía 15 años. Desde este incidente, con la ayuda de su familia ha recibido rehabilitación física a diario. Se tiene entonces como cuadro clínico a una persona género masculino de 21 años, 63 kg de peso y 1,63 m de estatura. El paciente sufre de tetraplejia causada por una lesión medular debido a una caída desde una cama elástica, presenta bajo control y debilidad muscular.

Si bien se tienen los datos de estatura y peso del paciente, para el diseño se utilizarán los valores de los datos promedio de la población ecuatoriana. Es complicado obtener un promedio de peso de la población ecuatoriana, sin embargo, según encuestas del INEC el 62,8% de la población ecuatoriana presenta sobrepeso durante su adultez [26]. También, la revista científica eLife establece la estatura promedio de los ecuatorianos en 1,67 m [27].

El índice de masa corporal (IMC) es un indicador utilizado para categorizar el peso de una persona, se calcula mediante la estatura y peso [28]. En Figura 2.1 la se muestra la categorización del peso de una persona con base en el IMC, tomando como referencia su estatura y peso.

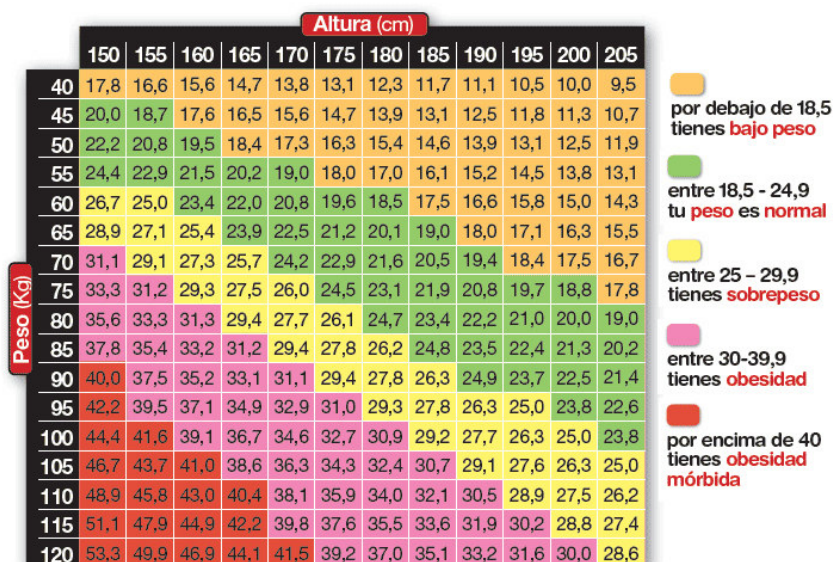


Figura 2.1. Categorización de peso utilizando el ICM [29].

Con base en el valor promedio de estatura obtenido de la revista eLife, se considera para el diseño el valor de 1,70 m. Con la premisa de sobrepeso en la población ecuatoriana según el INEC, se observa en la categorización de peso que para la estatura fijada corresponde un peso aproximado de 80kg, por lo que se considerará este valor para el diseño.

### Casa de la calidad

La casa de la calidad es una herramienta que permite relacionar el criterio ingenieril con la necesidad y requerimientos del usuario. Producto de esta relación se obtiene la jerarquización de las especificaciones técnicas del sistema [30].

#### ➤ Voz del usuario y Voz del ingeniero

La Tabla 2.1 muestra la voz del usuario que hace referencia requerimientos del cliente o en este caso a las necesidades de una persona con lesión medular. también se presenta la voz del ingeniero que se refiere a la traducción de las necesidades en características técnicas cuantificables. Adicional a esto, se presenta las consideraciones para fijar el valor de cada característica.

**Tabla 2.1.** Voz del usuario y Voz del ingeniero.

<b>Voz del usuario</b>	<b>Voz del ingeniero</b>	<b>Observación</b>
Que tenga espacio suficiente en su base para poder utilizarse con una caminadora comercial	Ancho de la base $\geq 1$ m	Espacio considerado para trabajar con cualquier tipo de caminadora comercial
Que tenga altura suficiente para el paciente	Altura 1,70 m	Valor obtenido de estadísticas en el Ecuador
Capaz de soportar el peso del paciente	Capacidad 80 kg	Valor obtenido de la categorización de peso
Seguro para el paciente	Factor de seguridad en elementos de guadúa $\geq 1,5$	Valor recomendado para diseño de elementos estructurales de caña guadúa [24]
Fácil posicionamiento del paciente para rehabilitación	Mecanismo de elevación sencillo	
Que sea barato	Precio < 500 UDS	Valor recomendado por del usuario

➤ **Consideraciones para la casa de la calidad**

Para este caso específico, no se toma en cuenta el análisis competitivo ya que no existe un producto propio para comparar y además no existen datos de la competencia que puedan ser comparados con este proyecto. La casa de la calidad, elaborada con la voz del usuario y la voz del ingeniero se muestra en el ANEXO III.

**Resultados de la casa de la calidad**

Del análisis, se obtuvieron datos muy claros con respecto a las especificaciones con mayor incidencia, se tomará en cuenta las cuatro principales ya que estas suman el 82,4% de la ponderación. En orden de importancia son: capacidad, factor de seguridad, mecanismo de elevación sencillo, altura para el paciente. La Tabla 2.2 presenta las especificaciones del sistema obtenidas de la casa de la calidad.

**Tabla 2.2.** Especificaciones técnicas del sistema.

<b>Cliente:</b> Paciente con lesión medular		<b>Producto:</b> Sistema estructural de bambú para rehabilitación física	
<b>Diseñador:</b> Erick Matias Acosta Guaman			
<b>ESPECIFICACIONES</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad	C+I	R	80 kg
Factor de seguridad	I	R	≥ 1,5
Mecanismo de elevación sencillo	C	R	Accionamiento rápido
Altura para el paciente	C+I	D	1,70 m
Dimensiones del sistema	I	D	2,2 x 1,4 x 1,5 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

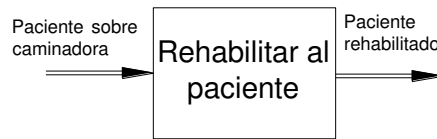
En esta sección se analizarán distintos modelos de diseño, obtenidos a partir de la información recopilada en el marco teórico sobre los sistemas de suspensión de peso corporal. Los modelos se obtienen en función de las especificaciones técnicas jerarquizadas en la casa de la calidad.

### Análisis funcional

El análisis funcional se centra en definir una estructura modular para después proponer, analizar y seleccionar alternativas. Con esta metodología se definen las diferentes funciones del sistema [30].

#### ➤ Nivel 0

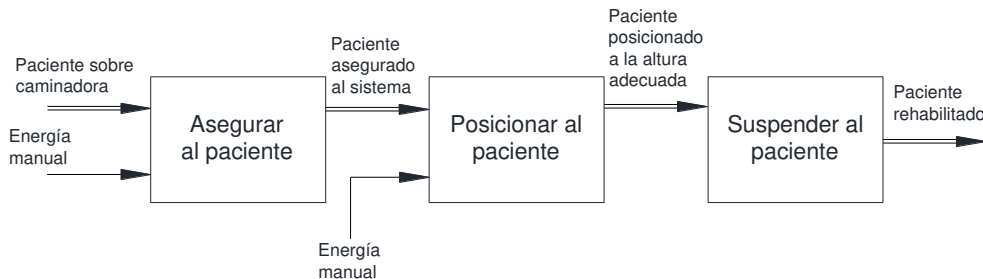
En este nivel se define la función global del sistema del sistema. La Figura 2.2 muestra el nivel 0 de la estructura.



**Figura 2.2.** Nivel 0 – Estructura modular.

➤ **Nivel 1**

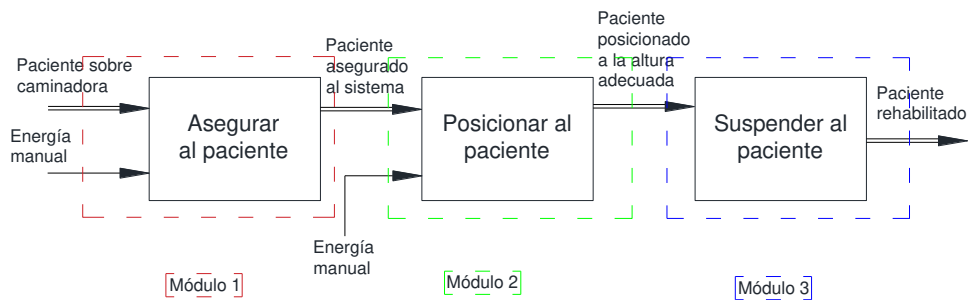
El nivel 1 define las funciones secundarias del sistema, la Figura 2.3 muestra el nivel 1 de la estructura.



**Figura 2.3.** Nivel 1 – Estructura modular.

➤ **Definición de módulos**

La Figura 2.4 define los módulos en la estructura funcional, cuyas funciones y subfunciones describen la función global realizará el sistema.



**Figura 2.4.** Definición de módulos el sistema.

Se definieron tres módulos, y cada uno está propuesto para cubrir una subfunción. Ahora se especifican las subfunciones de cada módulo.

- Módulo 1: Asegurar al paciente en el sistema.
- Módulo 2: Posicionar y fijar al paciente a la altura adecuada dentro del sistema.
- Módulo 3: Soportar el peso del paciente, suspensión del paciente.

## Análisis de alternativas

Según el método de diseño concurrente para cada módulo se deben plantear posibles soluciones, obteniendo distintas alternativas de diseño para cada módulo. Por medio de un análisis con base en el método de criterios ponderados se seleccionará una solución conveniente para esta aplicación [30].

### ➤ Módulo 1

Para el módulo 1 se proponen las siguientes soluciones:

Solución 1, arnés ortopédico para rehabilitación, en Figura 2.5 la se muestra el arnés ortopédico PneuVest Ultima de la marca Pneumex.



**Figura 2.5.** Arnés ortopédico PneuVest Ultima [31].

Esta solución presenta ventajas en cuanto a la comodidad de uso, además acomoda las vértebras durante la rehabilitación evitando lesiones. Presenta también desventajas ya que es fabricado para un paciente en específico, su precio es elevado (aproximadamente 600 UDS) y se fabrica en el extranjero únicamente bajo pedido.

Solución 2, arnés de seguridad industrial, en Figura 2.6 la se muestra un arnés de seguridad de tres puntos de anclaje.



**Figura 2.6.** Arnés de seguridad convencional [32] .



Las ventajas de esta solución son costo bajo (aproximadamente 60 USD), disponibilidad inmediata, compatible con todas las personas y alta capacidad de carga. Presenta también una desventaja ya que es incómodo utilizarlo por mucho tiempo.

- Selección de alternativas

Los criterios para el módulo 1 son precio, disponibilidad, capacidad y seguridad. En el ANEXO IV se presenta la selección de alternativa óptima en el módulo 1, analizada con el método de criterios ponderados. En la Tabla 2.3 se muestra la evaluación de pesos específicos de cada criterio y en la Tabla 2.4 se presentan los resultados de evaluación para el módulo 1.

**Tabla 2.3.** Evaluación de pesos específicos para cada criterio - Módulo 1.

Criterio	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	$\Sigma$ +1	Ponderado
Precio		0,5	0	0	1,5	0,15
Disponibilidad	0,5		0	0	1,5	0,15
Capacidad	1	1		1	4	0,4
Seguridad	1	1	0		3	0,3
					10	1
Capacidad > Seguridad > Disponibilidad = Precio						

**Tabla 2.4.** Conclusiones del análisis - Módulo 1.

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,05	0,05	0,1333333	0,2	0,4333	2
Solución 2	0,1	0,1	0,2666667	0,1	0,5667	1

### ➤ **Módulo 2**

Antes de detallar las diferentes soluciones propuestas para el sistema, cabe mencionar que ambas soluciones trabajarán con un sistema de poleas que permitirá conducir el cable de acero desde el mecanismo de elevación hasta el paciente. La Figura 2.7 muestra un sistema de polea simple.



**Figura 2.7.** Sistema de polea [33].

Para el módulo 2 se proponen las siguientes soluciones:

Solución 1, cabrestante manual de manivela con cable de acero, como se muestra en la Figura 2.8



**Figura 2.8.** Cabrestante manual de manivela [34].

La solución presenta ventajas como costo bajo (aproximadamente 40 USD), disponibilidad inmediata, alta capacidad de carga y bloqueo anti-retroceso automático. La desventaja es que es necesario aplicar fuerza humana para elevar al paciente.

Solución 2, tecle eléctrico con cable de acero, como se observa en la Figura 2.9.



**Figura 2.9.** Tecele eléctrico con cable de acero [35].

La solución presenta ventajas como costo moderado (aproximadamente 140 USD), disponibilidad inmediata y elimina el esfuerzo humano para elevar al paciente. también presenta desventajas ya que no se puede aplicar la carga por mucho tiempo, ocupa mucho espacio en el sistema, aumento de precio de acuerdo con la capacidad de carga.

- Selección de alternativas

Los criterios para el módulo 2 son precio, disponibilidad, capacidad y seguridad. En el ANEXO V se presenta la selección de la alternativa óptima en el módulo 2, analizada con el método de criterios ponderados. En la Tabla 2.5 se muestra la evaluación de pesos específicos de cada criterio y en la Tabla 2.6 se presentan los resultados de evaluación para el módulo 2.

**Tabla 2.5.** Evaluación de pesos específicos para cada criterio - 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						

**Tabla 2.6.** Conclusiones del análisis - Módulo 2.

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,0667	0,1	0,2666667	0,15	0,5833	1
Solución 2	0,0333	0,1	0,1333333	0,15	0,4167	2

### ➤ Módulo 3

Para este módulo, tomando en cuenta la revisión de los sistemas de rehabilitación realizada en el marco teórico, se tomará como base una estructura tipo pórtico.

Antes de detallar las diferentes soluciones propuestas para el sistema, cabe mencionar que debido a la irregularidad del material y tomando en cuenta que la estructura se diseñara para trabajar fija sobre una caminadora, todas las soluciones trabajarán con niveladores. La Figura 2.10 muestra un nivelador utilizado en madera.



**Figura 2.10.** Sistema nivelador para madera [36].

Para el módulo 2 se proponen las siguientes soluciones:

Solución 1, la Figura 2.11. muestra una estructura tipo pórtico con uniones de tubo de acero emperradas a la caña, se utilizará elementos de bambú de diámetro aproximado 100mm.



**Figura 2.11.** Estructura tipo pórtico con uniones de acero y emperradas.

Este tipo de estructura presenta una ventaja en cuanto al montaje, ya que se simplifica debido a las uniones con tubo de acero. Como desventajas se tiene mayor costo de construcción de uniones de acero, mayor tiempo de construcción, es necesario perforar el bambú para conducir el cable de acero.

Solución 2, la Figura 2.12. muestra una estructura tipo pórtico doble con uniones de tubo de acero emperradas a la caña, se utilizará elementos de bambú de diámetro aproximado 100 mm.



**Figura 2.12.** Estructura tipo pórtico doble con uniones de acero y emperradas.

Las ventajas de la solución son montaje simple en uniones de tubo de acero y menor número de uniones en la estructura. Sin embargo, como desventajas presenta mayor costo de construcción por uniones de tubo acero, construcción de uniones de acero compleja, mayor tiempo de construcción y es necesario realizar perforaciones para conducir el cable de acero.

Solución 3, la Figura 2.13 muestra una estructura tipo pórtico con uniones emperradas, se utilizará elementos de bambú de diámetro aproximado 100 mm.



**Figura 2.13.** Estructura tipo pórtico con uniones emperradas.

Las ventajas que presenta la solución son bajo costo, construcción simple, no es necesario hacer perforaciones en la caña para conducir el cable de acero, facilita el montaje del cabrestante y se utiliza pernos para todas las uniones. Presenta desventajas ya que requiere mayor número de uniones y montaje de uniones compleja.

Los criterios para el módulo 3 son precio, disponibilidad, capacidad, seguridad y construcción simple. En el ANEXO VI se presenta la selección de la alternativa óptima para el módulo 3, analizada con el método de criterios ponderados. La Tabla 2.7 muestra la evaluación de pesos específicos de cada criterio y en la Tabla 2.8 se presentan los resultados de evaluación para el módulo 3.

**Tabla 2.7.** Evaluación de pesos específicos para cada criterio - Módulo 3.

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

Construcción simple	0	1	1	1		4	0,2667
						15	1
Capacidad = Construcción simple > Seguridad > Precio > Disponibilidad							

**Tabla 2.8.** Conclusiones del análisis - Módulo 3.

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Construcción simple	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,0694	0,033333333	0,0444444	0,033333333	0,066666667	0,2472	3
Solución 2	0,0694	0,033333333	0,0888889	0,083333333	0,066666667	0,3417	2
Solución 3	0,0278	0,033333333	0,1333333	0,083333333	0,133333333	0,4111	1

### 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. La Figura 2.14 muestra el modelo virtual de solución para el sistema.



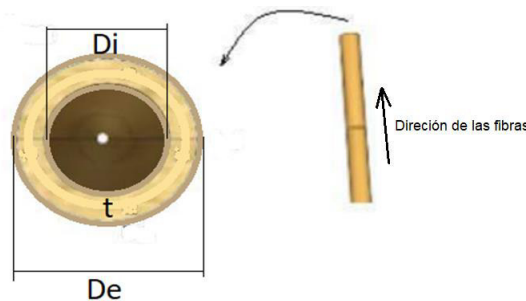
**Figura 2.14.** Solución virtual.

## 2.3 Cálculo y selección de materiales y componentes

### Cálculo de la estructura

El material principal que se utilizará en el diseño de la estructura es el bambú, específicamente la especie *Guadua Angustifolia Kunth* (GaK). Este diseño se realizará con base en las ecuaciones de diseño de los artículos 3 y 4 del trabajo “Structural use of bamboo” [24], [25].

Para comenzar a hacer un cálculo estimado de la estructura se tomará en consideración que la geometría del bambú es uniforme, es decir que el diámetro externo, diámetro interno y el espesor son constantes. La Figura 2.15 muestra la sección transversal en la caña y especifica la dirección de las fibras del material.



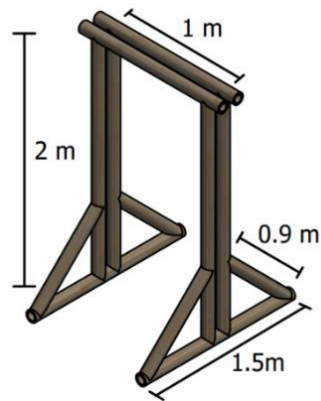
**Figura 2.15.** Sección transversal de la guadúa y dirección de las fibras [37].

#### ➤ Datos iniciales

Como datos iniciales se tiene la masa del paciente  $m_p = 80 \text{ kg}$ , entonces el peso que soportara la estructura es  $P = 784,8 \text{ N}$ . Para realizar los respectivos cálculos se definen los datos de entrada del sistema, diámetro interno  $D_e = 10 \text{ cm}$ , diámetro interno  $D_i = 8 \text{ cm}$  y el peso específico de la GaK  $P_e = (750 - 900) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  [23]. Conocidos estos datos, el área de la sección de la guadúa es  $A = 28,274 \text{ cm}^2$  y el volumen para un metro lineal de GaK  $Vol_{GaK} = 0,0028 \text{ m}^3$ . También se determina la masa por metro lineal  $m_{GaK} = 2,121 \text{ kg}$  y el peso por metro lineal  $P_{GaK} = 20,807 \text{ N}$

#### ➤ Definición de la dimensiones y masa de la estructura de guadúa

Cómo se presentó en la solución virtual Figura 2.14, se planea utilizar dos pórticos consecutivos, aprovechando la separación entre los pórticos para posicionar las poleas y conducir el cable de acero sin necesidad de realizar perforaciones en los elementos de guadúa. Se presenta en las dimensiones de la estructura en la Figura 2.16.



**Figura 2.16.** Dimensiones del sistema.

Se calcula la masa aproximada de la estructura de guadúa, utilizando el valor de masa por metro lineal calculado anteriormente  $m_{GaK} = 2,121 \text{ kg}$ . Se tiene que la masa total de los elementos de guadúa es de  $35,2 \text{ kg}$ .

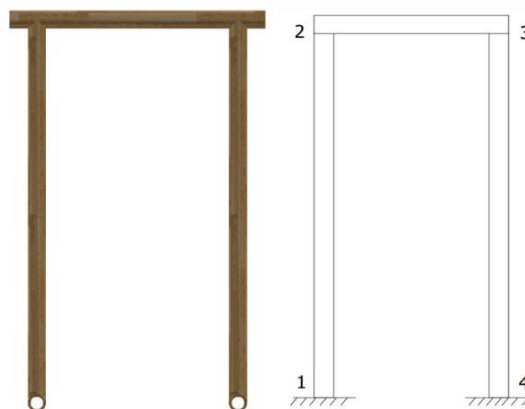
Considerando que la estructura se diseña para estar en un lugar fijo,  $35,2 \text{ kg}$  sin considerar el peso de los demás elementos mecánicos es aceptable. Con esta configuración hay que considerar que la carga del paciente  $P = 784,8 \text{ N}$  se distribuye para cada pórtico a  $\frac{P}{2} = 392,4 \text{ N}$ .

Como datos de entrada se define que

$L = 1 \text{ m}$  Longitud de la viga

$H = 2 \text{ m}$  Longitud de las columnas

En la Figura 2.17 se muestra la vista frontal del sistema para el análisis del pórtico. Los apoyos en ambos extremos se toman como fijos, ya que irán empernados sobre una base fija.



**Figura 2.17.** Vista frontal de la estructura.

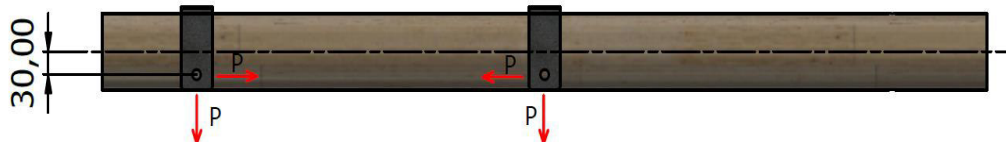


La columna 1-2 es donde se fija el cabrestante manual, mientras que la columna 3-4 estará libre.

➤ **Cálculo de momento flector y fuerza cortante en la viga**

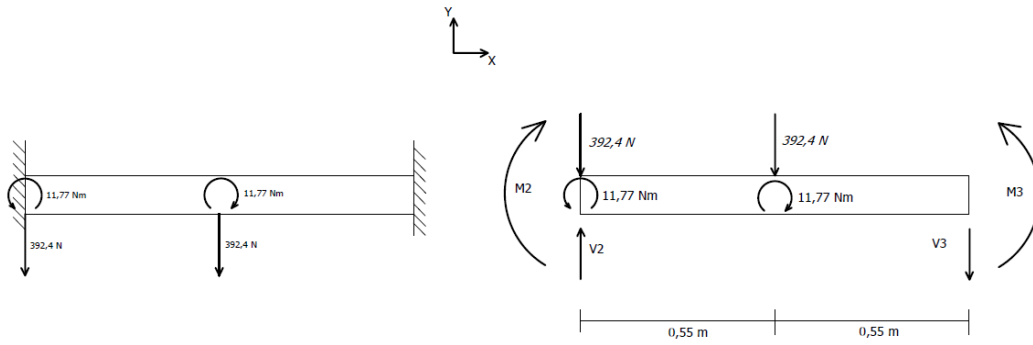
Considerando que el ancho aproximado de la estructura según la Tabla 2.2 es 1,1 m, es decir que la viga que soporta al paciente tendrá una masa aproximada de 2.121 kg. Al compararlo con la masa del paciente  $m_p = 80 \text{ kg}$  que es la principal carga que soportará el sistema se evidencia que representa menos del 3 % de la carga principal, por lo que para este análisis no se toma en cuenta la carga distribuida del peso propio de la Gak y se trabajará únicamente con la carga del peso del paciente. Los elementos de la estructura se dividen por partes para ser analizados, primero se analiza la viga, que al estar empotrada en los dos extremos de apoyo se considera como una viga doblemente empotrada.

En la Figura 2.18 se presenta un gráfico con las fuerzas que actúan en la viga, estas resultan de las tensiones del cable de acero y se transmiten por medio del pasador de las poleas. Así se tienen dos cargas puntuales verticales, una en el centro de la viga y otra al extremo. Sin embargo, existen dos fuerzas horizontales y estas producen momentos ya que actúan a 30mm del eje longitudinal de la caña.



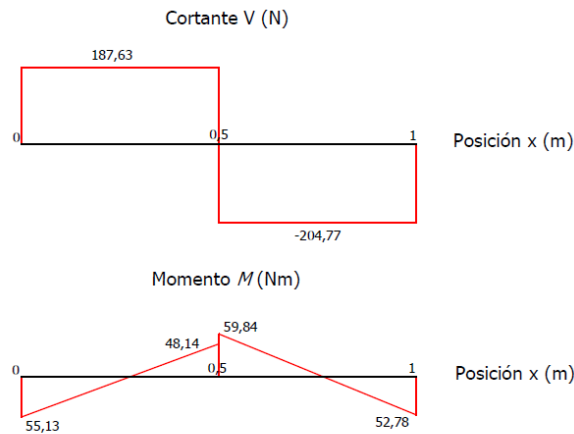
**Figura 2.18.** Fuerzas actuantes en la viga.

Considerando que la carga del paciente  $P = 784,8 \text{ N}$  se distribuirá a los dos pórticos, las fuerzas puntuales verticales serán de  $392,4 \text{ N}$ . De igual manera los momentos que actuarán sobre la viga se distribuirán a ambos pórticos por lo que cada viga soportara momentos  $\frac{M}{2} = 11,77 \text{ Nm}$ . La Figura 2.19. muestra diagrama de cuerpo libre de la viga 2-3.



**Figura 2.19.** Fuerzas existentes en la viga superior y su diagrama de cuerpo libre.

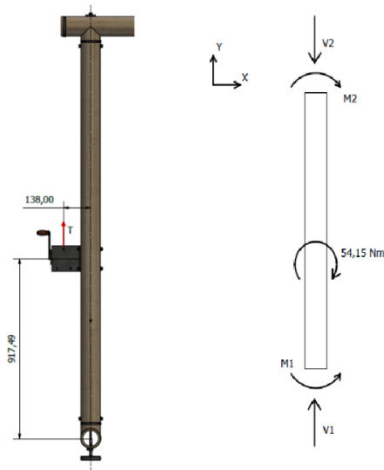
En la Figura 2.20, se presentan los gráficos de fuerza cortante y omento flector vs posición para la viga 2-3.



**Figura 2.20.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector para la viga 2-3.

### ➤ Cálculo de las reacciones en las columnas

A continuación, se determinan las reacciones en la columna 1-2 donde se fijará el cabrestante. La fuerza de tensión en el cable de acero del cabrestante produce un momento en la columna ya que actúa a 138 mm del centro del eje neutro de la columna. Debido a que el cabrestante estará fijado a las dos pórticos, el momento que actúa en cada columna será  $\frac{M}{2} = 54,15 \text{ Nm}$ . La Figura 2.21 muestra la fuerza que produce el momento en la columna y el diagrama de cuerpo libre para la columna 1-2.



**Figura 2.21.** Diagrama de cuerpo libre para la columna 1-2.

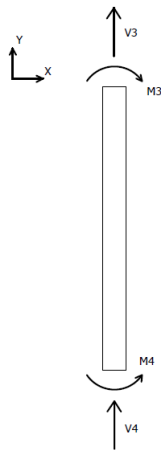
$$\sum Fy = V_1 - V_2 = 0$$

$$V_1 = V_2$$

$$\sum M = M_2 + 54,15 \text{ Nm} - M_1 = 0$$

$$M_1 = M_2 + 54,15 \text{ Nm}$$

Se determinan las reacciones en la columna 3-4, la Figura 2.22 muestra su diagrama de cuerpo libre.



**Figura 2.22.** Diagrama de cuerpo libre para la columna 3-4.

$$\sum Fy = V_3 + V_4 = 0$$

$$V_4 = -V_3$$

$$\sum M = M_4 - M_3 = 0$$

$$M_4 = M_3$$

Una vez determinados la fuerza cortante y el momento flector máximos, se procede a hacer un análisis de esfuerzos.

➤ **Análisis de esfuerzos de la GaK**

- **Cálculo a Flexión de la viga**

Para realizar el cálculo a flexión se utiliza la Ecuación 1.2

$$M_m = \sigma_m \cdot S_{elast}$$

Se calcula el módulo elástico con la Ecuación 1.3

$$S_{elast} = 57962,384 \text{ mm}^3$$

Se reemplaza la Ecuación 1.1 en la Ecuación 1.2 se tiene que

$$M_m = \left( k_{mod} \cdot \frac{X_m}{n_m} \right) \cdot (S_{elast})$$

Se reemplaza valores,  $M_m = 59,84 \text{ Nm}$

$$59840 \text{ N} \cdot \text{mm} = \left( 0,55 \cdot \frac{35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{n_m} \right) \cdot (57962,384 \text{ mm}^3)$$

Se tiene como única incógnita el factor de seguridad a flexión  $n_m$

$$n_m = 18,64$$

También se calcula el esfuerzo flector máximo

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{M_m}{S_{elast}} \\ \sigma_{max} &= \frac{54940 \text{ N} \cdot \text{mm}}{57962,384 \text{ mm}^3} \\ \sigma_{max} &= 1,03 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- **Calculo a cortante de la viga**

Para realizar el cálculo a cortante se utiliza la Ecuación 1.4

$$F_v = \tau \cdot k_{cr} \cdot \frac{3\pi t \cdot (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)}{8(D_e^3 - (D_e - 2t)^3)}$$

Se reemplaza la Ecuación 1.1 en la Ecuación 1.4 se tiene que

$$F_v = \left( k_{mod} \cdot \frac{X_v}{n_v} \right) \cdot (k_{cr}) \cdot \left( \frac{3\pi t \cdot (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)}{8(D_e^3 - (D_e - 2t)^3)} \right)$$

Se reemplaza valores,  $F_v = 204,77 \text{ N}$

$$204,77 \text{ N} = \left( 0,55 \cdot \frac{3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{n_v} \right) \cdot (0,5) \cdot (1425,304536 \text{ mm}^2)$$

Se tiene como única incógnita el factor de seguridad a corte  $n_v$

$$n_v = 5,74$$

También se calcula el esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{max} = \frac{F_v \cdot 8(D_e^3 - (D_e - 2t)^3)}{3\pi t \cdot (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)} = 0,14 \text{ MPa}$$

Es muy común que se presenten fisuras longitudinales en los elementos de bambú debido a un mal tratamiento postcosecha y generalmente empiezan en los extremos de los elementos. Por este motivo, y para prevenir este tipo de falla, se utilizarán abrazaderas en los extremos de los elementos principales, como se muestra en la Figura 2.23



**Figura 2.23.** Uso de abrazaderas en extremos de la guadúa.

#### - Cálculo de la carga crítica de Euler

Se calcula mediante la Ecuación 1.12

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0,05} I}{l_e^2}$$

Se reemplaza valores

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 7500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2898119,223 \text{ mm}^4}{(2400 \text{ mm})^2}$$

La carga crítica donde se produce el pandeo es

$$P_{cr} = 37243,867 \text{ N}$$

De la resolución de la viga se tiene que la fuerzas que actúan sobre las columnas 1-2 y 3-4 son  $F_{c1-2} = 580,03 \text{ N}$  y  $F_{c3-4} = 204,77 \text{ N}$ . Entonces para las columnas 1-2 y 3-4 se tiene que la carga critica mayor que las fuerza que actúan sobre cada elemento por lo tanto no se dará el pandeo.

$$P_{cr} = 37243,867 \text{ N} \gg F_{c1-2}$$

$$P_{cr} = 37243,867 \text{ N} \gg F_{c3-4}$$

- **Calculo a compresión axial para las columnas**

Se determina primero longitud efectiva de la columna con la Ecuación 1.5.

$$l_e = kL$$

El coeficiente  $k$  se obtiene del ANEXO V

$$l_e = 2 \times 1,2$$

$$l_e = 2,4 \text{ m}$$

Se procede a calcular la esbeltez de la columna mediante la Ecuación 1.6

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

Para esto se calcula el radio de giro mediante la Ecuación 1.7

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2898119,223 \text{ mm}^4}{2827,43 \text{ mm}^2}} = 32,015 \text{ mm}$$

Con este valor se determina la esbeltez de la columna

$$\lambda = \frac{2400}{32,015} = 74,96$$

También se calcula el valor limite  $C_k$  mediante la Ecuación 1.8

$$C_k = \pi \sqrt{\frac{E_{0.05}}{n_c X_{c,o,d}}} = \pi \sqrt{\frac{7500 \text{ MPa}}{1,5 \cdot 20 \text{ MPa}}} = 49,67$$

Mediante la Tabla 1.6 y con base en los valores de  $C_k$  y  $\lambda$  se determina que las columnas 1-2 y 3-4 son largas

Para el caso de columnas largas se calcula la fuerza aplicada a compresión mediante la Ecuación 1.11.

$$F_C = 0.6 \frac{\pi^2 \cdot A \cdot E_{0.05}}{n_c \cdot \lambda^2}$$

En la Tabla 2.9 se presenta un resumen de resultados para las columnas 1-2 y 3-4

**Tabla 2.9.** Resumen resultados columnas 1-2 y 3-4.

	<b>Fuerza aplicada <math>F_C</math> [N]</b>	<b>Esfuerzo Normal <math>\sigma_C</math> [MPa]</b>	<b>Factor de seguridad <math>n_c</math></b>
<b>columna 1-2</b>	580,03	0,21	38,53
<b>columna 3-4</b>	204,77	0,07	109,13

## Cálculo de elementos mecánicos

### ➤ Especificación de materiales seleccionados

En la Tabla 2.10 se presentan las especificaciones de los materiales seleccionados para los diferentes elementos mecánicos.

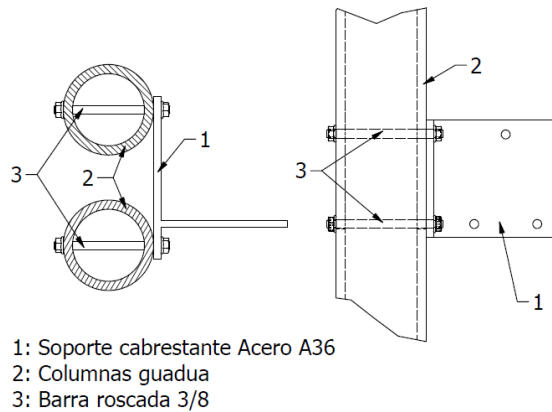
**Tabla 2.10.** Especificación de materiales seleccionados.

<b>Parte del dispositivo</b>	<b>Material utilizado</b>	<b>Características</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>
Soporte de polea Soporte de cabrestante	ASTM A36	Acero estructural que presenta buena soldabilidad. Utilizado para la fabricación de estructuras soldadas, estructuras remachadas, placas base de columnas.	$S_y = 250 \text{ Mpa}$ $S_u = 400 \text{ Mpa}$
Poleas Base nivelador Arandela tipo cuña	AISI 1018	Acero de cementación no aleado, utilizado en la construcción de piezas que trabajarán a desgaste	$S_y = 235 \text{ Mpa}$ $S_u = 410 \text{ MPa}$
Pasadores de poleas	AISI 4340	Acero bonificado Presenta alta resistencia a la flexión, torsión y tracción. Utilizado en elementos de maquinaria sometido a altos esfuerzos.	$S_y = 800 \text{ Mpa}$ $S_u = 1200 \text{ MPa}$

### ➤ Diseño de juntas empernadas

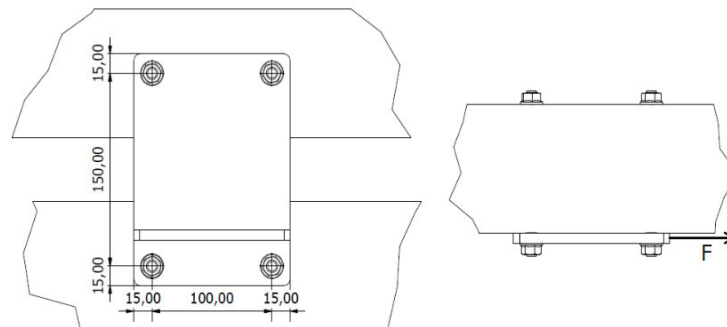
#### - Junta soporte cabrestante – columnas

En la Figura 2.24 se presenta un esquema para la junta empernada entre el soporte del cabrestante y las columnas de caña guadúa



**Figura 2.24.** Esquema de junta empernada soporte cabrestante - columnas.

El soporte para el cabrestante se construirá con placas de Acero A36 de espesor 8 mm ( $S_y = 250 \text{ Mpa}$  y  $S_u = 400 \text{ Mpa}$ ). Para los pasadores se utilizará barra roscada 3/8 SAE grado 2 con resistencia de prueba mínima  $S_p = 227.52 \text{ Mpa}$  y  $S_u = 60 \text{ Mpa}$ . Sobre el soporte actuará la fuerza que ejerce el cabrestante por medio del cable, en la Figura 2.25 se presenta la disposición de los pernos en la junta y las dimensiones generales.



**Figura 2.25.** Dimensiones de la junta soporte cabrestante - columnas.

Se comprueba el aplastamiento entre 1 y 3 (ver Figura 2.24) mediante la Ecuación 2.1 y se considera un factor de seguridad  $n = 2$

$$\sigma = \frac{R_T}{t \cdot D} \leq \frac{S_p}{n} \wedge \frac{S_y}{n}$$

**Ecuación 2.1.** Relación de aplastamiento [38].

Donde:

$t$  Espesor de la placa

$D$  Diámetro del perno

$$\sigma = \frac{784,8 \text{ N}}{4(8 \text{ mm})(9.525 \text{ mm})} = 2,57 \text{ MPa}$$



$$2,57 \text{ Mpa} \leq 113,76 \text{ MPa}$$

$$2,57 \text{ Mpa} \leq 125 \text{ MPa}$$

El esfuerzo obtenido es menor a los esfuerzos permisibles del pasador (113,76 MPa) y del material base (125 MPa), por lo tanto, no se dará el aplastamiento.

Se comprueba también el esfuerzo cortante al borde del elemento 1 que tiene una distancia mínima de 15 mm mediante la Ecuación 2.2.

$$\tau = \frac{R_T}{td} \leq 0,577 \frac{S_y}{n}$$

**Ecuación 2.2.** Esfuerzo cortante en el borde del elemento [38].

Donde:

$t$  Espesor de la placa

$d$  Distancia mínima al borde del elemento.

$$\tau = \frac{784,8 \text{ N}}{4(8\text{mm})(15\text{mm})} = 1,63 \text{ MPa}$$

$$1,63 \text{ Mpa} \leq 72,125 \text{ MPa}$$

Se comprueba el efecto cortante en los pernos mediante la Ecuación 2.3.

$$\tau = \frac{R_T}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq 0,577 \frac{S_p}{n}$$

**Ecuación 2.3.** Esfuerzo cortante del pasador [38].

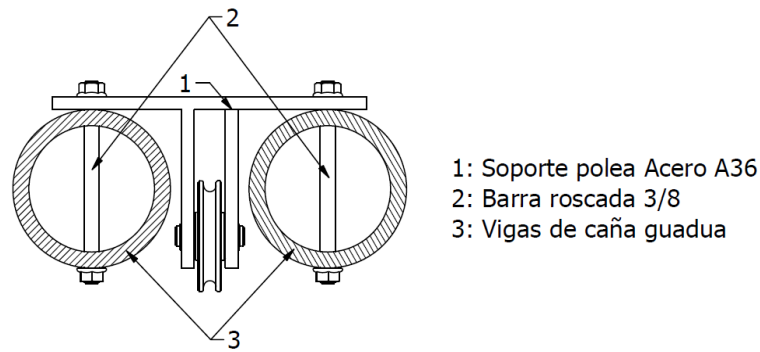
$$\tau = \frac{784,8 \text{ N}}{4 \frac{\pi (9,525 \text{ mm})^2}{4}} = 2,75 \text{ MPa}$$

$$2,75 \text{ MPa} \leq 65,63 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de corte es menor al esfuerzo permisible, por lo que no se producirá la falla por corte en los pernos.

#### - Junta soporte polea – vigas

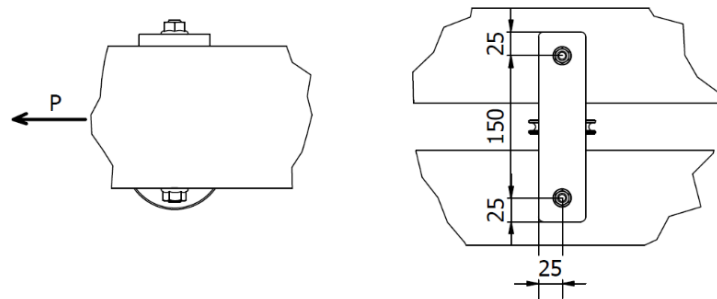
En la Figura 2.26 se presenta un esquema para la junta empernada entre el soporte de la polea y las vigas de caña guadúa.



1: Soporte polea Acero A36  
2: Barra roscada 3/8  
3: Vigas de caña guadua

**Figura 2.26.** Esquema de la junta emperrada soporte polea - vigas.

El soporte para la polea se construirá con placas de Acero A36 de espesor 8 mm ( $S_y = 250 \text{ Mpa}$  y  $S_u = 400 \text{ Mpa}$ ). Para los pasadores se utilizará barra roscada 3/8 SAE grado 2 con resistencia de prueba mínima  $S_p = 227.52 \text{ Mpa}$  y  $S_u = 60 \text{ Mpa}$ . Sobre el soporte actuará la fuerza de tensión del cable conducido por la polea, en la Figura 2.27 se presenta la disposición de los pernos en la junta y las dimensiones generales.



**Figura 2.27.** Dimensiones de la junta soporte de la polea - vigas.

Se comprueba el aplastamiento entre 1 y 2 (ver Figura 2.26) mediante la Ecuación 2.1 y se considera un un factor de seguridad  $n = 2$

$$\sigma = \frac{784,8 \text{ N}}{2(8 \text{ mm})(9.525 \text{ mm})} = 5,14 \text{ MPa}$$

$$5,14 \text{ Mpa} \leq 113,76 \text{ MPa}$$

$$5,14 \text{ Mpa} \leq 125 \text{ MPa}$$

Se comprueba también el esfuerzo cortante al borde del elemento 1 que tiene una distancia mínima de 25 mm mediante la Ecuación 2.2.

$$\tau = \frac{784,8 \text{ N}}{2(8 \text{ mm})(25 \text{ mm})} = 1,96 \text{ MPa}$$

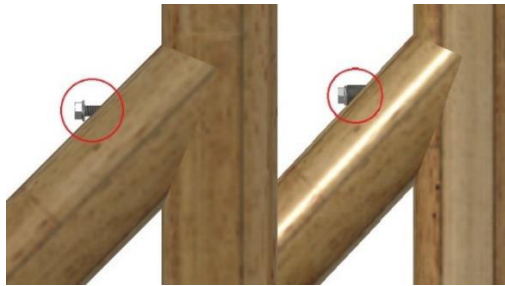
$$1,96 \text{ Mpa} \leq 72,125 \text{ MPa}$$

Se comprueba el efecto cortante en los pernos mediante la Ecuación 2.3.

$$\tau = \frac{784,8 \text{ N}}{2 \frac{\pi (9,525 \text{ mm})^2}{4}} = 5,5 \text{ MPa}$$

$$5,5 \text{ MPa} \leq 65,63 \text{ MPa}$$

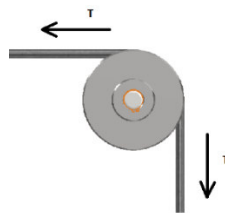
En ciertas uniones donde el perno no atraviesa perpendicularmente la guadúa, se presenta un problema al apretar las tuercas y fijar la unión, ya que como se presenta en la Figura 2.28, se produciría una deformación en la guadúa debido a que solo una parte de la tuerca estaría en contacto con la guadúa. Para evitar este problema, se utilizarán arandelas tipo cuña que se acoplen de mejor manera a la unión.



**Figura 2.28.** Uso de arandela tipo cuña para unión inclinada.

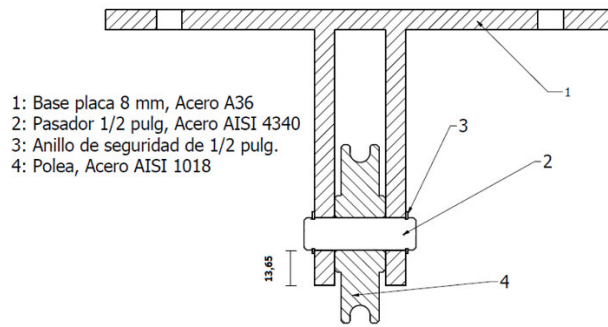
#### - **Diseño del pasador para las poleas**

Para el pasador se utilizará un elemento construido con acero AISI 4340 ( $S_y = 800 \text{ MPa}$  y  $S_u = 1200 \text{ MPa}$ ). La longitud del pasador será de 50 mm, en la Figura 2.29 se presenta las fuerzas de tensión que actúan en el cable conducido por la polea.



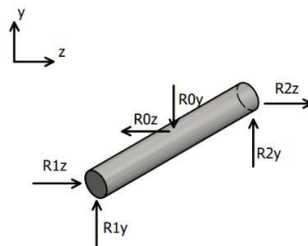
**Figura 2.29.** Fuerzas de tensión presentes en el cable.

En conjunto el pasador trabajará con una polea construida con Acero AISI 1018 ( $S_y = 235 \text{ MPa}$  y  $S_u = 410 \text{ MPa}$ ) y una base construida con placas de espesor 8 mm de Acero A36 ( $S_y = 250 \text{ MPa}$  y  $S_u = 400 \text{ MPa}$ ). El conjunto trabajará con un ajuste móvil entre el pasador, la polea y la placas soporte, en la Figura 2.30 se presenta un esquema del conjunto.



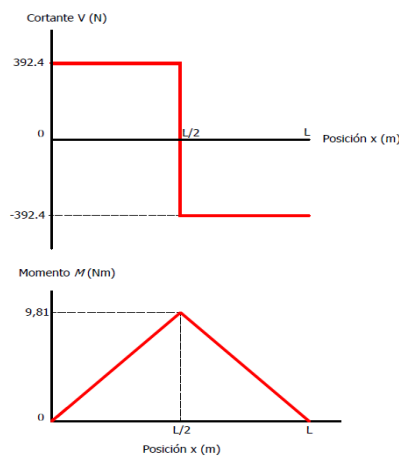
**Figura 2.30.** Esquema del sistema polea - pasador.

En la Figura 2.31 presenta el diagrama de cuerpo libre para el pasador para poder determinar la fuerza resultante en el pasador.



**Figura 2.31.** Diagrama de cuerpo libre pasador.

Las fuerzas  $R_{0z}$  y  $R_{0y}$  tienen la misma magnitud ya que resultan de las tensiones  $T$  en el cable conducido por la polea. En la Figura 2.32 se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flector del pasador igual para planos  $xy$  y  $xz$



**Figura 2.32.** Diagrama de momento flector y fuerza cortante del pasador planos  $xy$  y  $xz$ .

Como existe un momento en dos planos se determina el momento máximo.

$$M_{max} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2} = 13,873 \text{ N.m}$$

Mediante la Ecuación 2.4 se determina el diámetro mínimo del pasador un factor de seguridad  $n = 2$

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot c}{I}$$

**Ecuación 2.4.** Esfuerzo por flexión.

Donde:

$\sigma$  Esfuerzo por flexión

$M_{max}$  Momento máximo en el elemento

$c$  Distancia desde el eje neutro hasta donde se determina el esfuerzo.

$I$  Inercia del pasador

$$\frac{\sigma_{max}}{n} = \frac{M_{max} \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}$$

Considerando que el Acero AISI 4340 tiene un  $S_y = 800 \text{ Mpa}$ , se reemplaza valores y se despeja el diámetro del pasador.

$$d = \sqrt[3]{\frac{(13873,435 \text{ N.m})32}{\pi \cdot 400 \text{ MPa}}}$$

$$d = 7,07 \text{ mm}$$

Se obtiene un diámetro mínimo de 7.07 mm sin embargo se utilizará un eje de ½ pulgada o 12,7 mm de diámetro. Con este valor definido a continuación se comprueba el efecto de corte y aplastamiento.

La tensión en el cable corresponde a la carga  $P = 784,8 \text{ N}$  del paciente, con las fuerzas  $R_{0z}$  y  $R_{0y}$  (ver Figura 2.31) se obtiene la fuerza  $R_T$  resultante en el pasador.

$$R_T = \sqrt{R_{0z}^2 + R_{0y}^2} = \sqrt{784,8^2 + 784,8^2} = 1109,87 \text{ N}$$

A continuación, se comprueba el aplastamiento entre 1 y 2 (ver Figura 2.30) tomando en cuenta la acción de la fuerza  $R_T$ , se utiliza la Ecuación 2.1. y un factor de seguridad  $n = 2$

$$\sigma = \frac{1109,87 \text{ N}}{2(8 \text{ mm})(12,7 \text{ mm})} = 5,46 \text{ MPa}$$

$$5,46 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ MPa}$$

$$5,46 \text{ Mpa} \leq 125 \text{ MPa}$$

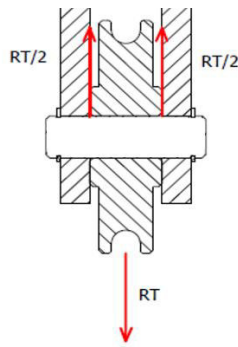
El esfuerzo obtenido es menor a los esfuerzos permisibles del pasador (400 MPa) y del material base (125 MPa), por lo tanto, no se dará el aplastamiento.

Se calcula también el esfuerzo cortante en el borde del elemento 1 que tiene una distancia mínima de 13,65 mm mediante la Ecuación 2.2.

$$\tau = \frac{1109,87 \text{ N}}{2(8\text{mm})(13,65\text{mm})} = 5,08 \text{ MPa}$$

$$5,08 \text{ Mpa} \leq 72,125 \text{ MPa}$$

Ahora se comprueba el efecto cortante doble entre el pasador y la polea como se muestra en la Figura 2.33.



**Figura 2.33.** Efecto de cortante doble en el pasador.

Para esto se utiliza la Ecuación 2.3.

$$\tau = \frac{1109,87 \text{ N}}{2 \frac{\pi (12,7 \text{ mm})^2}{4}} = 4,38 \text{ MPa}$$

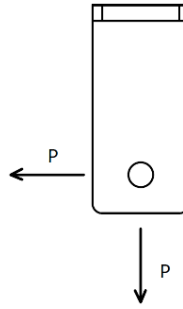
$$4,38 \text{ MPa} \leq 230,8 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de corte es menor al esfuerzo permisible, por lo que no se producirá la falla por corte en el pasador que se utilizará.

### ➤ **Diseño de uniones soldadas**

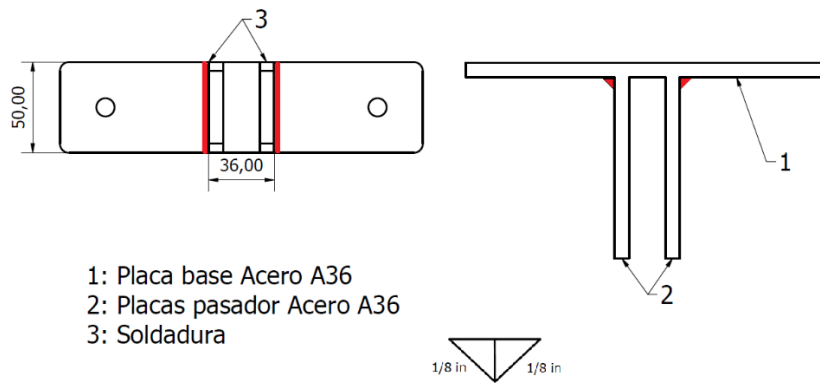
#### - **Unión del soporte de la polea**

Las cargas que actúan sobre la unión soldada del soporte de la polea serán determinadas con base en las fuerzas que actúan sobre la polea, ya que estas se transmiten por medio del pasador. En la Figura 2.34 se muestra las fuerzas que transmite el pasador al soporte de la polea.



**Figura 2.34.** Fuerza actuantes sobre el soporte de la polea.

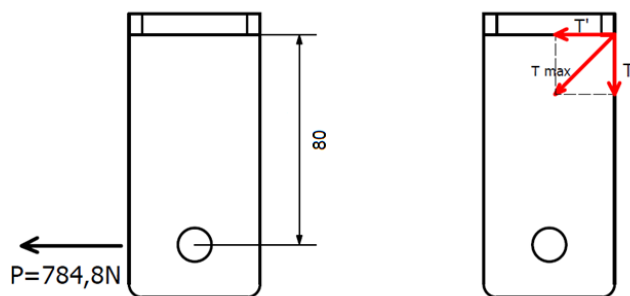
En la Figura 2.35 se presenta el esquema de soldadura para el soporte de la polea.



**Figura 2.35.** Esquema de soldadura del soporte de la polea.

Para Los soportes de las poleas se utilizará placas de 8 mm de espesor de acero ASTM A36, que tiene un  $S_y = 250 MPa$  y un  $S_u = 400 MPa$  y se utilizará un electrodo E6011 que tiene un  $S_y = 345 MPa$  y un  $S_u = 427 MPa$ . Se considera una garganta  $h = 3,175 mm$  (1/8 pulg) con base en la tabla 9-6 presentada en el ANEXO VII, para este caso la longitud del cordón será de 50 mm en cada placa,

Se calcula el  $\tau_{max}$  de la soldadura, para esto en la Figura 2.36 se presenta el diagrama de cuerpo libre de la unión.



**Figura 2.36.** Diagrama de cuerpo libre para el soporte de la polea.

El esfuerzo cortante primario  $\tau'$  en la soldadura se calcula mediante la Ecuación 2.5.

$$\tau' = \frac{P}{0,707h2l_c}$$

**Ecuación 2.5.** Esfuerzo cortante directo en la soldadura [38].

Donde:

- $\tau'$  Esfuerzo cortante primario
- $P$  Carga aplicada en la soldadura
- $h$  Garganta de la soldadura
- $l_c$  Longitud de la soldadura

Entonces

$$\tau' = \frac{784.8 N}{1,41 \cdot 3.175 mm \cdot 2 \cdot 50 mm} = 1,75 MPa$$

El esfuerzo cortante nominal  $\tau''$  en la soldadura se calcula mediante la Ecuación 2.6

$$\tau'' = \frac{Mc}{I}$$

**Ecuación 2.6.** Esfuerzo cortante nominal en la soldadura [38].

Donde:

- $\tau''$  Esfuerzo cortante nominal.
- $M$  Momento flector
- $c$  Centroide de la junta (ver ANEXO VIII)
- $I$  Momento de inercia de la junta (ver ANEXO VIII)

Entonces

$$\tau'' = \frac{(784,8N \cdot 80mm) \cdot \left(\frac{50mm}{2}\right)}{(0,707 \cdot 3,175mm) \cdot \left(\frac{(50mm)^3}{6}\right)} = 33,56 MPa$$

Se calcula el esfuerzo cortante máximo  $\tau_{max}$

$$\tau_{max} = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{1,75^2 + 33,56^2} = 33,6 MPa$$

Se calcula el factor de seguridad



$$n = \frac{0.577 S_y}{\tau_{max}} = \frac{0.577(345)}{33,6} = 5,92$$

En la tabla 9-4 presentada en el ANEXO IX, el esfuerzo permisible cortante para soldadura de filete esta dado por  $\tau_{perm} = 0.3S_u$  del material de aporte. Se tiene entonces que  $\tau_{perm} = 0,3 \cdot 427 = 128,1 MPa$ , si se comparan las resistencias permisibles con las calculadas anteriormente se observa que

$$\tau_{perm} > \tau_{max}$$

$$128,1 MPa > 33,6 MPa$$

Según esta comparación, el material de aporte utilizado es aceptable ya que los esfuerzos que experimenta la soldadura son menores a los esfuerzos permisibles del material de aporte.

También en la tabla 9-4 de [38] ANEXO IX, se establece que el esfuerzo cortante en el material base no debe exceder a  $0.4S_y$  del material base. Se tiene entonces que  $\tau_{permMB} = 0,4 \cdot 250 = 100 MPa$ , si se comparan las resistencias permisibles con las calculadas anteriormente se observa que

$$100 MPa > 33,6 MPa$$

El diseño de la unión soldada es aceptable debido que el esfuerzo que experimenta la soldadura es menor al esfuerzo permisible del material base.

Como se muestra en la Figura 2.34 la fuerza vertical  $P = 784,8 N$ , produce también un esfuerzo a tracción en la soldadura.

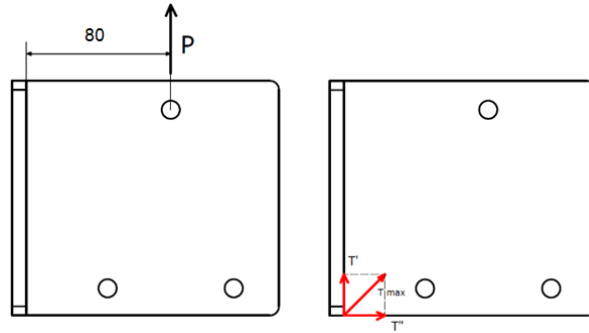
$$\sigma = \frac{F}{2hl} = \frac{784.8 N}{2 \cdot 50 mm \cdot 3.175 mm} = 2.11 MPa$$

En la tabla 9-4 de [38] ANEXO IX, se establece que el esfuerzo permisible a tracción esta dado por  $\sigma_{perm} = 0.6S_y$  del material de aporte, entonces se tiene que.

$$207 MPa > 2.11 MPa$$

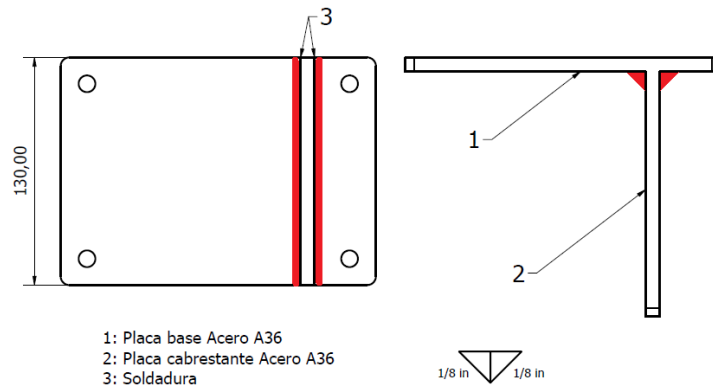
#### - Unión de soporte para el cabrestante

En la Figura 2.37 se presenta el esquema de soldadura en el soporte del cabrestante.



**Figura 2.37.** Diagrama de cuerpo libre para el soporte del cabrestante.

En este soporte se fijará el cabrestante manual y la fuerza  $P = 784,8 \text{ N}$  será la tensión producto del peso del paciente y se transmitirá por el cable de acero. Para el soporte del cabrestante se utilizará placa de acero ASTM A36, que tiene un  $S_y = 250 \text{ MPa}$  y un  $S_u = 400 \text{ MPa}$  y se utilizará un electrodo E6011 que tiene un  $S_y = 345 \text{ MPa}$  y un  $S_u = 427 \text{ MPa}$ . En la Figura 2.38 se presenta el esquema de soldadura para el soporte del cabrestante.



**Figura 2.38.** Esquema de soldadura del soporte del cabrestante.

Se considera una garganta  $h = 3,175 \text{ mm}$  (1/8 pulg) con base en la tabla 9-6 presentada en el ANEXO VII. Para este caso la soldadura se aplicará a ambos lados de la placa, teniendo así una longitud de soldadura  $l_c = 130 \text{ mm}$  en cada lado de la placa, como se muestra en la Figura 2.38.

Se calcula el esfuerzo cortante directo  $\tau'$  mediante la Ecuación 2.5.

$$\tau' = \frac{784.8 \text{ N}}{1,41 \cdot 3,175 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 130 \text{ mm}} = 0,67 \text{ MPa}$$

Ahora se calcula el esfuerzo cortante nominal  $\tau''$  mediante la Ecuación 2.6.

$$\tau'' = \frac{(784,8N \cdot 80mm) \cdot \left(\frac{130mm}{2}\right)}{(0,707 \cdot 3,175mm) \cdot \left(\frac{(130mm)^3}{6}\right)} = 4,96 MPa$$

Se determina el esfuerzo cortante máximo  $\tau_{max}$

$$\tau_{max} = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{1,67^2 + 4,96^2} = 5 MPa$$

Se calcula el factor de seguridad

$$n = \frac{0.577 S_y}{\tau_{max}} = \frac{0.577(345)}{5} = 39,81$$

En la tabla 9-4 presentada en el ANEXO IX, el esfuerzo permisible cortante para soldadura de filete esta dado por  $\tau_{perm} = 0.3S_u$  del material de aporte. Se tiene entonces que  $\tau_{perm} = 0,3 \cdot 427 = 128,1 MPa$ , si se comparan las resistencias permisibles con las calculadas anteriormente se observa que

$$\tau_{perm} > \tau_{max}$$

$$128,1 MPa > 5 MPa$$

Según esta comparación, el material de aporte utilizado es aceptable ya que los esfuerzos que experimenta la soldadura son menores a los esfuerzos permisibles del material de aporte.

También en la tabla 9-4 de [38] ANEXO IX, se establece que el esfuerzo cortante en el material base no debe exceder a  $0.4S_y$  del material base. Se tiene entonces que  $\tau_{permMB} = 0,4 \cdot 250 = 100 MPa$ , si se comparan las resistencias permisibles con las calculadas anteriormente se observa que.

$$100 MPa > 5 MPa$$

El diseño de la unión soldada es aceptable debido que el esfuerzo que experimenta la soldadura es menor al esfuerzo permisible del material base.

## 2.4 Complemento de simulación

La simulación por elementos finitos se realizó por medio del software Ansys Mechanical. Inicialmente se realizó el modelamiento del sistema por medio del software Autodesk Inventor y se importó el modelo en formato step para que todos los detalles puedan ser reconocidos en Ansys. Los resultados de la simulación se presentan en el ANEXO X.

Para el análisis de la estructura, en la imagen (a) se indica las fuerzas, momentos y restricciones aplicados al sistema. Se definen entonces, 2 fuerzas puntuales en cada viga de  $392.4\text{ N}$  así como 2 momentos de  $11,77\text{ Nm}$ , también se define un momento en cada columna de  $54,15\text{ Nm}$ . Se definen también, seis apoyos simples según el modelo presentado en la solución virtual. Las conexiones entre elementos se configuraron para transmitir momento, evitando que la estructura actúe como un solo cuerpo rígido. En la imagen (b) se muestran las configuración para la malla utilizada y un acercamiento a la estructura para apreciar el mallado, se tiene entonces 37107 nodos y 18558 elementos con tamaño de 1mm.

Como resultados se presentan la deformación del elemento, la fuerza axial en cada elemento, el esfuerzo equivalente de Von-Mises, momento y fuerza cortante en la viga, así como el esfuerzo normal y cortante en la viga. Adicional a esto se presenta las reacciones en cada apoyo de la estructura.

De acuerdo con el análisis de esfuerzos realizado, el esfuerzo de flexión máximo para la viga fue de  $\sigma_{max} = 1,03\text{ MPa}$ , en la imagen (e) se aprecia que el esfuerzo de flexión máximo en la viga es de  $1,44\text{ MPa}$ . El esfuerzo normal máximo calculado en la columna 1-2 fue  $\sigma_c = 0,21\text{ MPa}$ , en la imagen (h) se aprecia que el esfuerzo máximo  $0,88\text{ MPa}$ .

En cuanto a los soportes de las poleas en la imagen (j) se muestra los elementos mallados y en la imagen (k) se presenta la configuración de la malla. La malla utilizada es Jacobian Ratio, para el mallado del soporte central se tiene 290629 nodos y 78599 elementos, ya para el mallado del soporte al extremo se tiene 297239 nodos y 103889 elementos. En estos puntos específicos se utilizó la geometría completa del modelo y se importaron las condiciones de borde de la estructura. Se aplicaron las fuerzas actuantes en los pasadores de  $784,8\text{ N}$ , producto de las tensiones en cable de acero.

Como resultado se presentan la deformación del elemento, el esfuerzo equivalente de Von-Mises y el esfuerzo cortante máximo en la soldadura. Del diseño de la unión soldada para el soporte de la polea, el esfuerzo cortante máximo fue  $\tau_{max} = 33,6\text{ MPa}$ , en la imagen (n) se aprecia que los esfuerzos máximos fueron  $30,27\text{ MPa}$  para el soporte de la polea central y  $29,99\text{ MPa}$  para el soporte de la polea ubicada en el extremo de la viga.

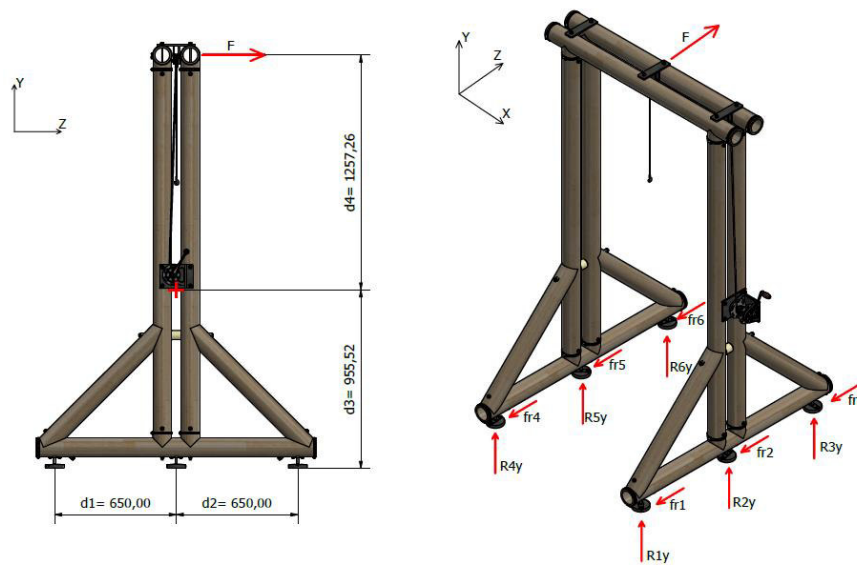
Para el soporte del cabrestante fijado a las columnas de la estructura, en la imagen (o) se presenta el elemento mallado y en la imagen (p) se muestra la configuración de la malla utilizada. Se utiliza Jacobian Ratio en la malla, tiene 240479 nodos y 45620 elementos. Al igual que en los soportes de las poleas, en este soporte se utilizó la geometría completa

del modelo y se importó las condiciones de borde de la estructura. Se aplicó una fuerza de  $784,8\text{ N}$  como se indica en la imagen (q).

Como resultado se presentan la deformación del elemento, el esfuerzo equivalente de Von-Mises y el esfuerzo cortante máximo en la soldadura. Del diseño de la junta soldada para el soporte del cabrestante, se tiene que el esfuerzo cortante máximo en la soldadura fue de  $\tau_{max} = 5\text{ MPa}$ , en la imagen (t) se aprecia que el esfuerzo máximo de corte para la soldadura fue de  $5,51\text{ MPa}$ .

### Análisis de volcamiento

El análisis de volcamiento se analizará con respecto al eje z, que es la dirección donde actúa la fuerza producida por la marcha del paciente. En la Figura 2.39 se observa un esquema de las distancias de los apoyos y la fuerza con respecto al centro de gravedad del sistema y un diagrama de cuerpo libre en perspectiva.



**Figura 2.39.** a) Distancias de los apoyos y fuerza  $F$  con respecto al centro de gravedad b) Diagrama de cuerpo libre en perspectiva.

La fuerza  $F$  actúa a la altura de la polea y se transmite por el cable de acero asegurado al arnés del paciente. En este análisis se determinará la fuerza  $F$  que produciría el volcamiento.

Como datos de entrada se tiene que

$$\begin{array}{lll}
 R_{1y} = 192,83\text{ N} & R_{2y} = 693,08\text{ N} & R_{3y} = 192,83\text{ N} \\
 R_{4y} = 85,31\text{ N} & R_{5y} = 320,23\text{ N} & R_{6y} = 85,31\text{ N} \\
 d_1 = d_2 = 650\text{ mm} & d_3 = 955,52\text{ mm} & d_4 = 1257,26\text{ mm}
 \end{array}$$

Coefficiente de fricción para el neopreno  $\mu = 0,7$

Se realiza una sumatoria de momentos con respecto al centro de gravedad de la estructura

$$\sum M_{GZ} = 0$$

$$(R1_y \cdot d_1) - (R3_y \cdot d_2) + (R4_y \cdot d_1) - (R6_y \cdot d_2) - (f_{r1} \cdot d_3) - (f_{r2} \cdot d_3) - (f_{r3} \cdot d_3) \\ - (f_{r4} \cdot d_3) - (f_{r5} \cdot d_3) - (f_{r6} \cdot d_3) + (F \cdot d_4) = 0$$

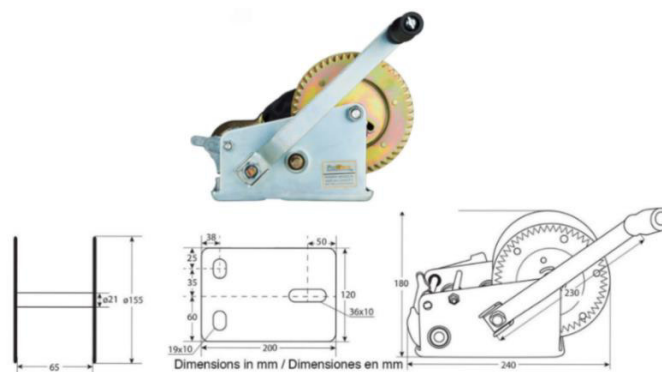
$$F = 835,02 \text{ N}$$

Es necesario aplicar una fuerza mayor a  $835,02 \text{ N}$  para que se produzca el volcamiento en la estructura.

## 2.5 Selección de componentes

### ➤ Selección de cabrestante de manivela

En la Figura 2.40 se presenta el cabrestante de manivela seleccionado.



**Figura 2.40.** Cabrestante de manivela seleccionado [39].

El cabrestante seleccionado es de la marca Prowinch, tiene un capacidad de carga de 1360 kg, la relación de engranajes es 5,1:1, pesa 6 kg e incluye 10 m de cable de acero de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. La carga que va a soportar el cabrestante es la del paciente  $P = 784,8 \text{ N} \rightarrow 80 \text{ kg}$ . Por lo que la capacidad del cabrestante seleccionado es suficiente para soportar el peso del paciente. La marca ProWinch es la única que da información sobre las dimensiones generales sistema, así como el esquema de perforaciones de para el anclaje y debido a que el sistema no se va a construir es necesario tener la mayor cantidad de información, por este motivo se seleccionó un cabrestante de tanta capacidad en comparación a la carga que va a soportar, en el ANEXO XI se presenta la tabla de especificaciones del cabrestante seleccionado.

### ➤ Selección de niveladores

Tomando en cuenta que la caña guadúa no es uniforme debido a las uniones entre culmos, se utilizarán niveladores antideslizantes para poder cubrir la irregularidad del material. En la Figura 2.41 se presenta el nivelador seleccionado de la marca INAHER. En el ANEXO XII se presentan las características para este nivelador. El fabricante especifica que el nivelador tiene una capacidad de carga estática de  $1471,5 N$ , considerando que la máxima reacción en los apoyos es  $R_{2,y} = 693,08 N$  (ver Figura 2.39), el nivelador seleccionado satisface el requerimiento de carga.



**Figura 2.41.** Nivelador industrial antideslizante Inaher [40].

### ➤ Selección del arnés de seguridad

El arnés de seguridad es uno de los elementos más importantes, ya que mediante este el paciente podrá ser asegurado al sistema. Se seleccionó este arnés debido a la disponibilidad en el país y la capacidad de carga. En el ANEXO XIII se presenta las características del arnés seleccionado.

## 2.6 Análisis de costos

El análisis de costos es imprescindible en un proyecto de diseño ya que permite determinar si el proyecto es viable. A continuación, presenta un estudio de los costos para cada uno de los módulos propuestos en la metodología del proyecto. Se consideran los costos de elementos normalizados, costos de material y costos de fabricación.

### Costo Módulo 1

Para el módulo 1 que consiste en asegurar el paciente al sistema se presenta la Tabla 2.11.

**Tabla 2.11.** Costo de elementos normalizados - Módulo 1.

Elemento	Especificación	Cantidad (u)	Costo unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Arnés de seguridad Truper	ANSI Z359.11 EN 361	1	60	60
<b>Total</b>				<b>60</b>

El costo total del Módulo 1 es \$ 60 ya que solo existe un elemento normalizado.

## Costo Módulo 2

Para el módulo 2 que consiste en el mecanismo para elevar al paciente se presenta la Tabla 2.12 hasta Tabla 2.15.

**Tabla 2.12.** Costo de elementos normalizados - Módulo 2.

Elemento	Especificación	Cantidad (u)	Costo unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Cabrestante con manivela ProWinch	ISO 9001	1	41,17	41,17
<b>Total</b>				41,17

**Tabla 2.13.** Costo de materiales - Módulo 2.

Elemento	Material	Descripción	Cantidad (u)	Cantidad (kg)	Costo unitario (\$/kg)	Costo total (\$)
Soporte Cabrestante	Acero A 36	Plancha 180 x 130 x 8 mm	1	1,47	1,57	3,31
		Plancha 140 x 130 x 8 mm	1	1,14		1,79
Soporte poleas	Acero A 36	Plancha 250 x 50 x 8 mm	2	0,785	1,57	2,46
		Plancha 100 x 50 x 8 mm	4	0,314		1,97
Pasador poleas	Acero AISI 4340	∅ 1/2 pulg; L= 60 mm	2	0,23	3,89	1,79
Poleas	Acero AISI 1018	∅ 3 pulg; L=20 mm	2	0,715	1,53	2,19
<b>Total</b>						13,51

**Tabla 2.14.** Costo e mano de obra - Modulo 2

Elemento	Proceso								Costo total (\$)
	Soldadura		Torneado		Fresado		Taladrado		
	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	
Soporte cabrestante	0,5	10			0,5	20	0,5	5	17,5



Soporte polea	0,5	10			1	20	0,6	5	28
Polea			1,5	15					22,5
Pasador polea			0,5	15					7,5
<b>Total</b>									75,5

**Tabla 2.15.** Costo total - Módulo 2

<b>Costo de elementos normalizados (\$)</b>	41,17
<b>Costo de materiales (\$)</b>	13,51
<b>Costo de fabricación (\$)</b>	75,5
<b>Total (\$)</b>	130,18

### Costo Módulo 3

Para el módulo 3 que consiste en la estructura como tal, se presenta la Tabla 2.16 hasta Tabla 2.19.

**Tabla 2.16.** Costo de elementos normalizados - Módulo 3.

Elemento	Especificación	Cantidad (u)	Costo unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Barra roscada 3/8 x 400 mm	SAE GRADO 2	2	0,69	1,38
Barra roscada 3/8 x 300 mm	SAE GRADO 2	4	0,51	2,04
<sup>2</sup> Barra roscada 3/8 x 150 mm	SAE GRADO 2	14	0,25	3,5
Tuercas 3/8	SAE GRADO 2	48	0,06	2,88
Nivelador antideslizante		6	3,5	21
Tornillo autorroscante para madera M6 x30	SAE GRADO 2	12	0,05	0,6
Abrazadera de tornillo 3 1/16" a 4"		16	0,93	14,88
<b>Total</b>				46,28

**Tabla 2.17.** Costo de materiales - Módulo 3.

Elemento	Materia l	Descripción	Cantida d (u)	Cantida d (kg)	Costo unitario (\$/kg)	Costo total (\$)
Estructura	GaK	∅ 100 mm; L= 3 m	7	6,363	0,550055	24,5
Perno tipo gancho	Acero AISI 1018	∅ 3/8 pulg; L= 250 mm	8	0,14	1,53	1,71

Arandela tipo cuña	Acero AISI 1018	∅ 7/8 pulg; L=20 mm	8	0,197	1,53	2,41
Base nivelador	Acero A 36	Placa 70 x 20 x 16 mm	6	0,175	1,57	1,64
Espaciador	Nylon	∅ 2 pulg; L=50 mm	2	0.112	16,78	3,75
<b>Total</b>						34,01

**Tabla 2.18.** Costo de fabricación - Módulo 3.

Elemento	Proceso						Costo total (\$)
	Torneado		Fresado		Taladrado		
	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	
Estructura			2	20	3	5	55
Varilla roscada con gancho	1,5	15					22,5
Arandela tipo cuña	0,5	15	0,25	20			12,5
Base nivelador			1,5	20			30
Espaciador	0,25	15					3,75
<b>Total</b>							123,75

**Tabla 2.19.** Costo total - Módulo 3

<b>Costo de elementos normalizados (\$)</b>	46,28
<b>Costo de materiales (\$)</b>	34,01
<b>Costo de fabricación (\$)</b>	123,75
<b>Total (\$)</b>	204,04

### Costo total de la máquina

Para determinar el costo total de la máquina se suman los costos totales de cada módulo. El sistema no se construirá sin embargo para tener un costo real, se considerará los costos indirectos, costos de montaje, costos frente a imprevistos y los costos de diseño dando un total de \$ 695,97 para la construcción del sistema de suspensión corporal, como se observa en la Tabla 2.20.

**Tabla 2.20.** Costo total de la máquina.

Total, Módulo 1	60
Total, Módulo 2	130,18
Total, Módulo 3	214,04
<b>Subtotal (\$)</b>	404,22
Costos Indirectos (10%)	40,42
Costos De Montaje (10%)	40,42
Costos Imprevistos (15%)	60,63
Costos De Diseño (15%)	60,63
<b>Total (\$)</b>	606,32

Los planos de conjunto, subconjunto y de taller se presentan en el ANEXO XIV.




### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección del documento se analizan los resultados obtenidos del dimensionamiento y selección de componentes para el sistema. Además, se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó con el desarrollo del proyecto.

#### 3.1 Resultados

El sistema diseñado permitirá suspender a una persona que presenta un trastorno motor con afección en las extremidades inferiores, posibilitando la rehabilitación física sobre una caminadora. En la Tabla 3.1 se muestra una comparación de las características principales entre el modelo propuesto y los sistemas disponibles en el mercado actual. También se presenta la tabla Tabla 3.2, donde se comparan los resultados obtenidos de la simulación.

**Tabla 3.1.** Comparación de características principales entre el modelo propuesto y los sistemas en el mercado.

Sistema		Dimensiones generales [cm]	Mecanismo de elevación	Capacidad [kg]	Peso aproximado [kg]
Modelo propuesto		220 x 140 x 150	Cabrestante manual	80	52
NxStep Unweighing System		244 x 122 x 121	Motor eléctrico	189	125
PneuWeight Unweighing System		264 x 121 x 121	Compresor de aire	163	82

**Tabla 3.2.** Resultados y error obtenidos de la simulación.

	<b>Cálculos</b>	<b>Simulación</b>	<b>Error %</b>
<b>Esfuerzo a flexión en la viga [MPa]</b>	1,04	1,44	27,78
<b>Esfuerzo normal en la columna [MPa]</b>	0,21	0,88	76,14
<b>Esfuerzo cortante máximo soldadura soporte polea central [MPa]</b>	33,6	30,27	11,00
<b>Esfuerzo cortante máximo soldadura soporte polea extremo [MPa]</b>	33,6	29,99	12,04
<b>Esfuerzo cortante máximo soldadura soporte cabrestante [MPa]</b>	5	5,51	9,26

Se obtuvieron dimensiones generales de 220 x 140 x 150 cm, estas fueron definidas en función de la estatura promedio de los ecuatorianos y el espacio necesario para poder utilizar una caminadora en la base de la caminadora. En comparación con los sistemas actuales el modelo propuesto presenta mayor área en su base y menor altura.

En cuanto a la capacidad del sistema se definió en 80 kg con base en la estadística de sobrepeso en la población adulta en Ecuador. Haciendo una comparación, los sistemas disponibles en el mercado presentan más del doble de la capacidad del sistema diseñado.

En referencia al peso del sistema, se obtuvo un peso aproximado de 52 kg. Así se tiene que, el modelo propuesto pesa 39% menos que el sistema PneuWeight Unweighting System y 60% menos que el sistema NxStep Unweighting System, presentando una ventaja en cuanto facilidad en el traslado del sistema de un lugar a otro.

Cabe mencionar que para el dimensionamiento de la estructura se realizó un proceso inverso al convencional. Primero se definió el uso de caña guadúa de diámetro 100 mm y espesor 10 mm, luego con base en la capacidad del sistema y las dimensiones de la guadúa se determinaron los factores de seguridad. Por este motivo el rango de factores obtenidos para los elementos de guadúa va de 5,74 en la viga a 109,13 en la columna. Estos valores son mayores a los establecidos en las características técnicas (ver Tabla 2.2). Adicional a esto hay que comentar que todos los factores de seguridad obtenidos del diseño de la estructura son mayores a 1,5; que es el valor recomendado (ver Tabla 1.4) para el diseño de elementos estructurales de guadúa.

Con respecto al dimensionamiento de la estructura, fue un acierto el uso de las ecuaciones de diseño y valores obtenidos de los artículos 3 y 4 del trabajo “ Structural use of bamboo” [24], [25] ya que estas permiten determinar los factores de seguridad propios para cada tipo de esfuerzo en los elementos de guadúa. A diferencia de la ecuaciones establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción para estructuras de guadúa [23], en las cuales se utiliza esfuerzos admisibles con factores de seguridad ya establecidos.

El uso del cabrestante como mecanismo de elevación facilita el mantenimiento debido a que es un sistema manual, no requiere el uso de energía eléctrica ni neumática como es el caso de los sistemas comparados. Cabe mencionar que la velocidad con la que se eleve o baje al paciente depende del movimiento aplicado en la manivela del cabrestante.

Para trabajar en conjunto con el cabrestante, se seleccionó un arnés de seguridad convencional con puntos de anclaje en la zona dorsal de la columna vertebral y en los hombros. El arnés seleccionado tiene un precio de 60 USD y el arnés ortopédico ronda los 600 USD. Si se compara, el arnés seleccionado presenta desventajas en cuanto a comodidad, pero en cuanto al precio el arnés ortopédico es 10 veces más costoso.

Inicialmente se propuso el uso de ruedas en el modelo a manera de un andador para poder realizar rehabilitación sin una caminadora, sin embargo, se descartó esta opción ya que en una casa normal no existe espacio suficiente para darle este uso. Por este motivo se estableció que el sistema trabajará fijo sobre una caminadora y se resolvió el uso de niveladores antideslizantes que trabajan en conjunto con una base empernada a la estructura como se muestra en la Figura 3.1, esto con el fin de compensar las irregularidades de la caña guadúa y de la superficie en la que se apoya.



**Figura 3.1.** Uso de niveladores en la base de la estructura.

En cuanto a elementos de unión, se resolvió el uso de pernos en todos los nodos. En las uniones en las que el perno no atraviesa perpendicularmente la caña guadúa se propuso el uso de arandelas tipo cuña que permiten fijar de mejor manera el perno (ver Figura 2.28). Si bien las conexiones entre elementos con pernos funcionan para esta aplicación, es

importante mencionar que existen otros tipos de conexiones denominadas flexibles (ver Figura 1.6 y Figura 1.9), que permiten reducir el peso de las estructuras y los costos.

También se propuso el uso de abrazaderas en los extremos de los elementos principales de la estructura para evitar la propagación de fisuras longitudinales (ver Figura 2.23).

De los resultados de la simulación presentados en la Tabla 3.2, se tiene que, para la estructura, en el esfuerzo de flexión se obtuvo un error del 27,78% y para el esfuerzo normal en las columnas se obtuvo un error de 76,14%. Es posible que la variación en los resultados se deba al análisis realizado, ya que para los cálculos se simplificó el análisis al tratar por separado los elementos de la estructura. Mientras que en la simulación se analizó la estructura completa, importando todos los detalles de la geometría del modelo. Si bien el error es considerable, los esfuerzos obtenidos en toda la estructura son muy bajos en comparación a la resistencia del bambú.

En cuanto a la simulación de esfuerzos en los soportes para las poleas y cabrestante, se obtuvo resultados muy parecidos a los calculados, obteniendo un error máximo de 12,06 % en el esfuerzo de corte en la soldadura para el soporte de la polea en el extremo de la viga.

Para los costos se analizó de manera separada el costo de los elementos normalizados, costo de materiales y costo de la mano de obra para cada módulo del sistema. Para obtener el costo total del sistema se sumó el costo individual de cada módulo, adicional a esto se consideró el 10% de costos indirectos, 10% de costo de montaje, 15% costos imprevistos y 15% de costos de diseño dando un total de 606,32 USD. Los sistemas en el mercado estudiados en el primer capítulo varían su precio de 7300 a 8700 USD. De esta forma, sistema diseñado presenta limitaciones en cuanto a comodidad y automatización, sin embargo, resulta más barato que los sistemas que ofrece el mercado actual.

## **3.2 Conclusiones**

Se diseñó y simuló un sistema estructural de bambú para rehabilitación física, con una capacidad de 80 kg y dimensiones generales de 220 x 140 x 150 cm. La estructura utiliza un arnés de seguridad y un cabrestante manual como mecanismo de elevación.

Se realizó una revisión teórica acerca del traumatismo medulas, la producción de bambú en el Ecuador y de los sistemas de suspensión utilizados para rehabilitación física. A partir de este estudio se concibió una idea general del funcionamiento y características de un

sistema para rehabilitación física y se adaptó a una estructura fabricada principalmente con bambú.

Por medio de la casa de la calidad, se obtuvo una jerarquización de las especificaciones técnicas con base en las necesidades del usuario y la voz del ingeniero.

Se realizó el dimensionamiento de la estructura de caña guadúa definiendo primero el diámetro y espesor de la caña guadúa a utilizar, Posteriormente se realizó un análisis de fuerzas actuantes en los elementos del sistema que determinaron los esfuerzos principales en puntos críticos y factores de seguridad, debido a esto se obtuvieron factores de seguridad máximos de 109,13 para las columnas de guadúa.

Se elaboró planos de conjunto, subconjunto y de taller teniendo en cuenta el proceso de fabricación y los materiales para cada componente. De esta manera se obtuvo un plano de conjunto que representa todo el sistema y cada uno de los elementos manufacturables y normalizados, tres planos de subconjuntos que permiten mostrar ensamblajes y uniones soldadas no apreciables en el plano de conjunto. Dentro del plano de conjunto y los planos de subconjunto se detallan 15 planos de taller de los elementos a fabricar.

Por medio del software Ansys Mechanical, se simuló el sistema diseñado, permitiendo contrastar los resultados de la simulación con los calculados en el dimensionamiento.

Se desarrolló un análisis de costos tomando en cuenta el costo de elementos normalizados, costo de materiales y costo de mano de obra para cada módulo del sistema y se obtuvo un costo total de \$ 606,32.

### **3.3 Recomendaciones**

Para una fase constructiva posterior a este proyecto se recomienda incluir un proceso de impermeabilización en los elementos de caña guadúa ya que la exposición de la madera al calor y a la humedad puede generar deformaciones y pérdida de propiedades mecánicas.

Posterior a este estudio se recomienda realizar un análisis de factibilidad para el uso de otro tipo de elementos de unión en los nodos de la estructura, un ejemplo de esto son las conocidas como conexiones flexibles ya que podrían disminuir el costo significativamente y también en peso de la estructura.

Para disminuir el peso de la estructura, es posible utilizar otras especies de bambú con elementos esbeltos de menor diámetro al utilizado en el presente trabajo. Sin embargo, es necesario realizar una caracterización de propiedades mecánicas.



Para una etapa de construcción, se recomienda aislar los componentes móviles del cabrestante mediante una carcasa, evitando el atrapamiento por contacto con los engranajes y brindando seguridad al operador del sistema. También se recomienda cubrir o sellar los orificios en las vigas y en las bases para evitar el ingreso de insectos como polillas al interior de la caña.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, “Estadísticas de Discapacidad,” *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*, 2021. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/> (accessed May 06, 2021).
- [2] D. Vivar, “Análisis sobre la lesión medular en Ecuador : Datos epidemiológicos y Planificación Sanitaria,” Universidad Autónoma de Barcelona, España, 2017.
- [3] 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>.
- [4] Q. Huang and K. Yokoi, “Planning Walking Patterns for a Biped Robot,” *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 3, pp. 280–288, 2001.
- [5] S. Moreno García, “Trauma raquimedular,” *Morfología*, vol. 7, no. 1, pp. 48–54, 2015.
- [6] Enfermagem Ilustrada, “Plejia, Parálisis y Paresia: Las Diferencias,” *Enfermagem Ilustrada*. [https://enfermagemilustrada.com/plejia-paralisis-y-paresia-las-diferencias\\_1/](https://enfermagemilustrada.com/plejia-paralisis-y-paresia-las-diferencias_1/) (accessed May 23, 2021).
- [7] B. Loreto Vergara, “Desarrollo de la Medicina Física y Rehabilitación como especialidad médica,” *Rev. Hosp. Clín. Univ. Chile*, vol. 21, pp. 281–288, 2010.
- [8] E. C. Medina, J. R. Leyva, and R. C. Zarco, “Historia de la tracción terapéutica en la patología de columna vertebral,” *Rev. Mex. Med. Física y Rehabil.*, vol. 23, no. 2, pp. 46–48, 2011.
- [9] Biodex, “UNWEIGHING SYSTEM.” 2021, [Online]. Available: [https://www.biodex.com/sites/default/files/945480man\\_08149revd.pdf](https://www.biodex.com/sites/default/files/945480man_08149revd.pdf).
- [10] Biodex, “NxStep™ Unweighing System,” *Biodex*. <https://www.biodex.com/physical-medicine/products/pbws/nxstep> (accessed May 23, 2021).
- [11] Pneumex, “PneuWeight™,” *Pneumex*. <http://www.pneumex.com/pneuweight.html> (accessed May 23, 2021).
- [12] IESS, “IESS incorporó equipos robóticos para rehabilitación del paciente,” *IESS incorporó equipos robóticos para rehabilitación del paciente*, 2020. [https://www.iess.gob.ec/es/sala-de-prensa/-/asset\\_publisher/4DHq/content/iess-](https://www.iess.gob.ec/es/sala-de-prensa/-/asset_publisher/4DHq/content/iess-)

incorporo-equipos-roboticos-para-rehabilitacion-del-paciente/10174?redirect=http%253A%252F%252Fwww.iess.gob.ec%252Fes%252Fsala-de-prensa%253Fp\_p\_id%253D101\_INSTANCE\_4DHq%2526p\_p.

- [13] 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).
- [14] Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal La Troncal, “ÁREA DE TERAPIA FÍSICA EN CENTRO GERONTOLÓGICO INMACULADA CONCEPCIÓN.” [http://www.latroncal.gob.ec/WEB17/NOTICIAS/CONTROL/VISOR\\_MUESTRA.PHP?valores=aut\\_941](http://www.latroncal.gob.ec/WEB17/NOTICIAS/CONTROL/VISOR_MUESTRA.PHP?valores=aut_941).
- [15] O. Hidalgo-lopez, “Bamboo — The Gift of the Gods.” Hipertexto SAS, Bogotá, Colombia, p. 556, 2003.
- [16] 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.
- [17] 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>.
- [18] M. Romero *et al.*, “Descripción de las Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador,” p. 53, 2011.
- [19] E. J. Whalen, P. Y. Papalambros, G. Aptekar, and N. Liu, “Bamboo Crutch Design for Developing Communities in Zambia,” pp. 1–14, 2016, [Online]. Available: [https://deptapps.engin.umich.edu/open/rise/getreport?pid=109&fv=2&file=BambooCrutch\\_ResearchIdeationDesign.pdf](https://deptapps.engin.umich.edu/open/rise/getreport?pid=109&fv=2&file=BambooCrutch_ResearchIdeationDesign.pdf).
- [20] M. Seixas, “Brazilian Technical Report on the 2019 Seminar on High-value Added Bamboo Application for ITTO Member Countries BAMBOO STRUCTURES IN BRAZIL,” 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.13767.24484.
- [21] J. Morán Ubidia, *Manual de construcción. Construir con bambú “Caña de Guayaquil,”* 3rd ed. Lima, Peru: Red Internacional de Bambú y Ratán, 2015.
- [22] M. Seixas, L. E. Moreira, J. Bina, and J. L. M. Ripper, “Design and analysis of a self-supporting bamboo roof structure with flexible connections,” *J. Int. Assoc. Shell Spat.*

- Struct.*, vol. 60, no. 3, pp. 221–231, 2019, doi: 10.20898/j.iass.2019.201.042.
- [23] NEC-SE-GUADÚA, “Estructuras de guadúa (GaK),” *NEC Norma Ecuatoriana la construcción*, p. 94, 2016.
- [24] S. Kaminski, A. Laurence, D. Trujillo, I. Feltham, and F. López Delgado, “Structural use of bamboo. Part 3: Design values,” *Struct. Eng. J. Inst. Struct. Eng.*, vol. 94, no. 12, pp. 42–45, 2016.
- [25] 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.
- [26] Inec, “Encuseta Nacional De Salud,” vol. 1. p. 47, 2012, [Online]. Available: [www.ecuadorencifras.gob.ec/...inec/Estadisticas](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/...inec/Estadisticas).
- [27] 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.
- [28] R. C. Puche, “El índice de masa corporal y los razonamientos de un astrónomo,” *Medicina (B. Aires)*, vol. 65, no. 4, pp. 361–365, 2005.
- [29] Fundación Argentina Diabetes, “Índice de masa corporal,” *imctabla*, 2019. <https://argentinadiabetes.org/imctabla/>.
- [30] C. Riba, *Diseño concurrente*. Barcelona, 2002.
- [31] Pneumex, “PneuVest Ultima™,” *Pneumex*. <http://www.pneumex.com/pneuvest.html> (accessed May 23, 2021).
- [32] TRUPER, “Catálogo 2021.” 2021, [Online]. Available: <https://www.truper.com/CatVigente/>.
- [33] J. L. R, “ComoFunciona,” *Sistema de poleas*, 2021. <https://comofunciona.co/sistema-de-poleas/>.
- [34] TRUPER, “Malacates de manivela con cable,” *TRUPER*, 2021. <https://www.truper.com/malacates-de-manivela-con-cable.html>.
- [35] RAMHOIST, “Mini Electric Wire rope Hoists.” p. 1000, 2018, [Online]. Available: <http://www.ramhoist.com/upfile/201810/2018100162998969.pdf>.
- [36] edímca, “Niveladora para mueble,” *CONSTRUEx*, 2021. [https://construex.com.ec/exhibidores/edimca/producto/pata\\_niveladora\\_para\\_mueb](https://construex.com.ec/exhibidores/edimca/producto/pata_niveladora_para_mueb)








le\_cz\_4715\_a.

- [37] D. Cadena, *Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadúa (GaK) y otros Bambúes*, no. April. 2019.
- [38] K. J. BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Octava edi., no. 1. McGraw-Hill, 2014.
- [39] ProWinch, “Winche Manual solo Arrastre Max . 1360 kg / 3 . 000 Lb Detalles del Empaque,” 2021. <https://prowinch.cl/catalog/winche-manual-solo-arrastre-max-1360-kg-3000-lb>.
- [40] INAHER, “Nivelador Antiderrapante Linea NS-5.” p. 730, [Online]. Available: <https://inahermex.com/wp-content/uploads/2021/07/Linea-NS-5-1.pdf>.
- [41] TRUPER, “Arnes de cuerpo completo, 3anillos, rescate.” 2021, [Online]. Available: [https://www.truper.com/ficha\\_tecnica/views/ficha-print.php?id=4948](https://www.truper.com/ficha_tecnica/views/ficha-print.php?id=4948).

## 5 ANEXOS

### ANEXO I

#### COEFICIENTES DE LONGITUD EFECTIVA [23]

Condición de los apoyos	Gráficos	$k_{e1}$	$k_{e2}$
Empotrados en ambos extremos (1)		0.50	0.65
Impedido de desplazarse en ambos extremos y uno de ellos impedido de rotar (2)		0.70	0.85
Articulado en ambos extremos (3)		1.00	1.00
Empotrado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento (4)		1.00	1.20
Empotrado en un extremo y el otro parcialmente libre de rotar y libre de desplazamiento (5)		1.50	1.50
Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento (6)		2.00	2.40
Empotrado en un extremo y el otro libre de rotar y libre de desplazamiento (7)		2.00	2.10

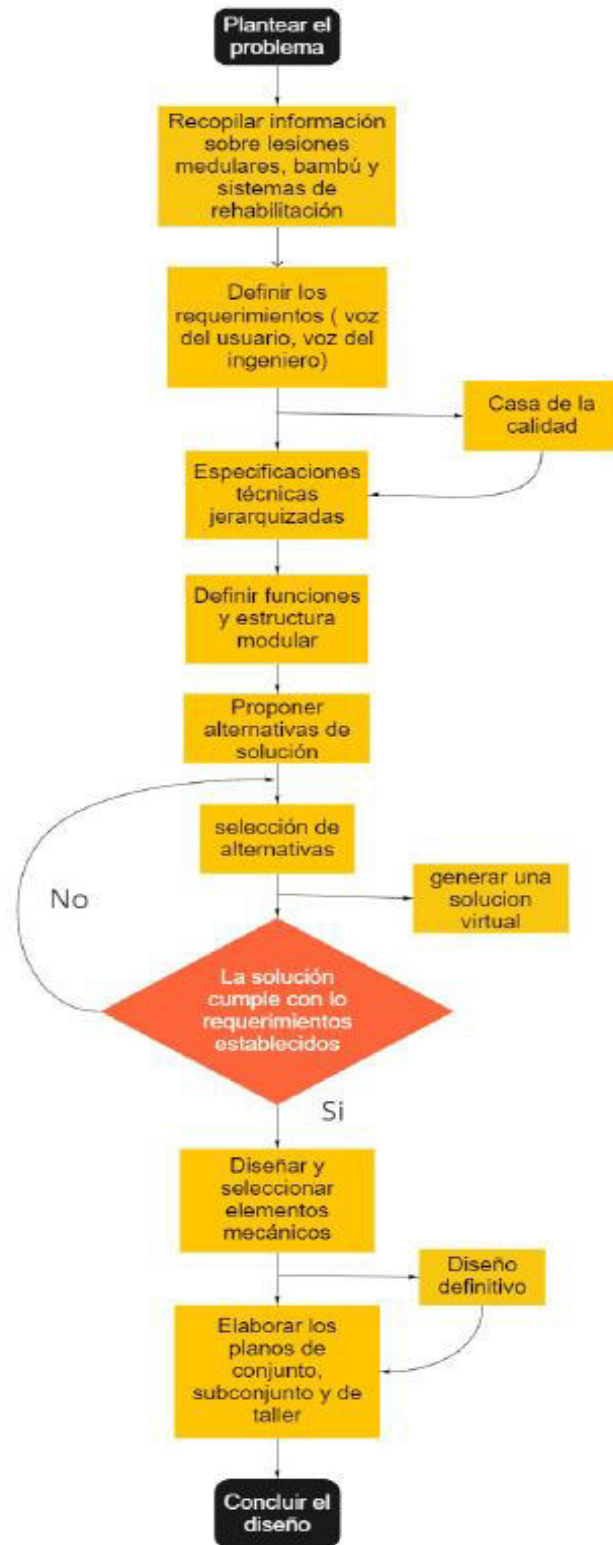
Donde

$K_{e1}$  Valor teórico

$Ke2$  Valor practico

## ANEXO II

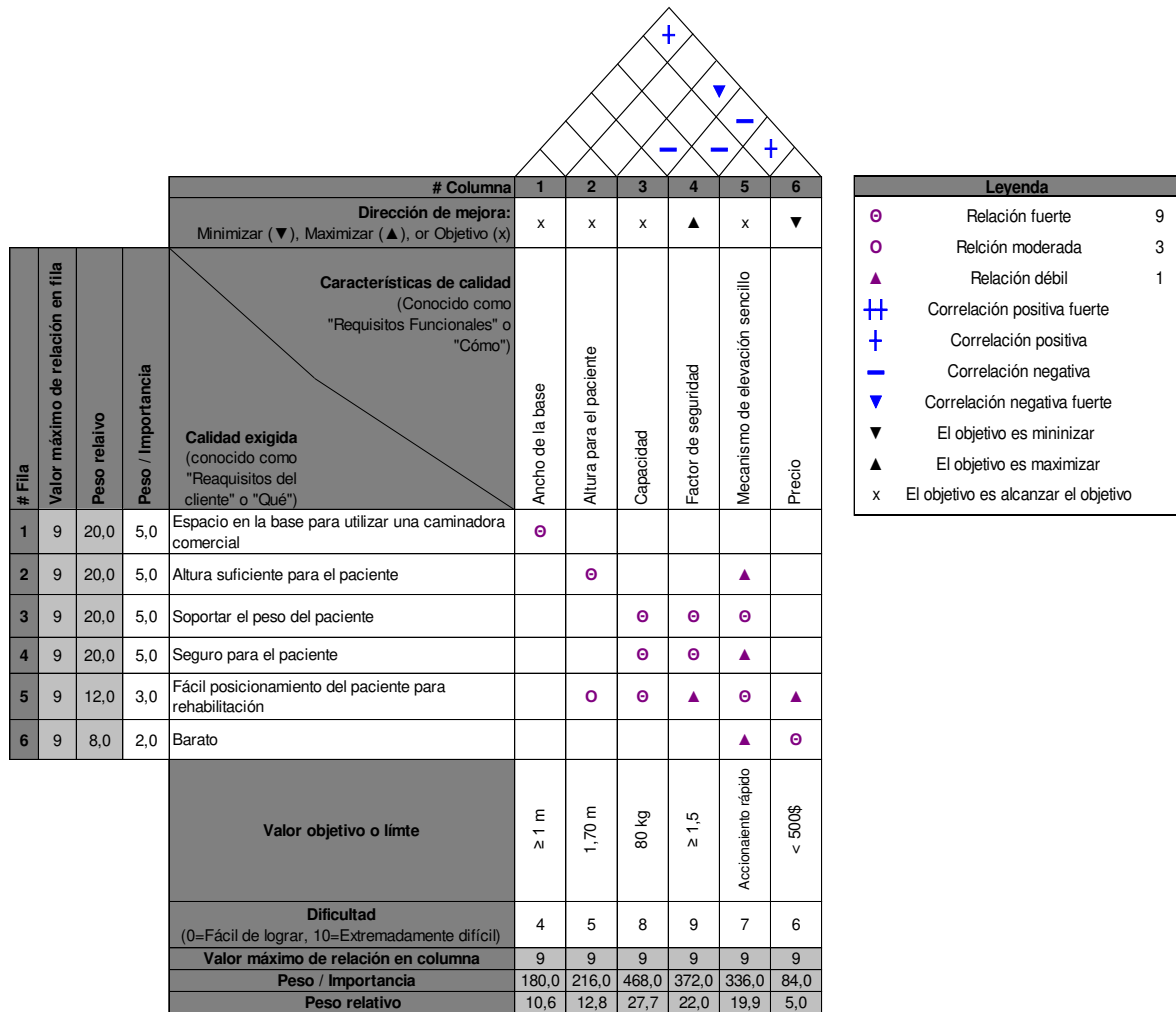
### DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA METODOLGIA UTILIZADA



## ANEXO III

### CASA DE LA CALIAD

**Título** QFD- Sistema estructural de bambú para rehabilitación física  
**Autor** Erick Matias Acosta Guaman  
**Fecha:** 7/12/2021





## ANEXO IV

### 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	0	1,5	0,15
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 1 < Solución 2				
Disponibilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0	1	0,33333333
Solución 2	1		2	0,66666667
		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 1 < Solución 2				
Seguridad	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				

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,05	0,05	0,13333333	0,2	0,4333	2
Solución 2	0,1	0,1	0,26666667	0,1	0,5667	1

## ANEXO V

### 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		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		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		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	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,0667	0,1	0,2666667	0,15	0,5833	1
Solución 2	0,0333	0,1	0,1333333	0,15	0,4167	2

## ANEXO VI

### EVALUACIÓN DE SOLUCIONES PARA MÓDULO 3

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

Capacidad = Construcción simple > Seguridad > Precio > Disponibilidad

Precio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0,5	1	2,5	0,41666667
Solución 2	0,5		1	2,5	0,41666667
Solución 3	0	0		1	0,16666667
		suma		6	1
Solución 1 = Solución 2 > Solución 3					
Disponibilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33333333
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33333333
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33333333
		suma		6	1
Solución 1 = Solución 2 = Solución 3					
Capacidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0	0	1	0,16666667
Solución 2	1		0	2	0,33333333
Solución 3	1	1		3	0,5
		suma		6	1
Solución 3 > Solución 2 > Solución 1					
Seguridad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución 1		0	0	1	0,16666667
Solución 2	1		0,5	2,5	0,41666667
Solución 3	1	0,5		2,5	0,41666667
		suma		6	1
Solución 3 = Solución 2 > Solución 1					
Construcción simple	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderado

Solución 1		0,5	0	1,5	0,25
Solución 2	0,5		0	1,5	0,25
Solución 3	1	1		3	0,5
	suma			6	1
Solución 3 > Solución 1 = Solución 2					

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Capacidad	Seguridad	Construcción simple	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,0694	0,033333333	0,0444444	0,03333333	0,066666667	0,2472	3
Solución 2	0,0694	0,033333333	0,0888889	0,08333333	0,066666667	0,3417	2
Solución 3	0,0278	0,033333333	0,1333333	0,08333333	0,133333333	0,4111	1

ANEXO VII

TABLA DE CONSTANTES PERMISIBLES Y TAMAÑOS MÍNIMOS DE FILETE [38]

**Tabla 9-6**

Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

		Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete						Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h			
		Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)									
		60*	70*	80	90*	100	110*	120			
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial		18.0		21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0		
τ =		12.73h		14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h		
τ <sub>f</sub> =		12.73h		14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h		
Tamaño del cratelo, h, pulg		Fuera unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal									
		Fuera unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal									
1		12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45			
7/8		11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27			
3/4		9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09			
5/8		7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91			
1/2		6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73			
7/16		5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14			
3/8		4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54			
5/16		3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95			
1/4		3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36			
3/16		2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77			
1/8		1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18			
1/16		0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59			

\*En realidad, las soldaduras de filete fueron ensayadas por el AISC-AWS Task Committee.

τ<sub>f</sub> = 0.707 τ<sub>per</sub>

Fuente: Adaptada de Omar W. Bloodgett (ed.), *Stress Allowables Affect Weldment Design*, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo de 1991, p. 3. Reproducido con autorización de Lincoln Electric Company.

Esesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta 1/4 inclusive	1/8
Mayor que 1/4	3/16
Mayor que 1/2	1/4
†Mayor que 3/4	5/16
Mayor que 1 1/2	3/8
Mayor que 2 1/4	1/2
Mayor que 6	5/8

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.

\*El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no puede ser menor a 3/16 pulg.


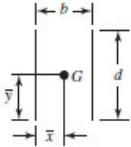
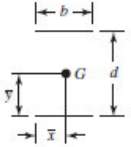
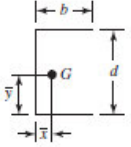
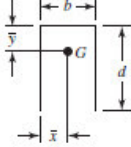
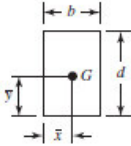
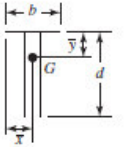
†Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no puede ser mayor que la soldadura de filete de 5/16 pulg por cada 3/4 pulg de material.

## ANEXO VIII

### TABLA DE PROPIEDADES FLEXIONANTES DE LAS SOLDADURAS DE FILETE [38]

**Tabla 9-2**

Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete\*

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

## ANEXO IX

### TABLA DE ESFUERZOS PERMISIBLES DE CODIGO AISC PARA METAL DE APORTE [38]

**Tabla 9-4**

Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte

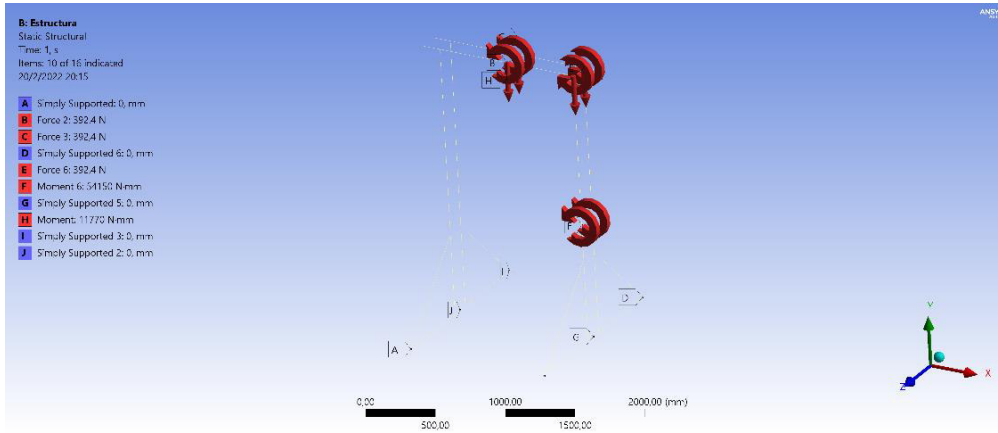
Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	$n^*$
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

\*El factor de seguridad  $n$  se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

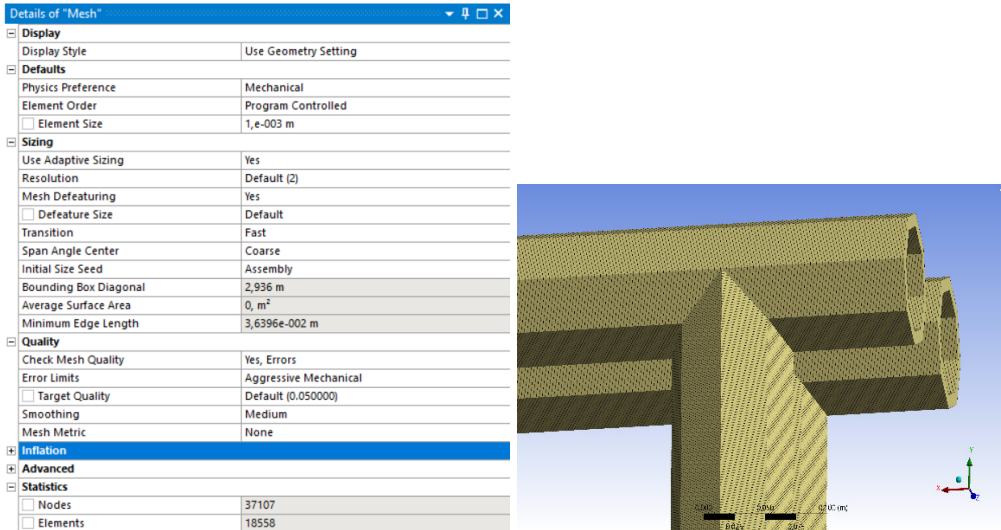
†El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de  $0.40S_y$  del metal base.

## ANEXO X

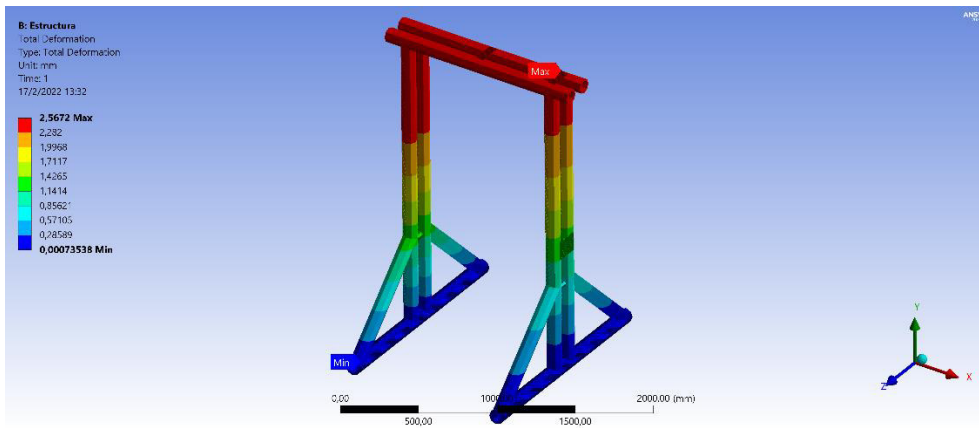
### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN



a) Fuerzas y restricciones aplicadas a la estructura.

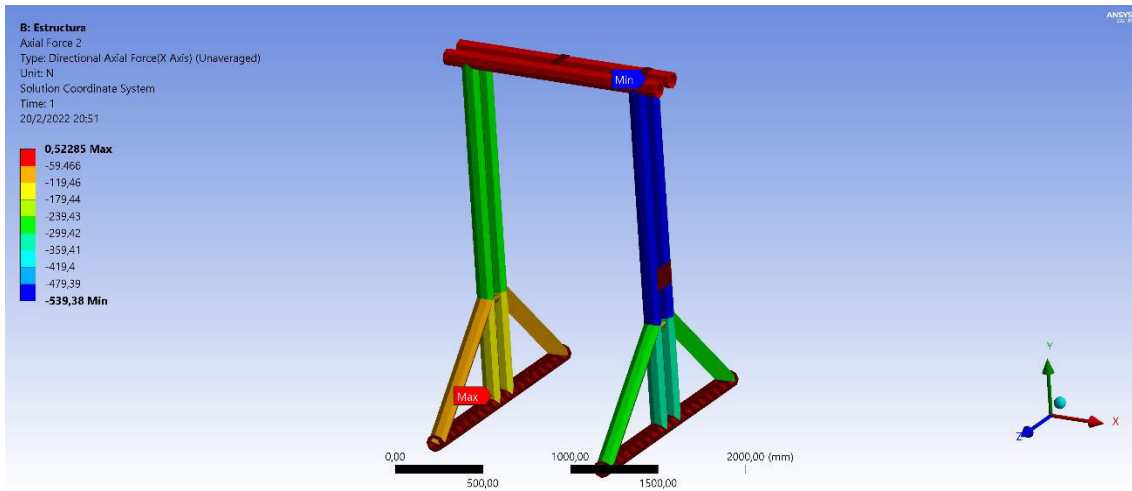


b) Configuración de la malla en la estructura.

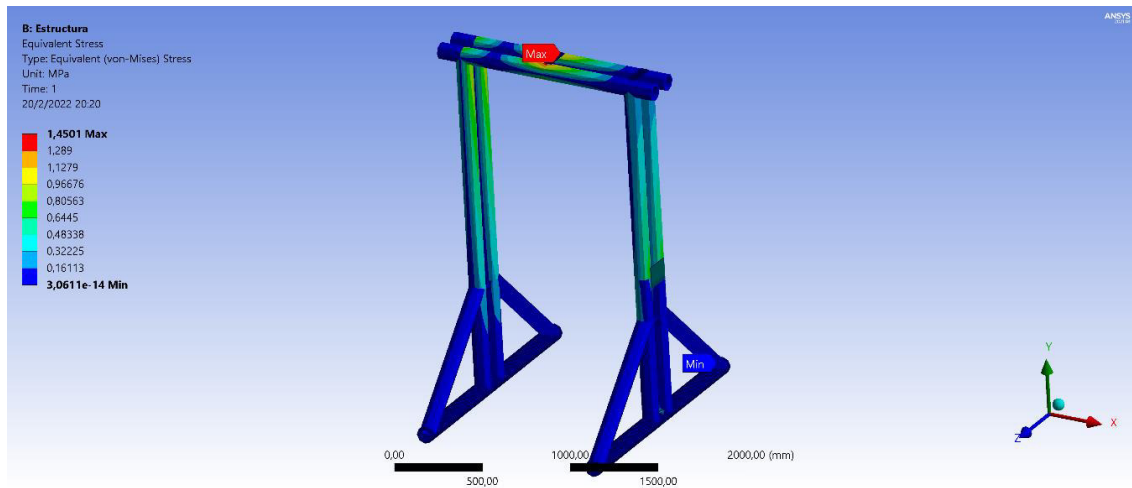


c) Deformación total en la estructura.

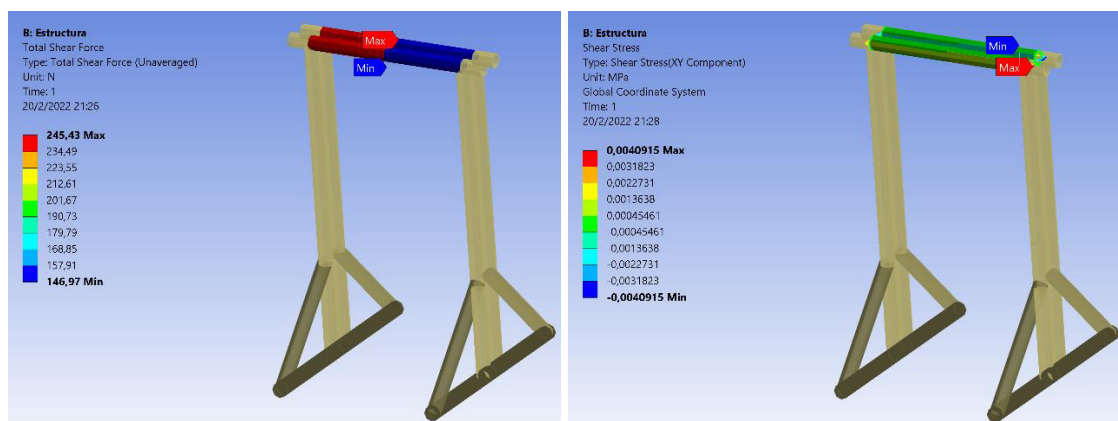




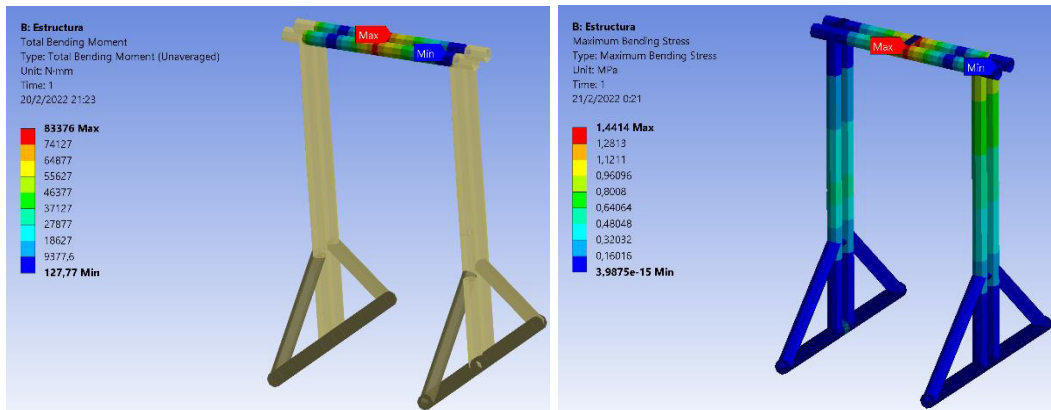
d) Fuerza axial en cada elemento de la estructura.



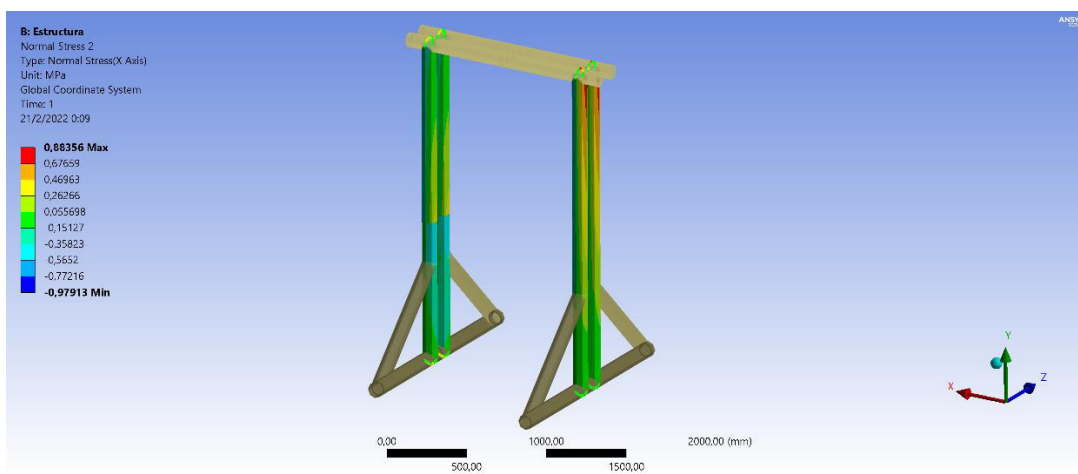
e) Esfuerzo equivalente de Von-Mises.



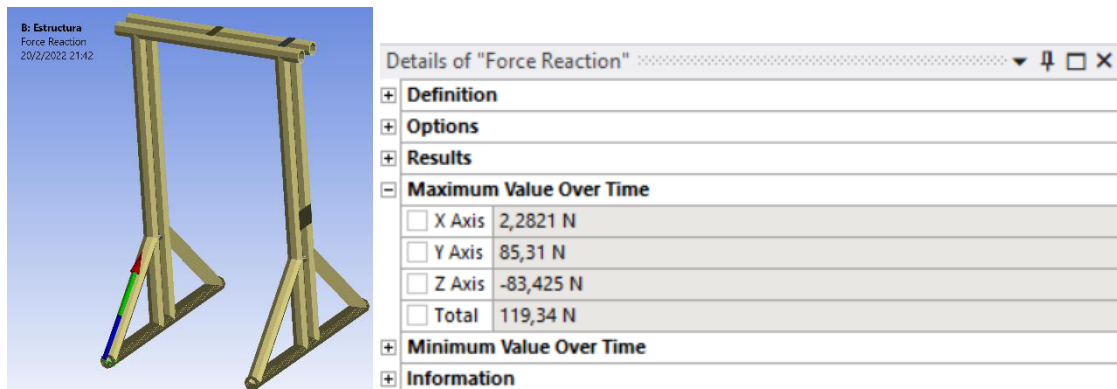
f) Fuerza y esfuerzo cortantes en la viga

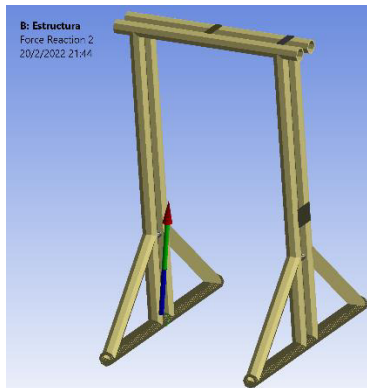


g) Momento flector y esfuerzo normal en la viga.



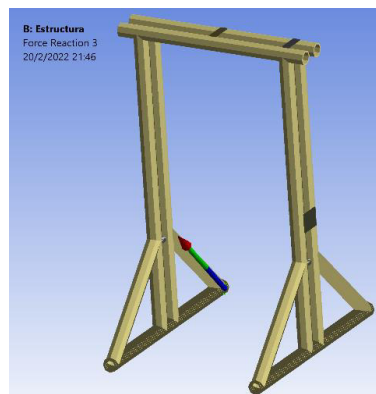
h) Esfuerzo normal en las columnas.





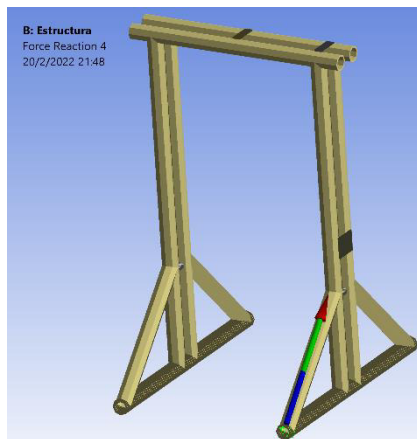
Details of "Force Reaction 2" : ▾ ▴ □ ×

+	Definition
+	Options
+	Results
-	Maximum Value Over Time
<input type="checkbox"/>	X Axis 44,588 N
<input type="checkbox"/>	Y Axis 320,23 N
<input type="checkbox"/>	Z Axis -1,057e-003 N
<input type="checkbox"/>	Total 323,32 N
+	Minimum Value Over Time
+	Information



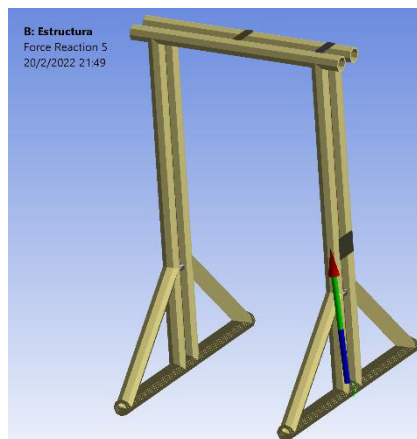
Details of "Force Reaction 3" : ▾ ▴ □ ×

+	Definition
+	Options
+	Results
-	Maximum Value Over Time
<input type="checkbox"/>	X Axis 2,2821 N
<input type="checkbox"/>	Y Axis 85,311 N
<input type="checkbox"/>	Z Axis 83,426 N
<input type="checkbox"/>	Total 119,35 N
+	Minimum Value Over Time
+	Information



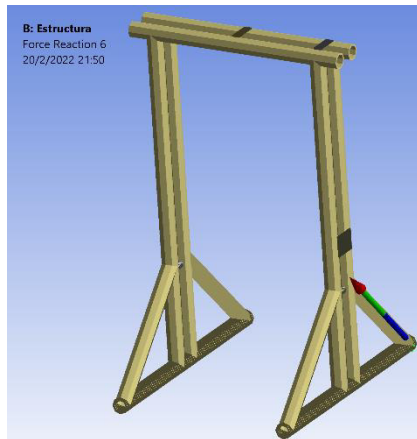
Details of "Force Reaction 4" : ▾ ▴ □ ×

+	Definition
+	Options
+	Results
-	Maximum Value Over Time
<input type="checkbox"/>	X Axis -1,967 N
<input type="checkbox"/>	Y Axis 192,83 N
<input type="checkbox"/>	Z Axis -186,86 N
<input type="checkbox"/>	Total 268,53 N
+	Minimum Value Over Time
+	Information



Details of "Force Reaction 5" : ▾ ▴ □ ×

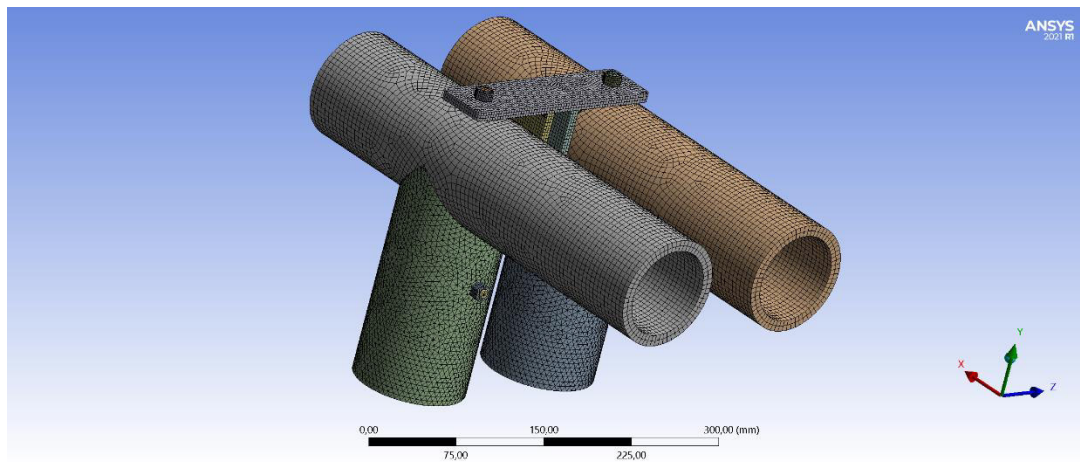
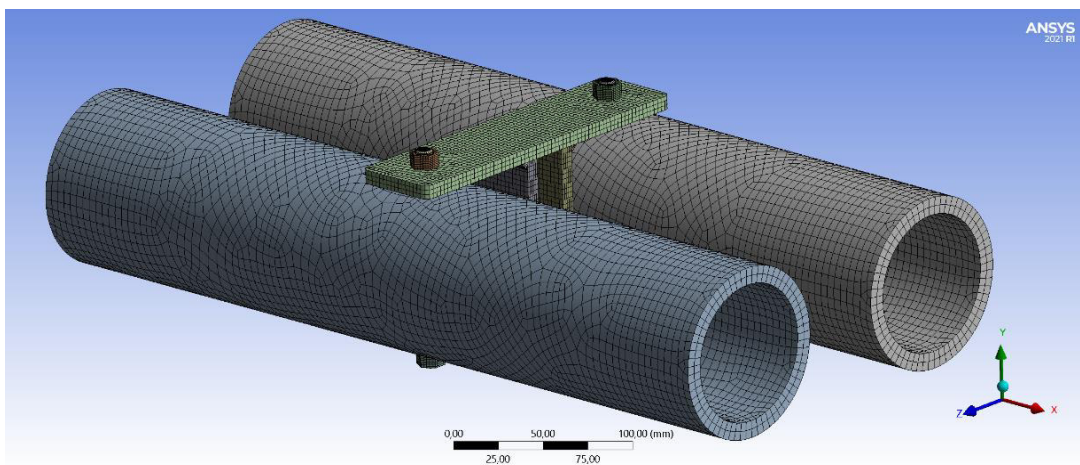
+	Definition
+	Options
+	Results
-	Maximum Value Over Time
<input type="checkbox"/>	X Axis -45,218 N
<input type="checkbox"/>	Y Axis 693,08 N
<input type="checkbox"/>	Z Axis -1,3413e-003 N
<input type="checkbox"/>	Total 694,55 N
+	Minimum Value Over Time
+	Information



Details of "Force Reaction 6"

+ Definition	
+ Options	
+ Results	
- Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-1,9671 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	192,84 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	186,87 N
<input type="checkbox"/> Total	268,53 N
+ Minimum Value Over Time	
+ Information	

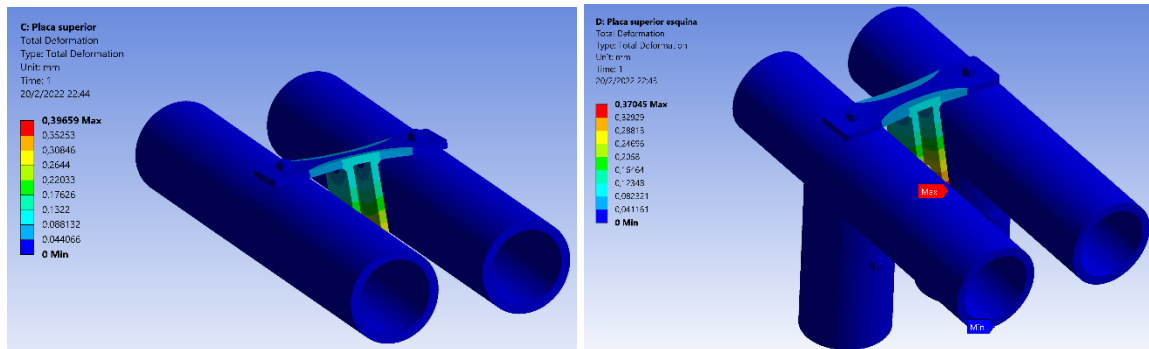
i) Reacciones en los apoyos de la estructura.



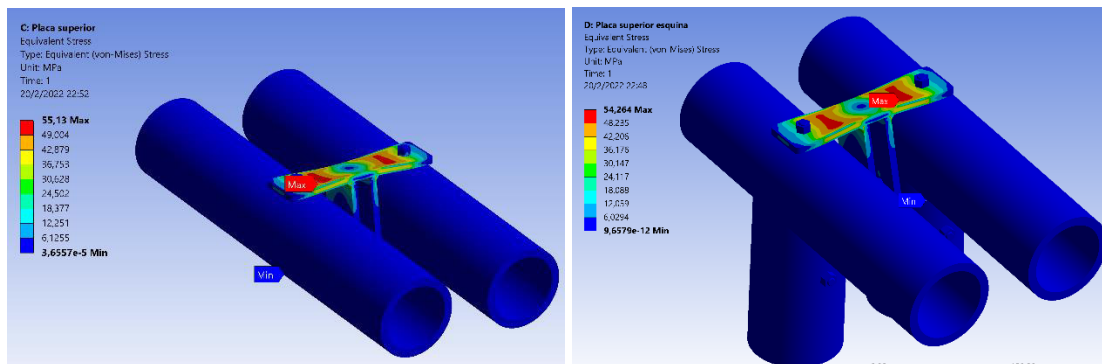
j) Mallado en los soportes para la poleas.

Details of "Mesh"		Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	Use Geometry Setting	<b>Display</b>	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>		<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical	Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled	Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default	<input type="checkbox"/> Element Size	Default
<b>Sizing</b>		<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes	Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	4	Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	No	Mesh Defeaturing	Yes
Transition	Slow	<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Span Angle Center	Fine	Transition	Fast
Initial Size Seed	Assembly	Span Angle Center	Coarse
Bounding Box Diagonal	607,01 mm	Initial Size Seed	Assembly
Average Surface Area	3516,2 mm <sup>2</sup>	Bounding Box Diagonal	561,27 mm
Minimum Edge Length	0,58758 mm	Average Surface Area	3294, mm <sup>2</sup>
		Minimum Edge Length	0,58758 mm
<b>Quality</b>		<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors	Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical	Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium	Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)	Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)
<input type="checkbox"/> Min	1,	<input type="checkbox"/> Min	-100,
<input type="checkbox"/> Max	10,063	<input checked="" type="checkbox"/> Max	135,82
<input type="checkbox"/> Average	1,2841	<input type="checkbox"/> Average	1,1678
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,53118	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	1,7069
<b>Inflation</b>		<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>		<b>Advanced</b>	
<b>Statistics</b>		<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	290629	<input type="checkbox"/> Nodes	297239
<input type="checkbox"/> Elements	78599	<input type="checkbox"/> Elements	103889

k) Configuración de la malla para los soportes de las poleas.

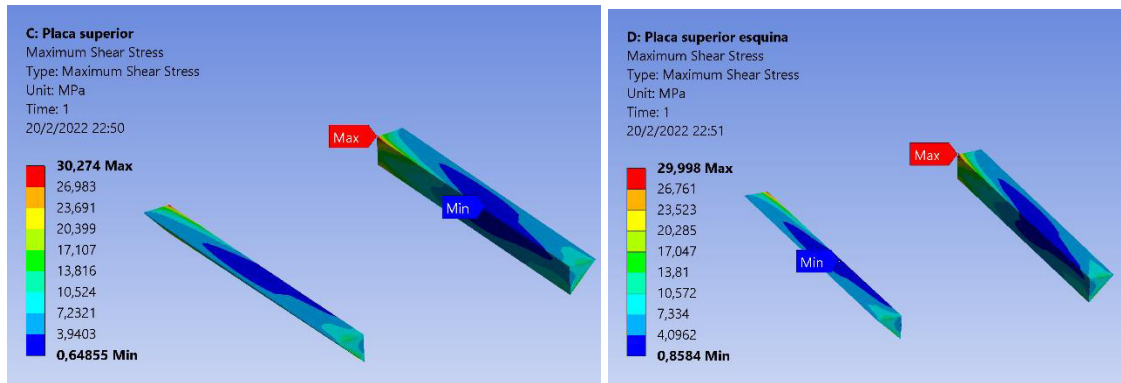


l) Deformación en los soportes de las poleas.

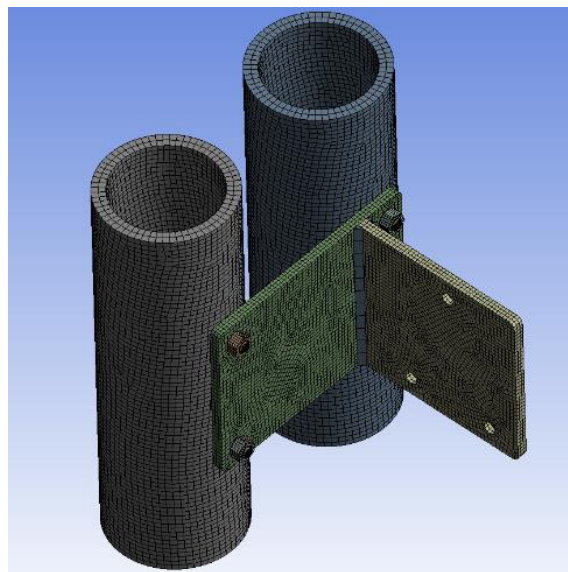


m) Esfuerzo equivalente de Von-Mises en los soportes de las poleas.





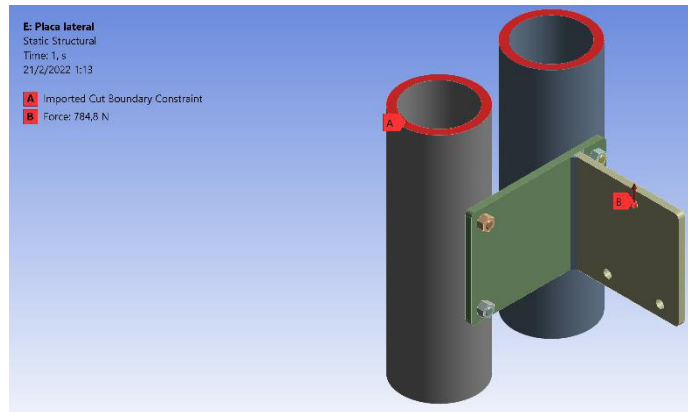
n) Esfuerzo cortante maximo en las soldaduras del soporte de las poleas.



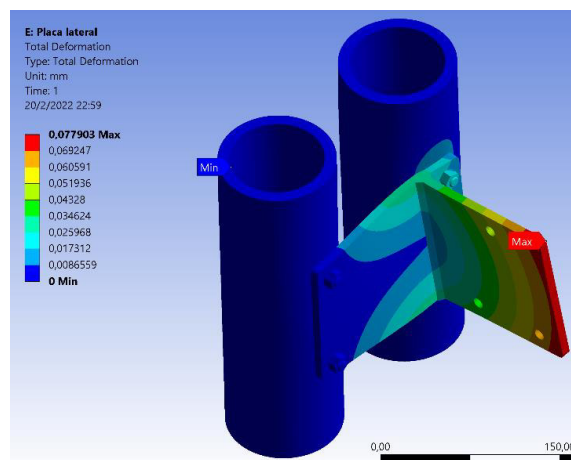
o) Mallado en el soporte del cabrestante.

Details of "Mesh"	
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	474,7 mm
Average Surface Area	3037,5 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	4,49 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)
<input type="checkbox"/> Min	1,
<input type="checkbox"/> Max	4,4222
<input type="checkbox"/> Average	1,2758
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,40986
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	240479
<input type="checkbox"/> Elements	45620

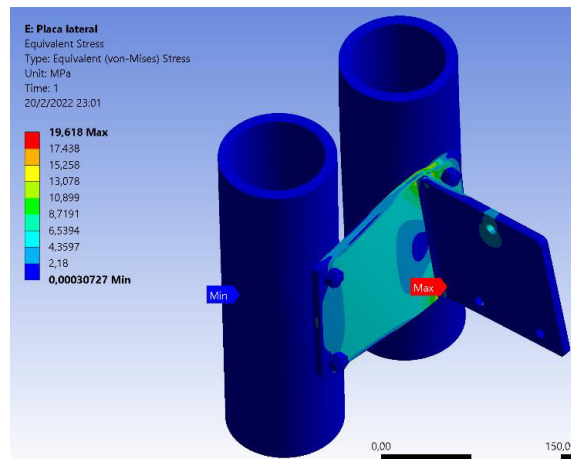
p) Configuración de a malla para el soporte del cabrestante.



q) Fuerza aplicada al soporte del cabrestante.



r) Deformacion soporte del cabrestante



s) Esfuerzo equivalente de Von-Mises soporte del cabrestante



t) Esfuerzo cortante maximo en la soldadura del soporte del cabrestante.



## ANEXO XI

### TABLA DE ESPECIFICACIONES CABRESTANTE SELECCIONADO [39]

## Winche Manual solo Arrastre Max. 1360 kg / 3.000 Lb

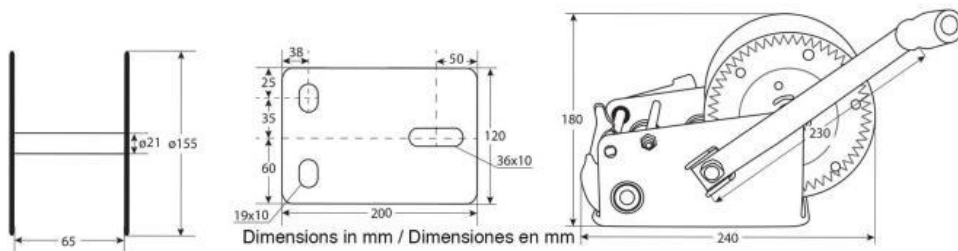
### Características Esenciales

- 6 Meses de Garantía, Servicio y Atención al Cliente en Chile



### Especificaciones Técnicas

Capacidad 1ª Capa	3000 lb / 1360 kg	Clase de Servicio	Recovery / Rescate
Relación de Transmisión	5.1:1~12.2:1	Cable Incluido	ø1/4 in x 32.8 ft   ø5mm x 10 m
Garantía	6 Month		



Imágenes Referenciales  
Image Reference

### Peso & Dimensiones

Peso Total	11 lbs / 5 Kg	NW1 Peso Neto	11 lbs / 5 Kg
		GW1 Peso Bruto	13 lbs / 6 Kg
		PD1 Profundidad Empaque	10 in / 26 cm

## ANEXO XII

### NIVELADOR INDUSTRIAL ANTIDESLIZANTE INAHER [40]

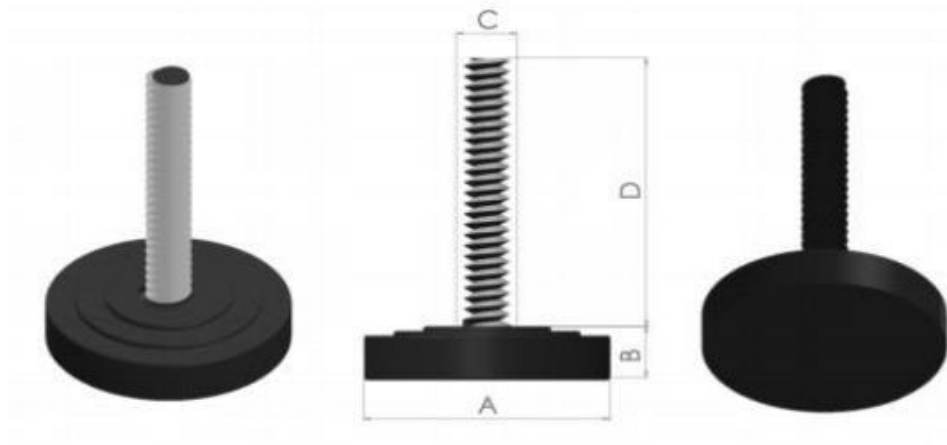
# LINEA NS-5

#### Características.

- Material Neopreno con Birlo Galvanizado
- Hule blanco y birlo inoxidable sobre pedido.
- Dureza de neopreno 65 Shore



A	B	C	D	CP
DIAM. DE LA BASE	ALTURA DE LA BASE	DIAM. DE LA CUERDA (ØBIRLO)	ALTURA BIRLO	CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA
2 ½"	.730	½" ESTANDAR	3"	150kg



## ANEXO XIII

### CARACTERISTICAS TECNICAS DEL ARNES SELECCIONADO [41]



CÓDIGO: 14433 CLAVE: ARN-5437

#### Arnés de cuerpo completo, 3 anillos, rescate

- Cinta 100% poliéster: 44 mm
- 3 Anillos "D" de acero forjado
- Para la industria en general y construcción
- No use para escalar



Contra caídas



Rescate en espacios confinados

#### Certificaciones y garantías

- Cumple las normas: ANSI Z359.11 y EN 361



#### Especificaciones

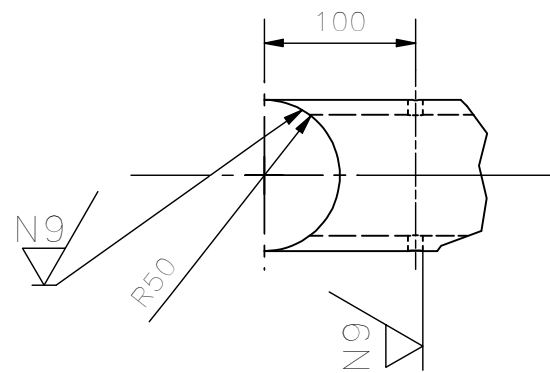
Capacidad de carga	140 kg
Resistencia a la tensión de cinta y anillo	5 00 lb (22.2 kN)
Empaque individual	Blister

**ANEXO XIV**  
**PLANOS DE CONJUNTO, SUBCONJUNTO Y DE TALLER**

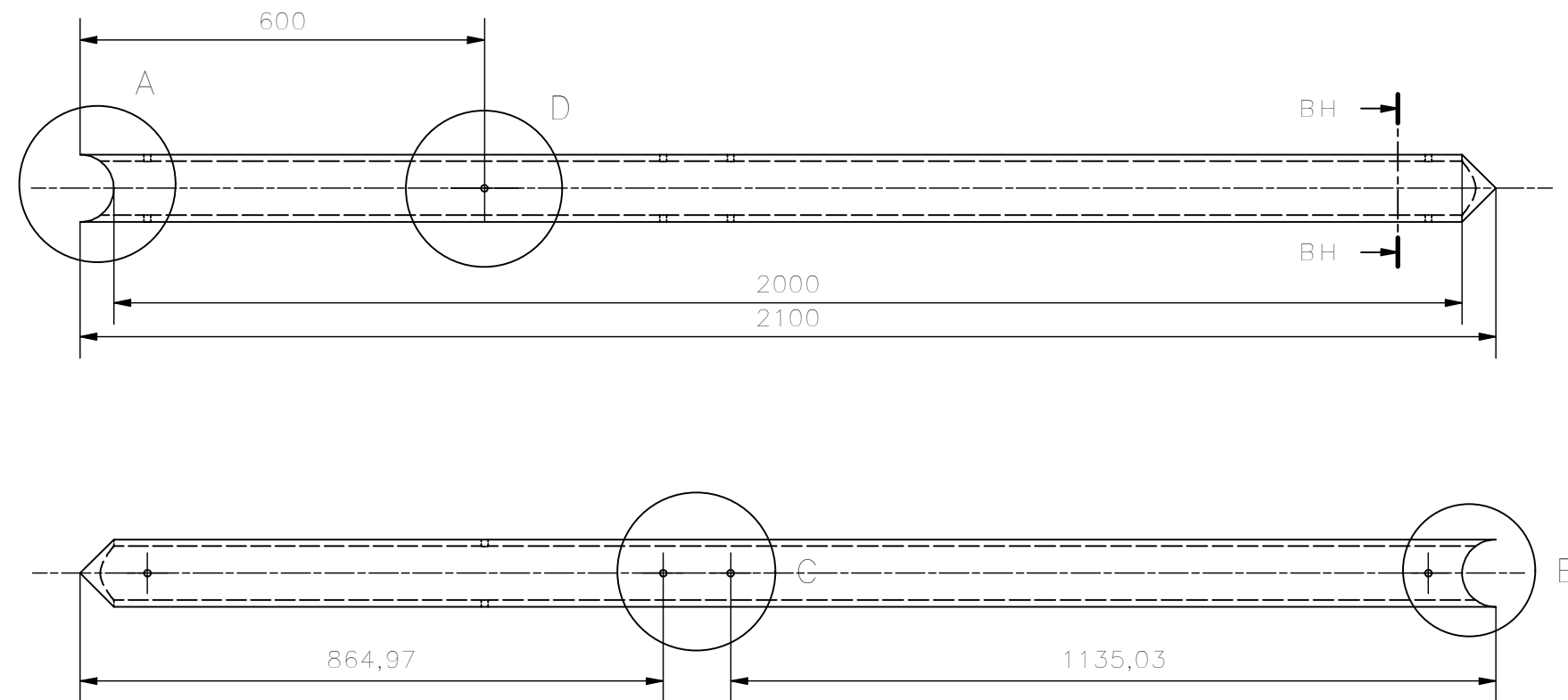
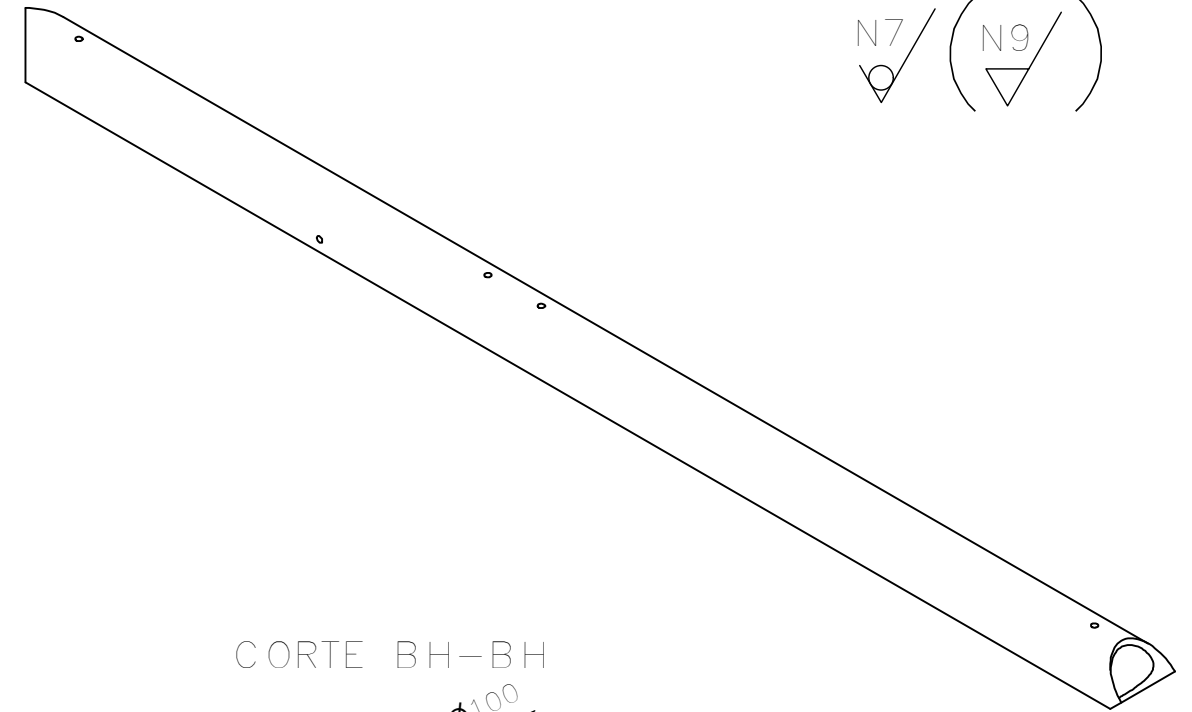
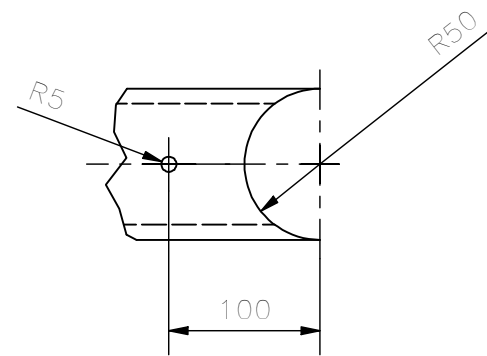




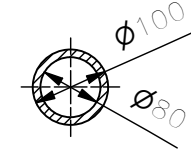
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



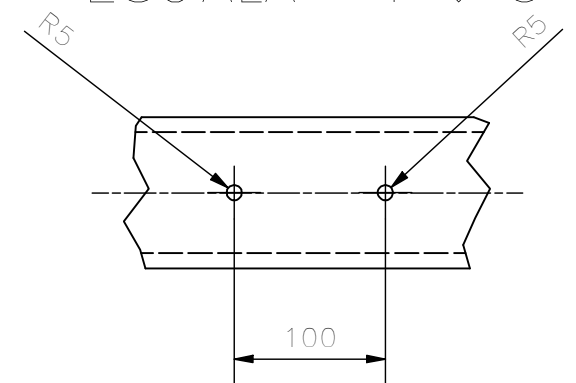
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5



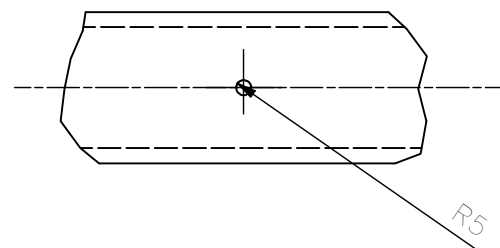
CORTE BH-BH



DETALLE C  
ESCALA 1 : 5



DETALLE D  
ESCALA 1 : 5

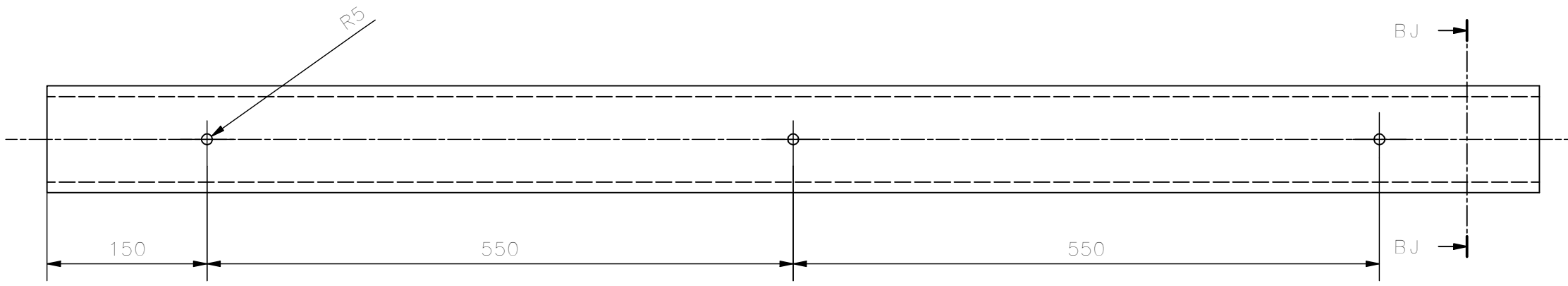


Nota:

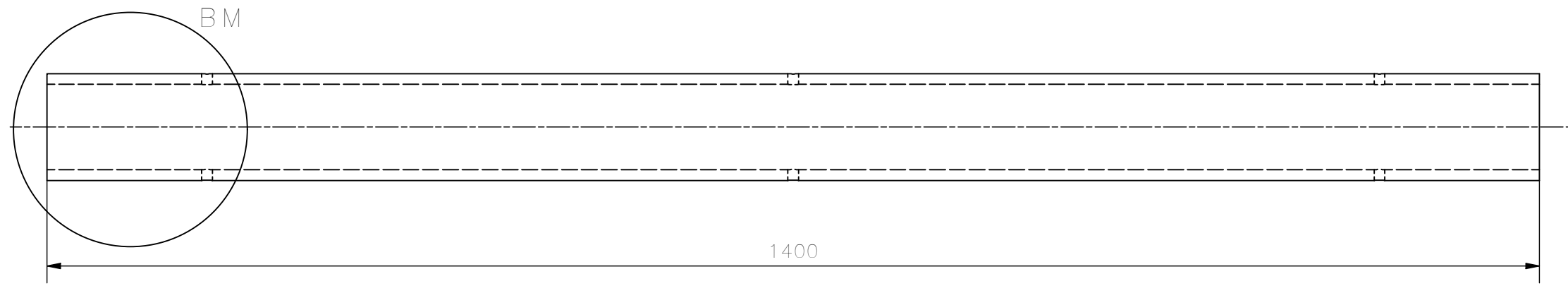
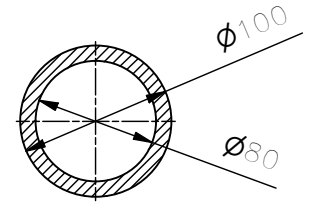
- Utilizar caña guadua de diámetro uniforme en todos los culmos
- Realizar un corte tipo boca de pescado en los extremos de la columna
- Eliminar astillas en los cortes y en las perforaciones
- Acabado superficial para todas las perforaciones N9
- Acabado superficial para todas los cortes tipo boca de pescado N9

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Caña guadua	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,5	1:10	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
COLUMNA CABRESTANTE		SSC.101		FECHA: 06/01/2022	

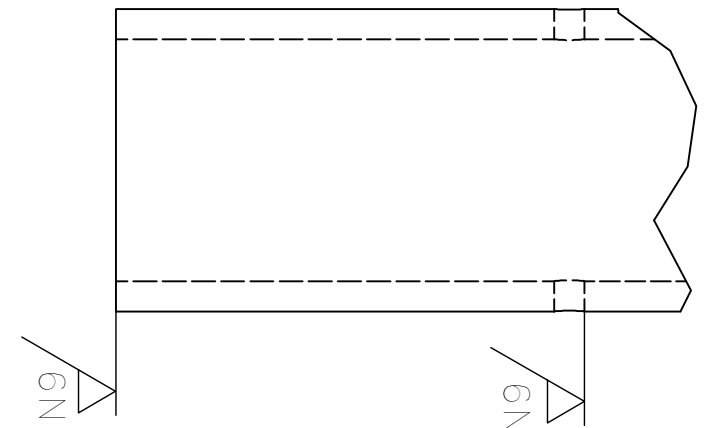
N7/ ( N9/ )



CORTE BJ-BJ



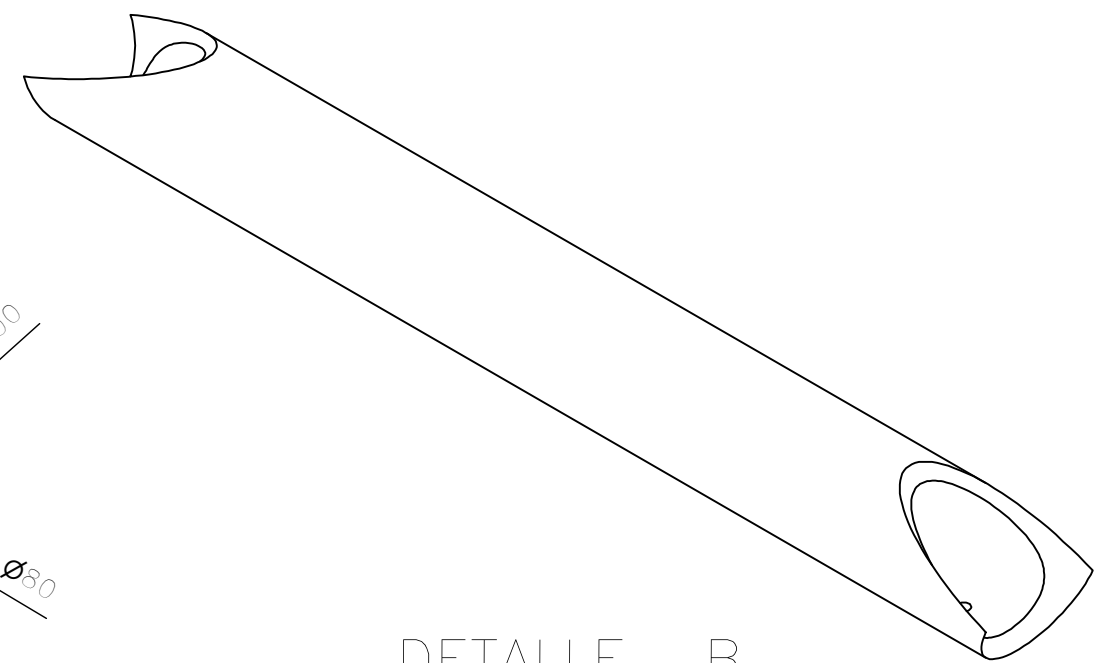
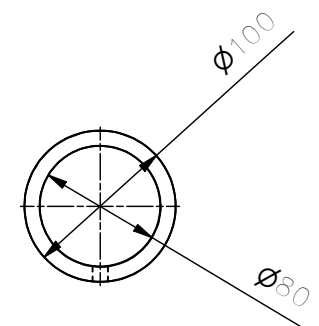
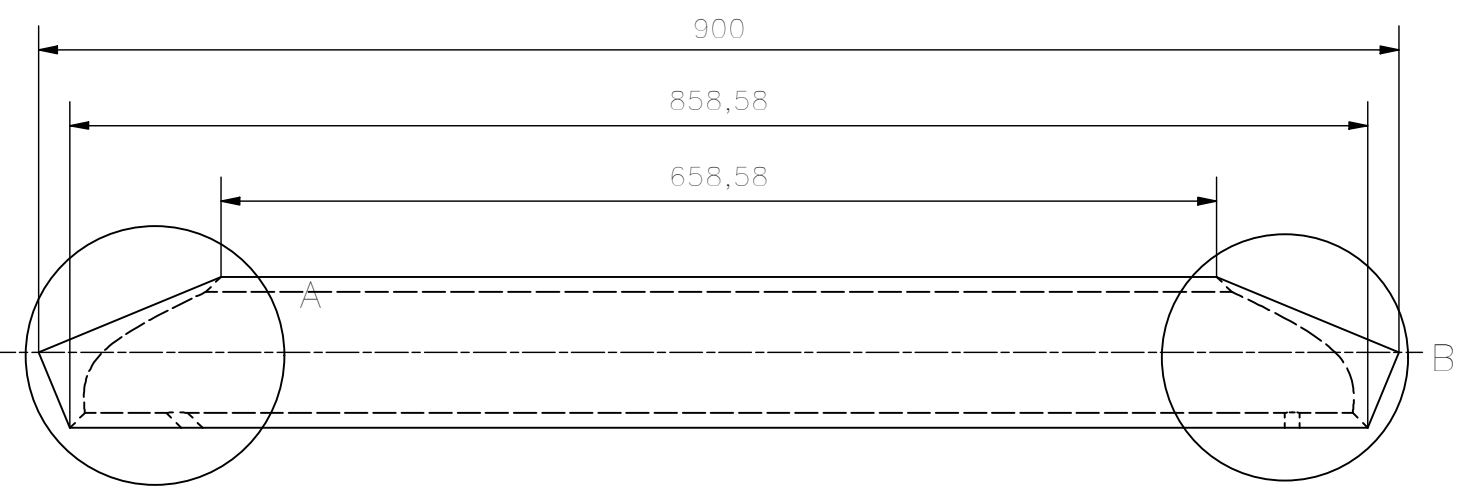
DETALLE BM  
ESCALA ( 0,40 : 1 )



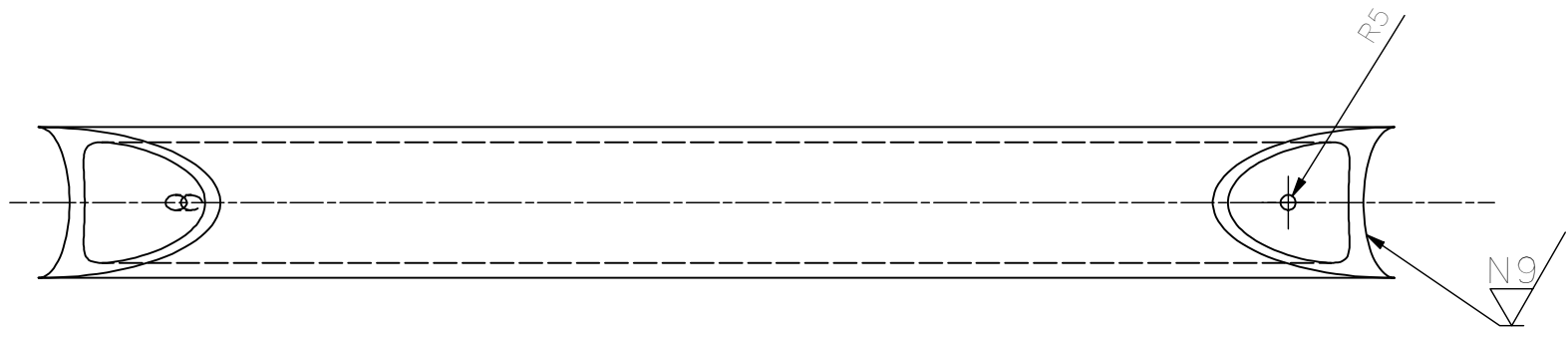
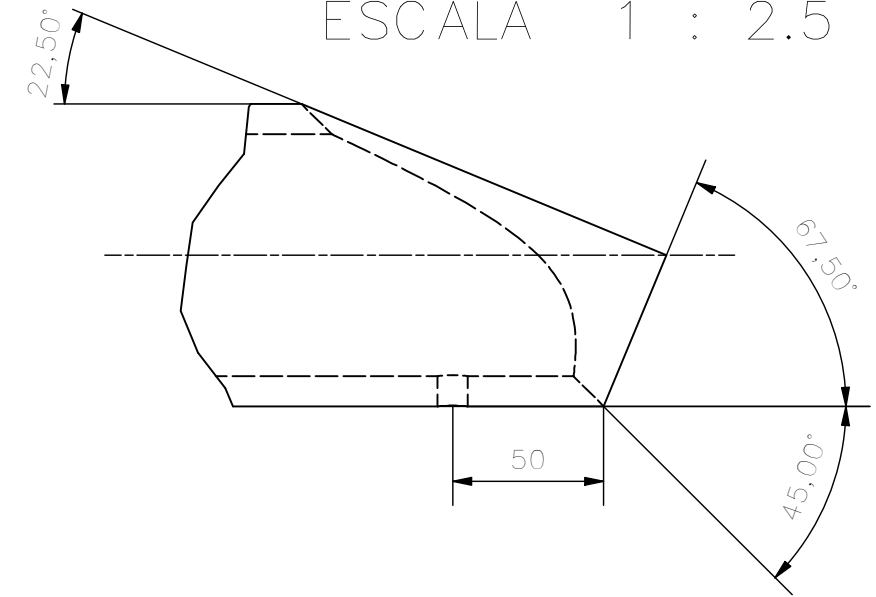
Nota:

- Utilizar caña guadua de diámetro uniforme en todos los culmos
- Eliminar astillas en los cortes y en las perforaciones
- Todas la perforaciones son de diámetro 10 mm
- Acabado superficial para todas las perforaciones N9
- Acabado superficial para todas los cortes N9

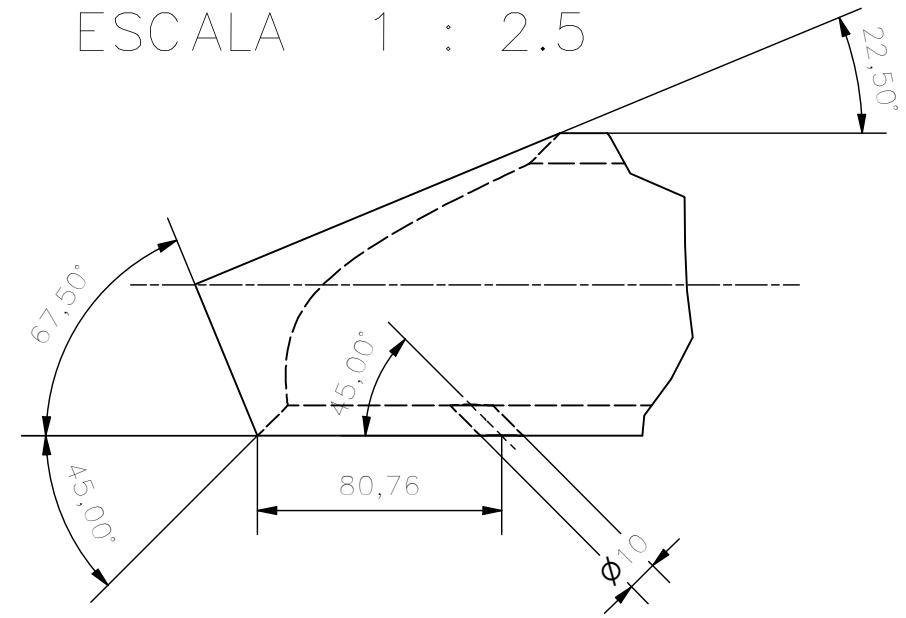
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Caña guadua	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,5	1:5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
VIGA		SSC.102		FECHA:	06-01-2022



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2.5



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2.5



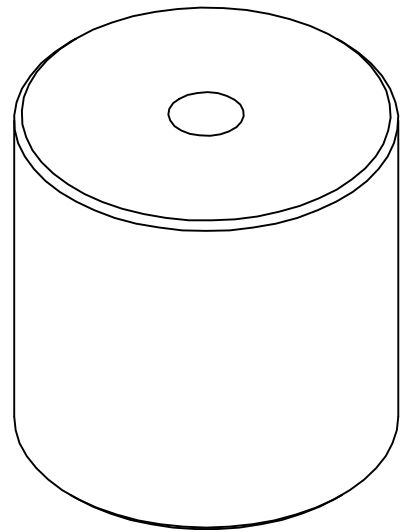
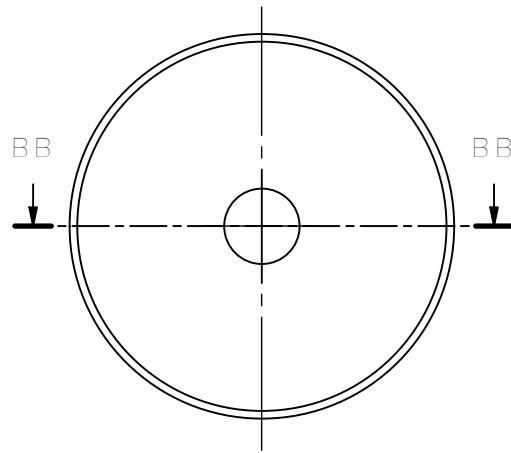
Nota:

- Utilizar caña guadua de diámetro uniforme en todos los culmos
- Realizar un corte tipo boca de pescado a 45° con respecto al eje neutro de la guadua en los extremos
- Eliminar astillas en los cortes y en las perforaciones
- Acabado superficial para todas las perforaciones N9
- Acabado superficial para todas los cortes tipo boca de pescado N9

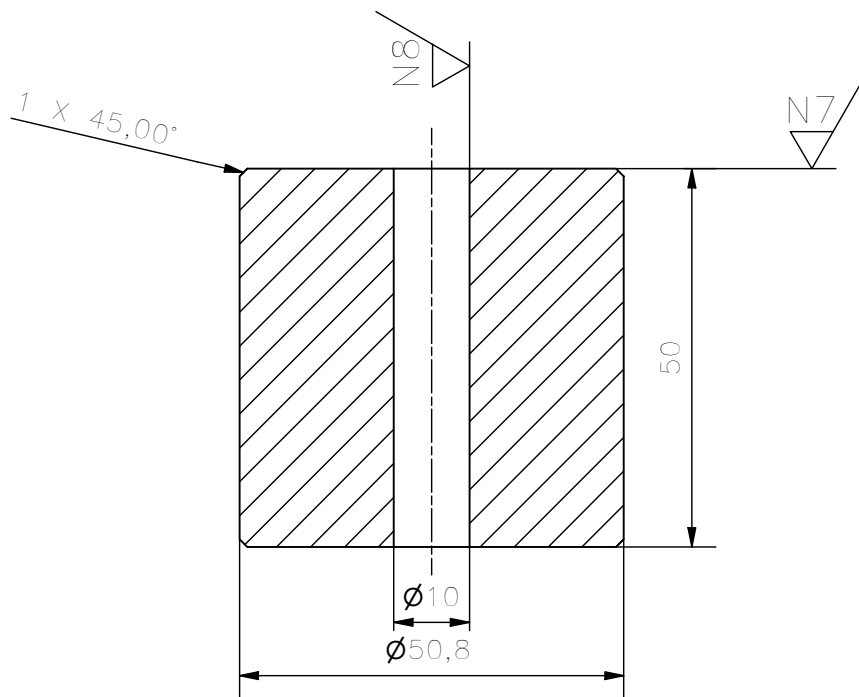
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Caña guadua	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,5	1:5	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
DIAGONAL			SSC.103		FECHA:
					06-01-2022



N7 / ( N7 / N8 )

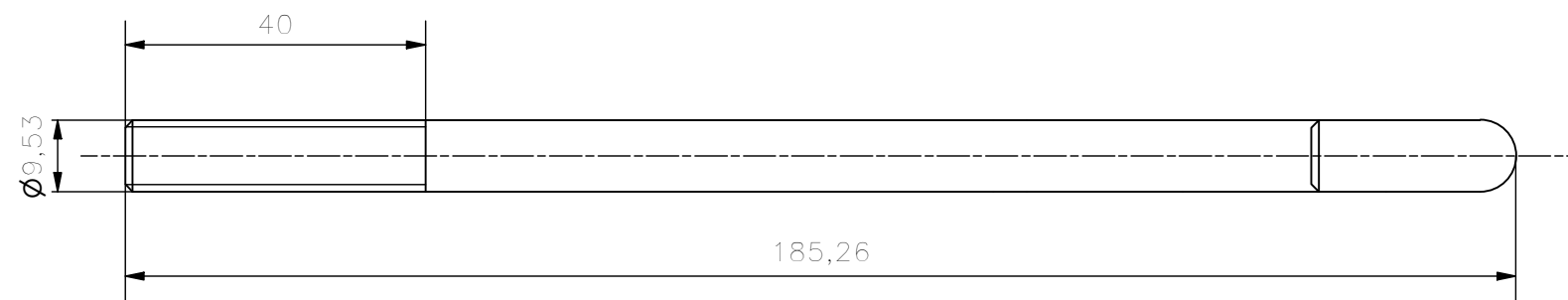
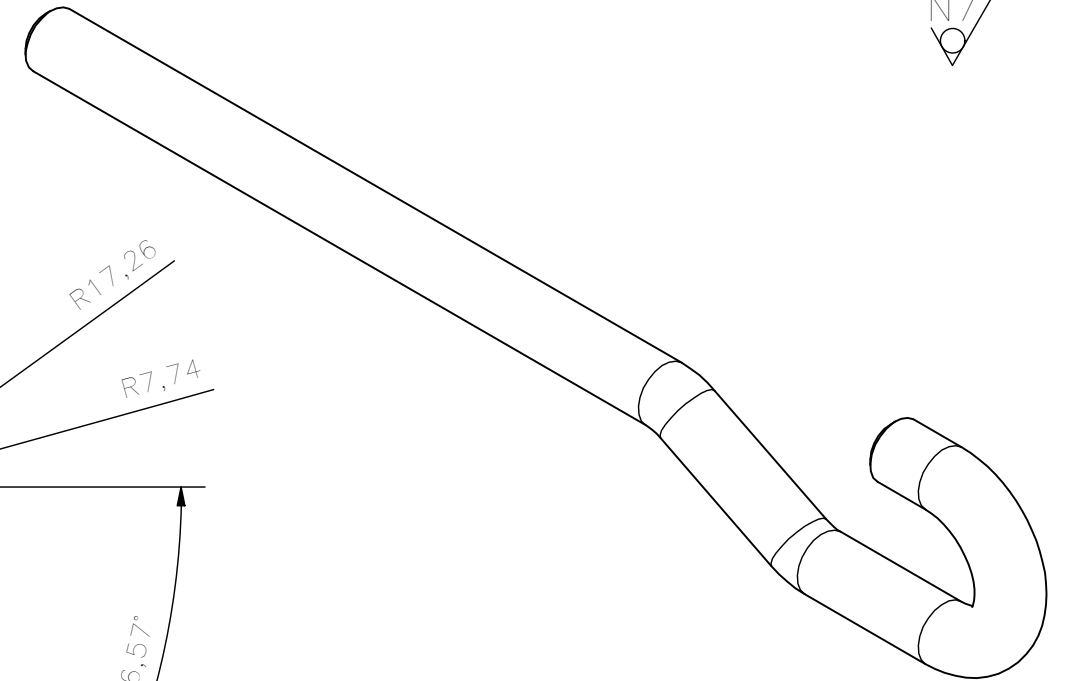
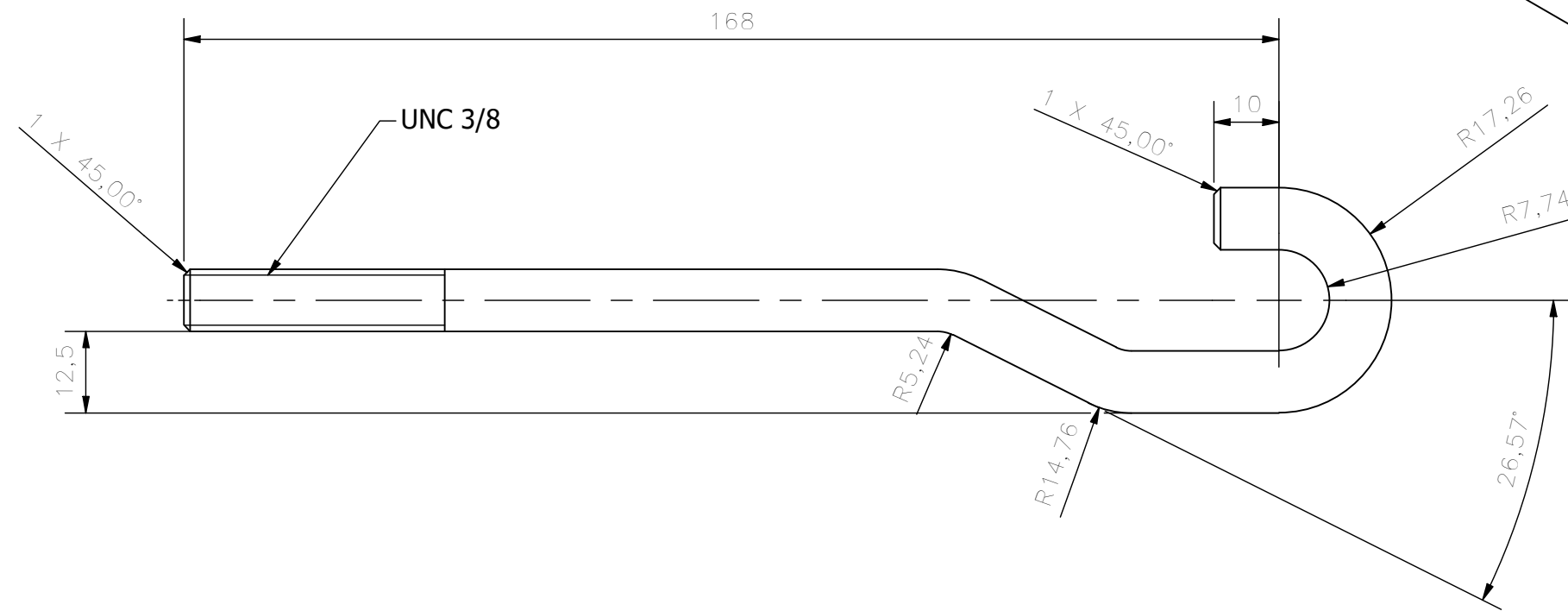


CORTE BB-BB

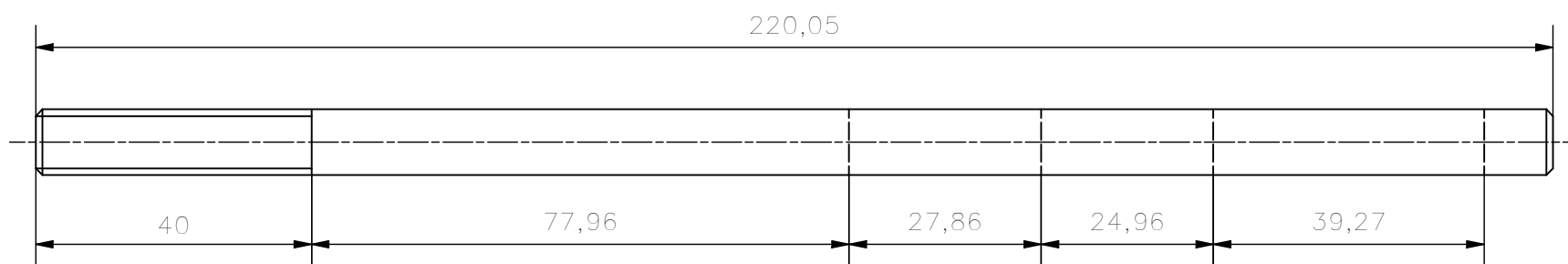


Nota:  
- Eliminar aristas vivas

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Nylon	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		$\pm 0,1$	1:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
ESPACIADOR			SSC.104		FECHA: 06-01-2022



Desarrollo del elemento:

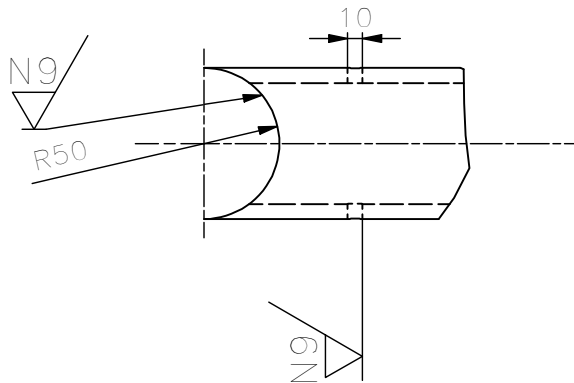


NOTA:

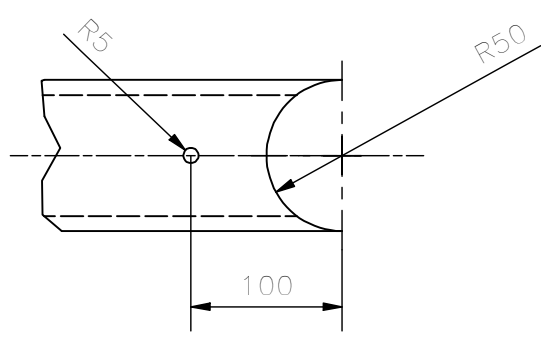
- Utilizar eje de acero de  $\phi$  3/8
- Eliminar aristas vivas
- Rosca UNC 3/8

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Acero AISI 1018	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,1	1:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PERNO TIPO GANCHO			SSC.105		FECHA:
					06-01-2022

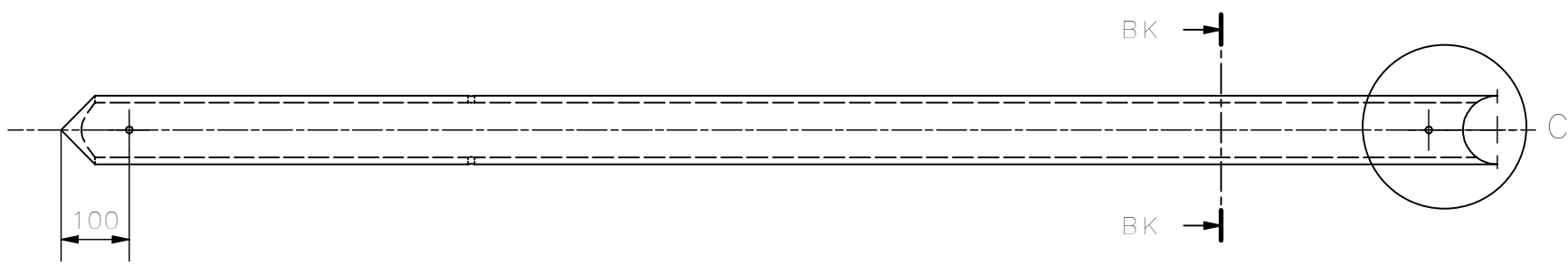
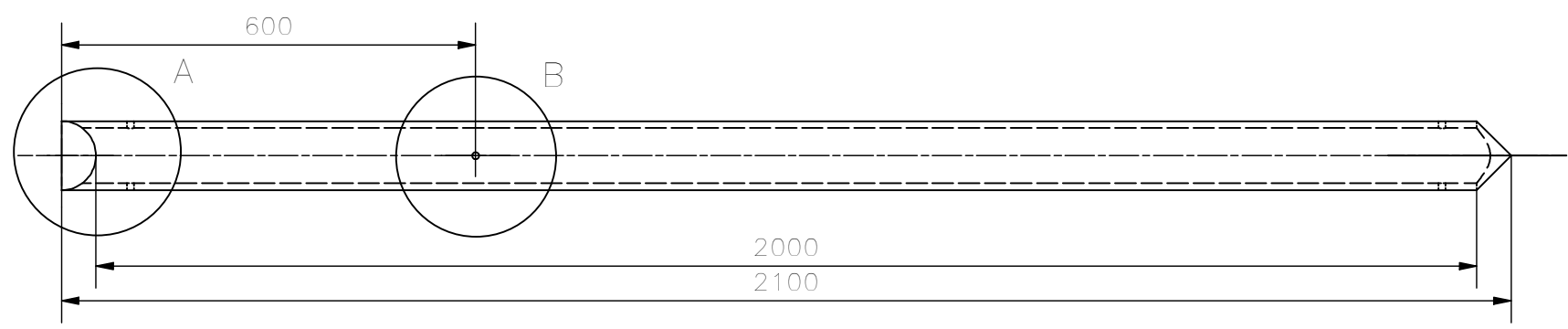
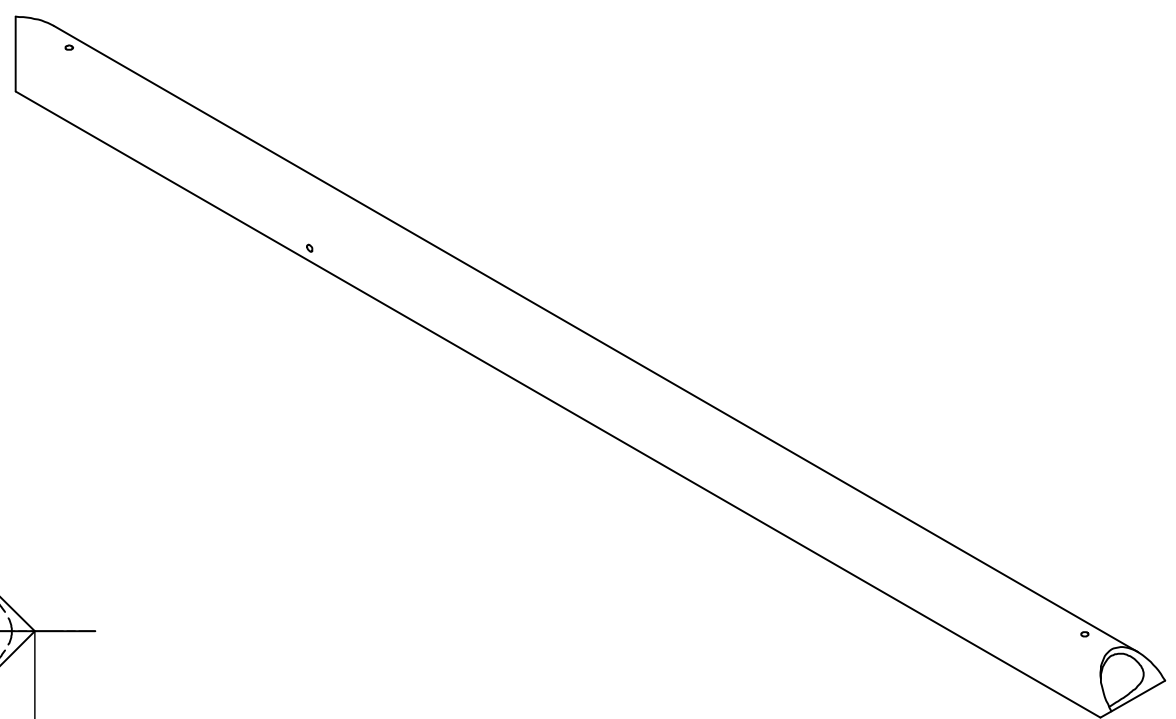
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



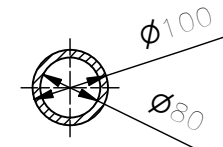
DETALLE C  
ESCALA 1 : 5



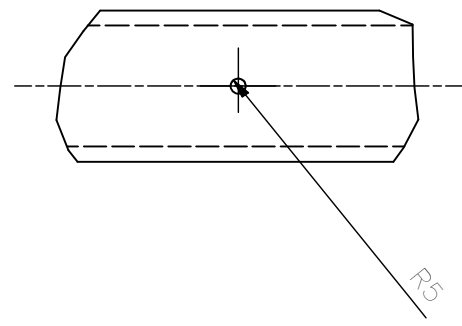
N7 (N9)



CORTE BK-BK



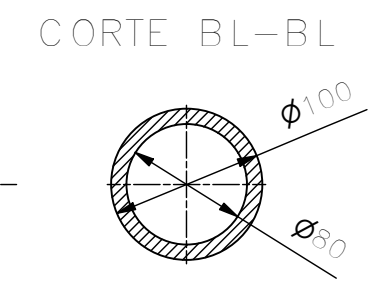
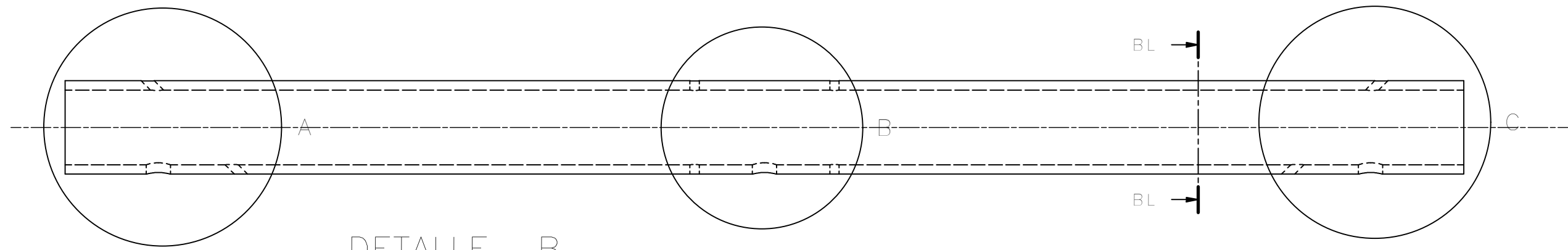
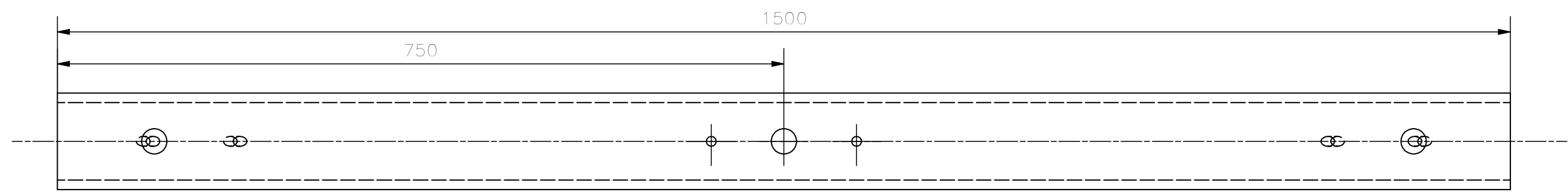
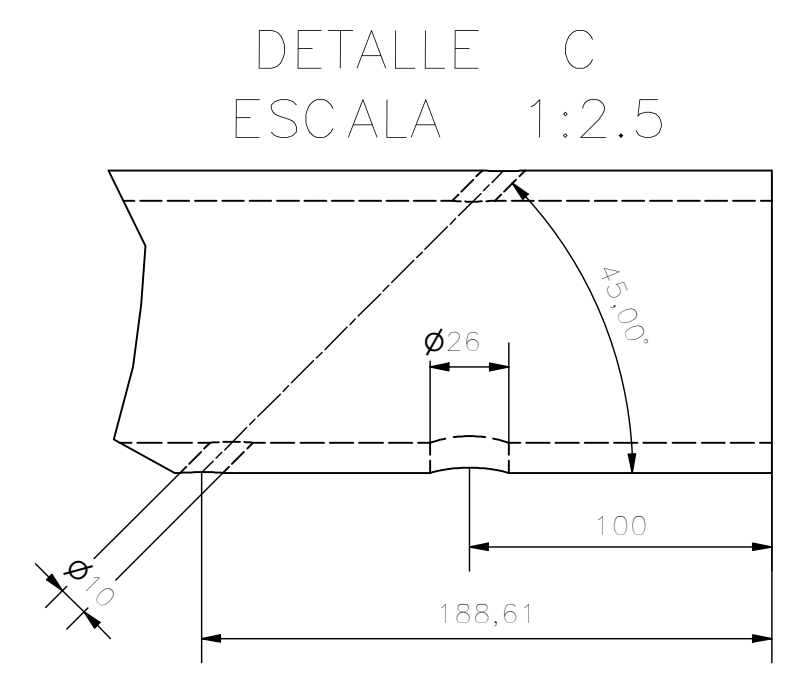
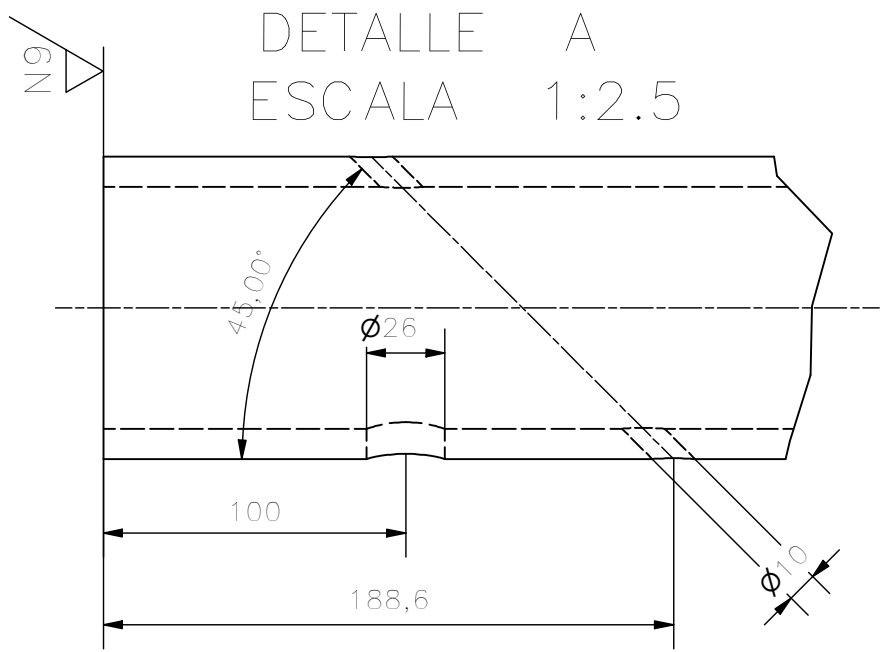
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5



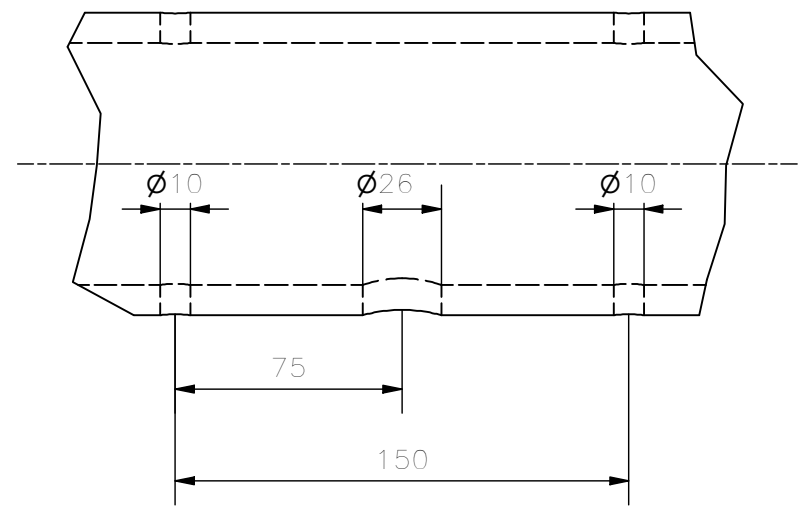
Nota:

- Utilizar caña guadua de diámetro uniforme en todos los culmos
- Realizar un corte tipo boca de pescado en los extremos de la columna
- Eliminar astillas en los cortes y en las perforaciones
- Acabado superficial para todas las perforaciones N9
- Acabado superficial para todas los cortes tipo boca de pescado N9

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Caña guadua	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,5	1:10	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
COLUMNA			SSC.106		FECHA:
					06-01-2022



DETALLE B  
ESCALA 1:2.5

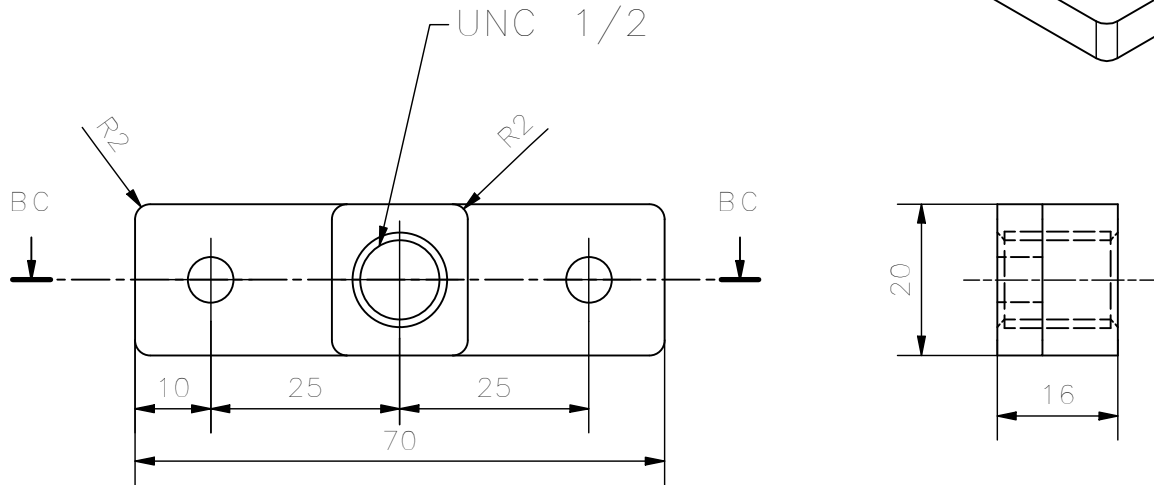
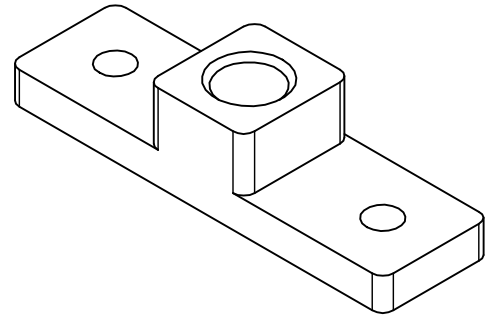


Nota:

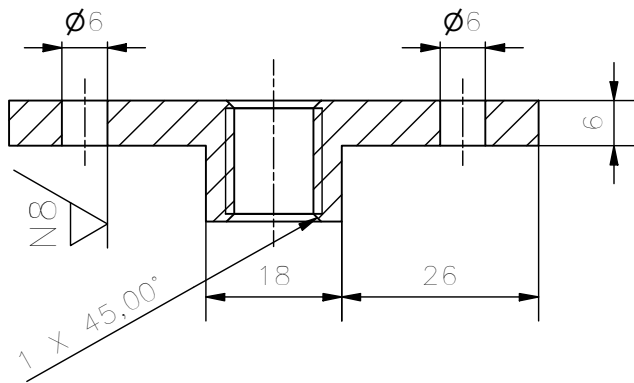
- Utilizar caña guadua de diámetro uniforme en todos los culmos
- Eliminar astillas en los cortes y en las perforaciones.
- Acabado superficial para todas las perforaciones N9
- Acabado superficial para todas los cortes N9

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta
MATERIAL: Caña guadua	TOL. GRAL.: ± 0,5	ESCALA 1:5	DIS.:	Erick Acosta
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
BASE		SSC.107		FECHA: 06-01-2022

N7 ( N8 )



CORTE BC - BC

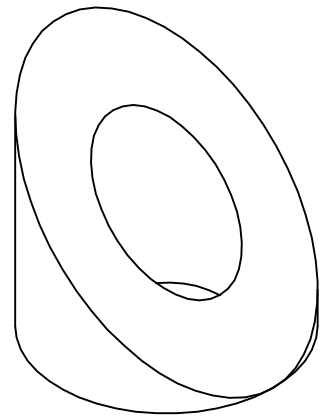
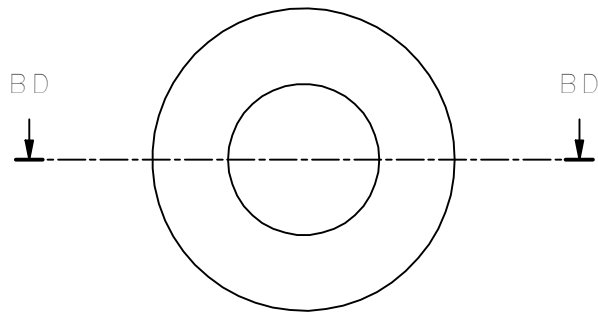


NOTA:

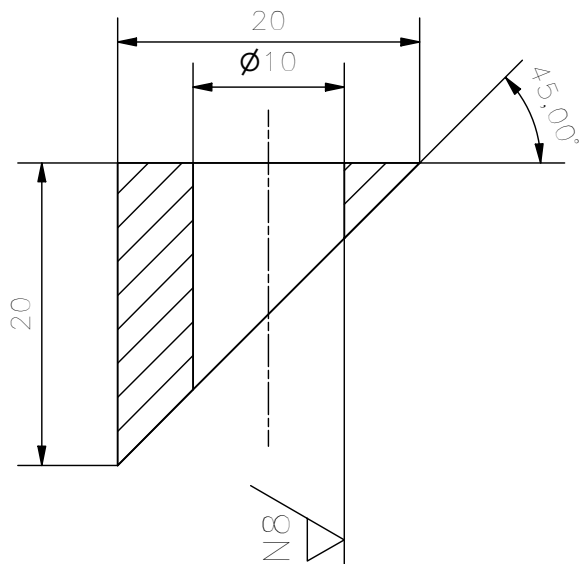
- Eliminar aristas vivas
- Rosca UNC 1/2
- Todas la perforaciones tienen acabado superficial N8

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Acero AISI 1018	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,1	1:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
BASE NIVELADOR			SSC.108		FECHA: 06-01-2022

N7 ( N8 )



CORTE BD-BD



NOTA:  
- Eliminar aristas vivas

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta	
MATERIAL:	Acero AISI 1018	TOL. GRAL.:	ESCALA	DIS.:	Erick Acosta
		± 0,1	2:1	REV.:	Prof. Marco Guamán A.
ARANDELA TIPO CUÑA		SSC.109			FECHA: 06-01-2022

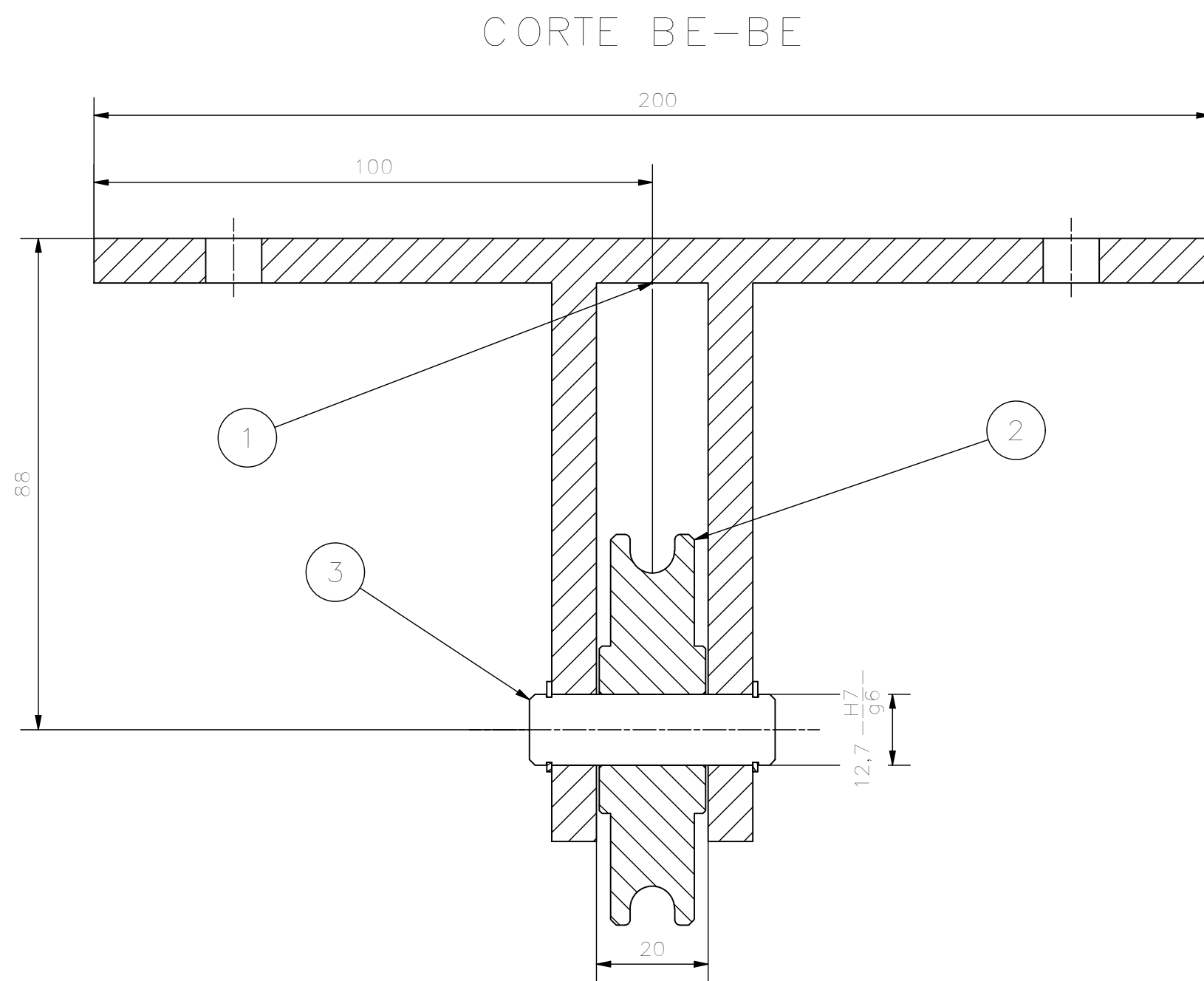
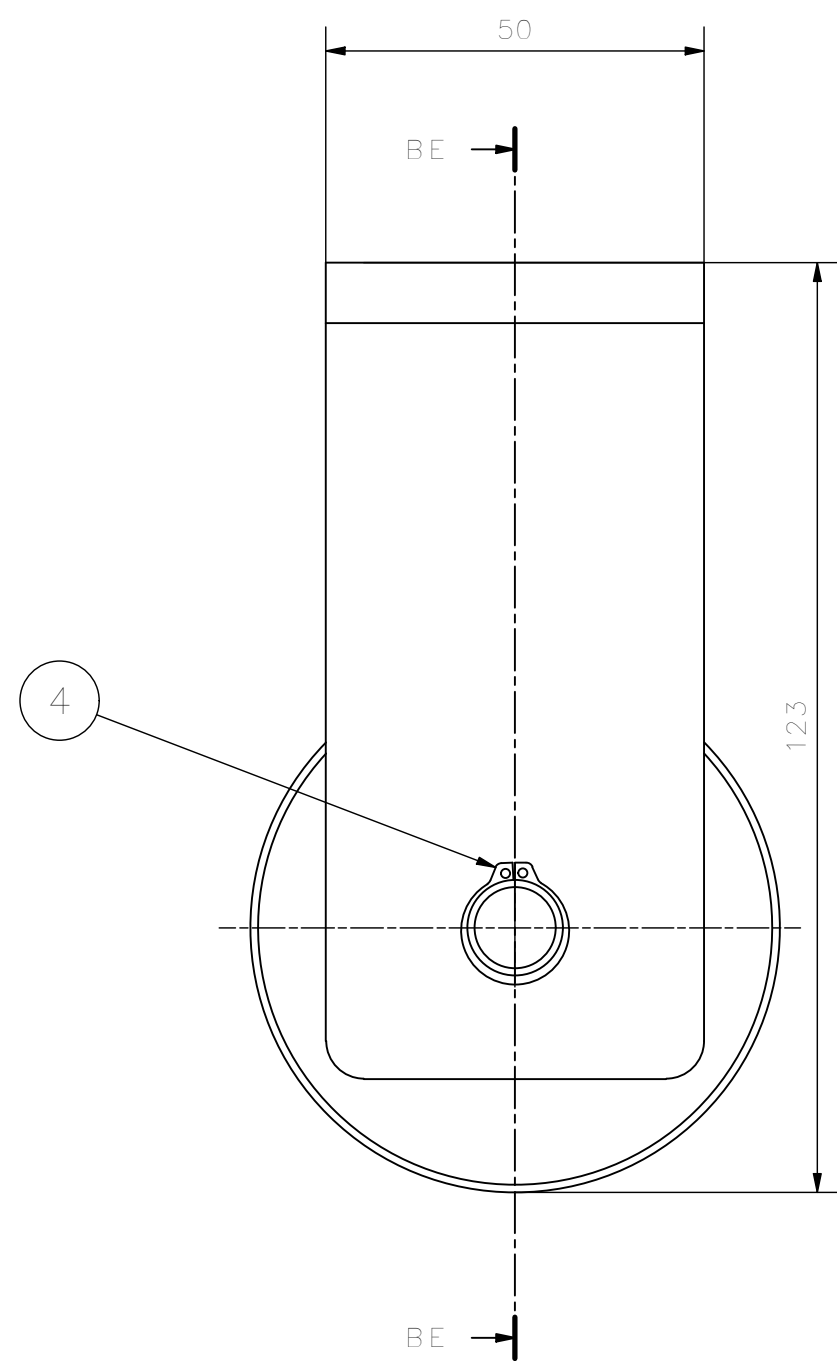
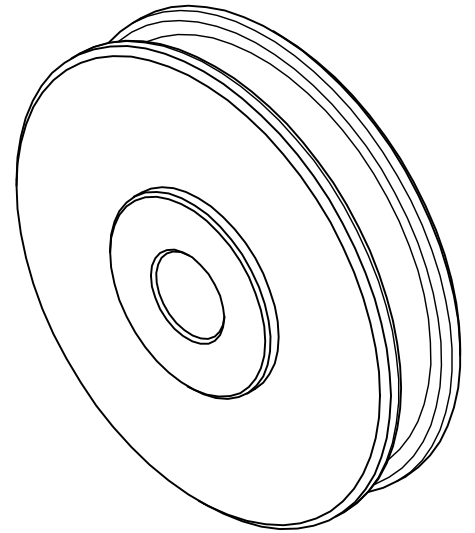
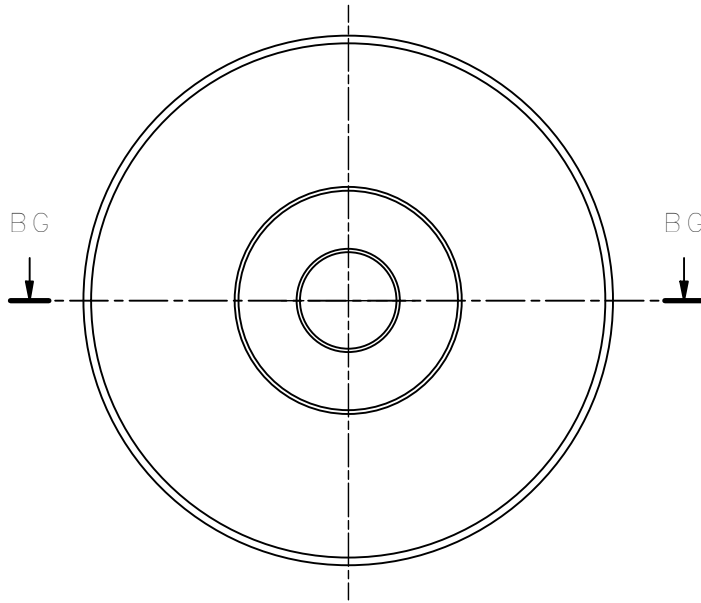


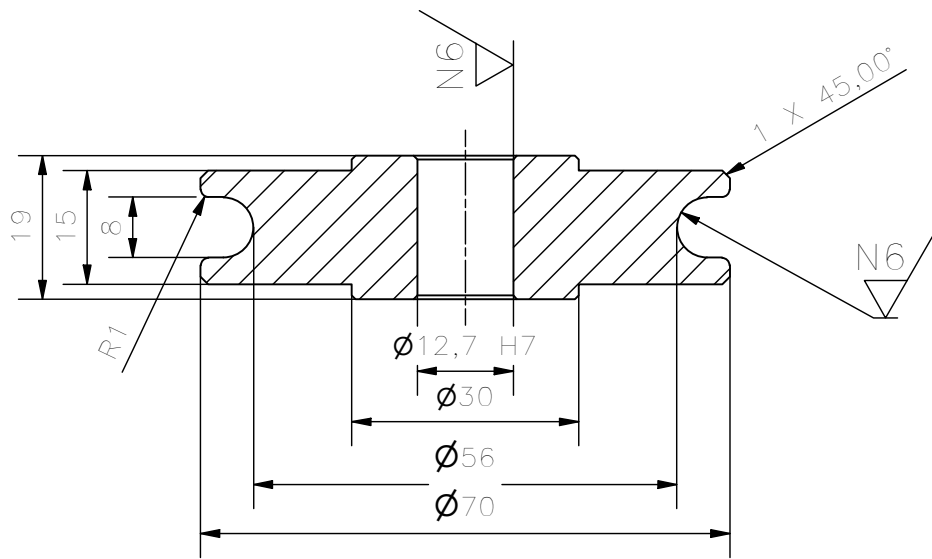
TABLA DE AJUSTES				
VALOR	AJUSTE	LÍMITES		
		MÁX	MÍN	
Ø12,7	H7/g6	0,035	0,006	

ELEMENTOS NORMALIZADOS						
4	D2	Anillo de seguridad 1/2		4	Acero para muelles 1060-1090	Anillo externo
PLANOS DE TALLER						
3	D5	Pasador polea	.202	2	Acero AISI 4340	
2	C5	Polea	.201	2	Acero AISI 1018	
PLANOS DE SUBCONJUNTO						
1	C4	Subensamblé soporte polea	.003			
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIB.: Erick Acosta DIS.: Erick Acosta REV.: Prof. Marco Guamán A.		ESCALA: 1:1
ENSAMBLE POLEA			SSC.002		FECHA: 17-01-2022	

N7 / (N6)



CORTE BG-BG

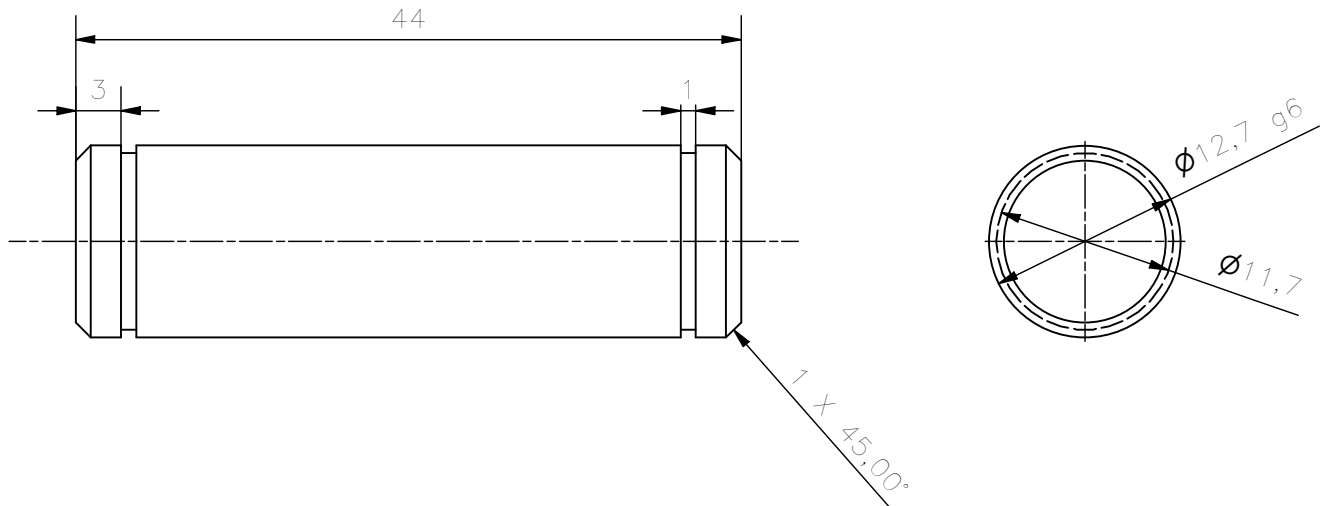
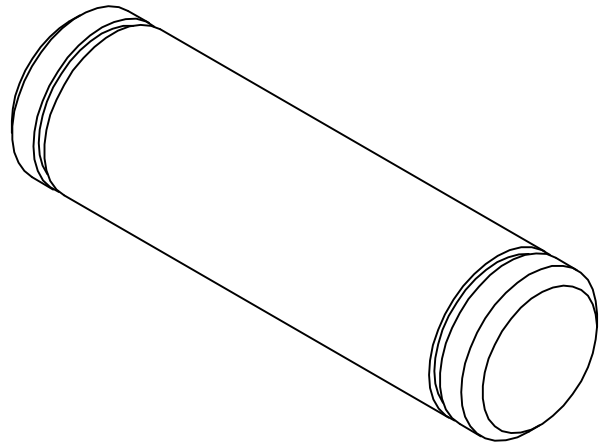


NOTA:  
- Eliminar aristas vivas

VALOR	LÍMITE
$\phi 12,7 H7$	12,718
	12,7

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Erick Acosta	DIS.: Erick Acosta
MATERIAL:	Acero AISI 1018	TOL. GRAL.:	ESCALA	REV.: Prof. Marco Guamán A.
		$\pm 0,1$	1:1	
POLEA		SSC.201		FECHA: 07-01-2022



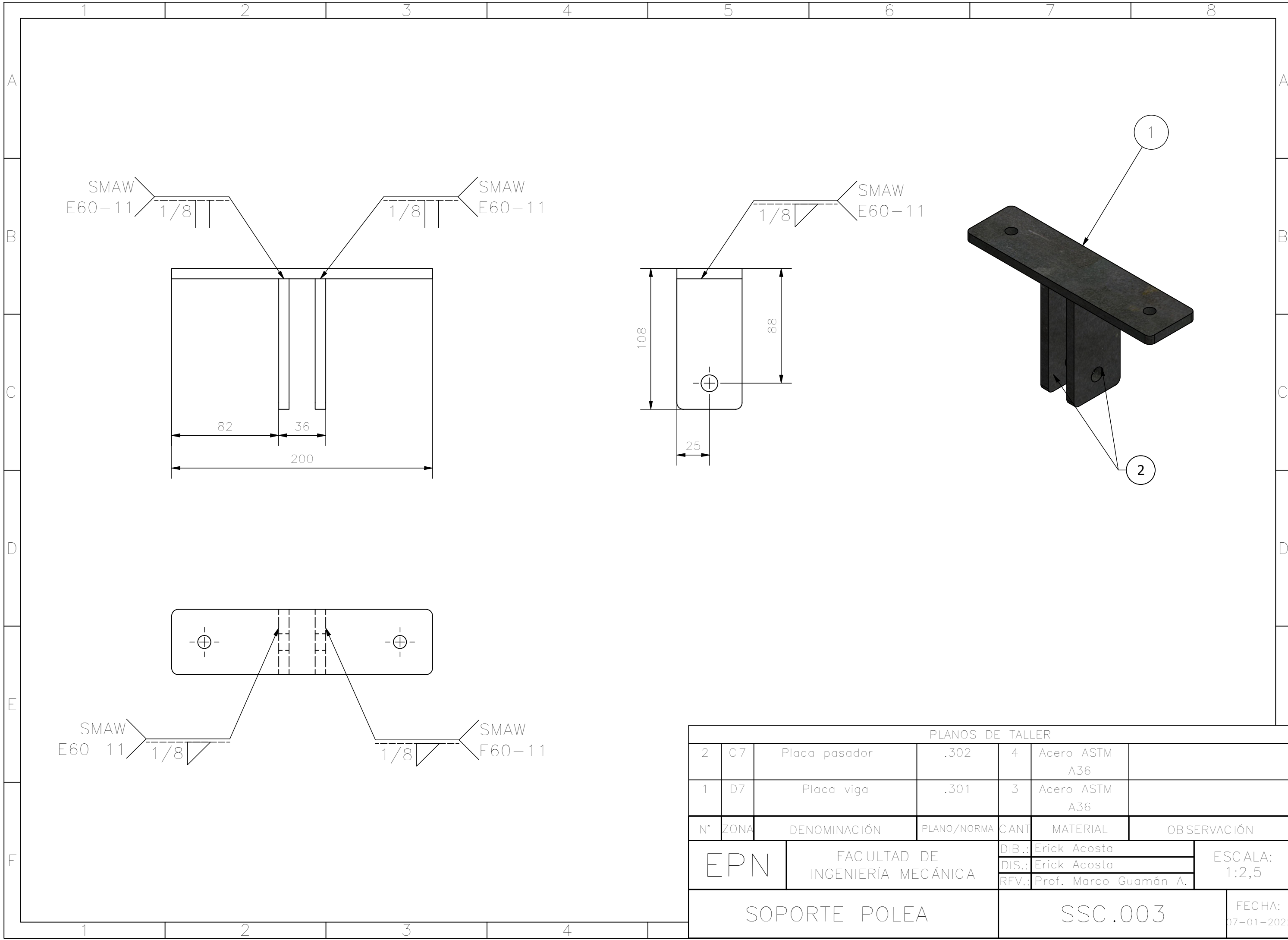


NOTA:

- Eliminar aristas vivas
- Utilizar eje de acero de  $\phi$  1/2

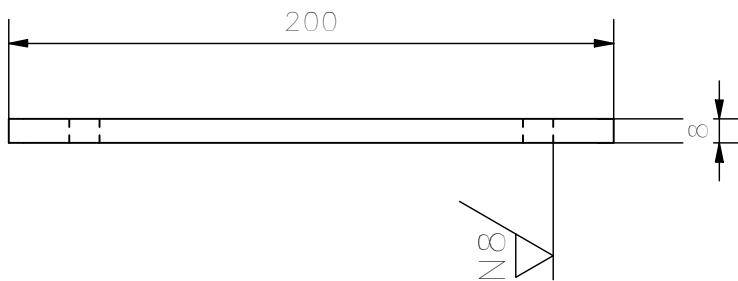
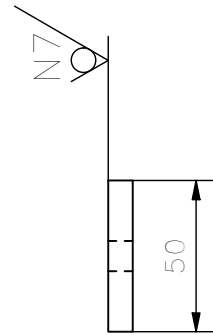
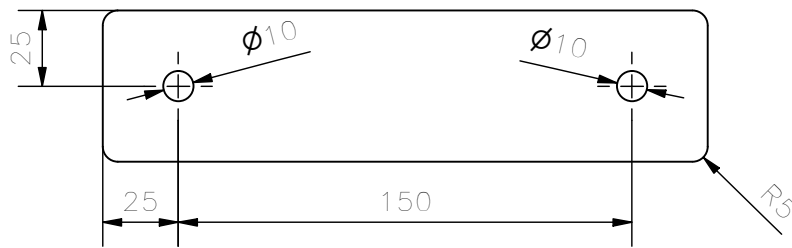
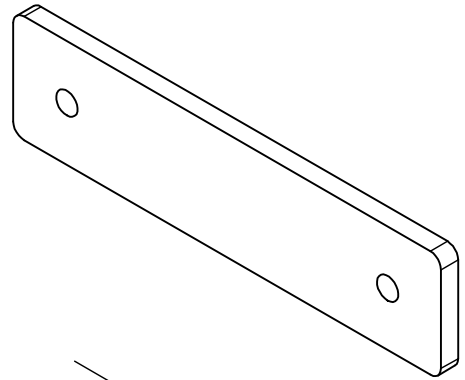
VALOR	LÍMITE
$\phi$ 12.7 H7	12,694
	12,683

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Erick Acosta	DIS.: Erick Acosta
MATERIAL:	Acero AISI 4340	TOL. GRAL.:	ESCALA	REV.: Prof. Marco Guamán A.
		$\pm$ 0,1	2:1	
PASADOR POLEA		SSC.202		FECHA: 07-01-2022



PLANOS DE TALLER						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	C7	Placa pasador	.302	4	Acero ASTM A36	
1	D7	Placa viga	.301	3	Acero ASTM A36	
EPN				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		ESCALA: 1:2,5
SOPORTE POLEA				SSC.003		FECHA: 07-01-2022
				DIB.: Erick Acosta		
				DIS.: Erick Acosta		
				REV.: Prof. Marco Guamán A.		

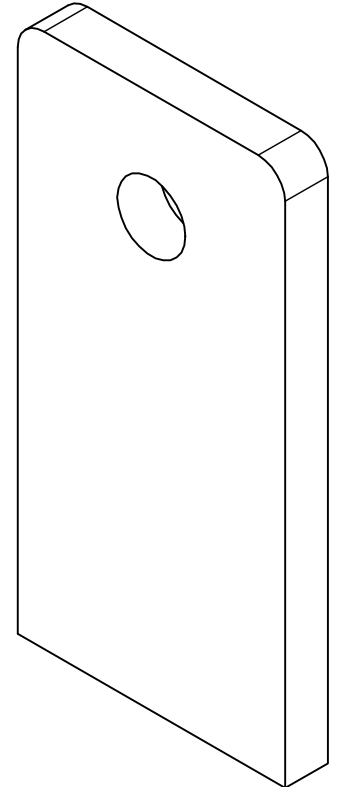
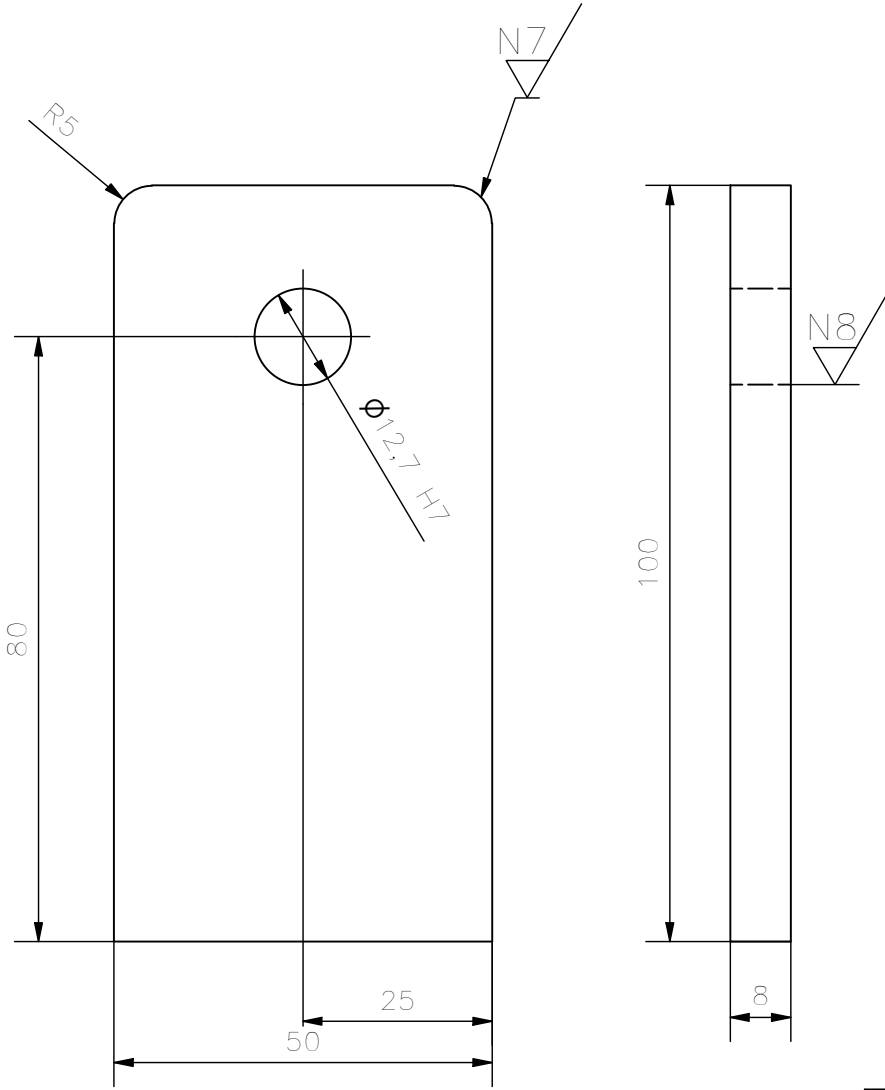
N7 (N7 N8)



NOTA:  
- Eliminar aristas vivas

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta
MATERIAL: Acero ASTM A36	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA 1:2,5	DIS.:	Erick Acosta
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PLACA VIGA		SSC.301		FECHA: 07-01-2022

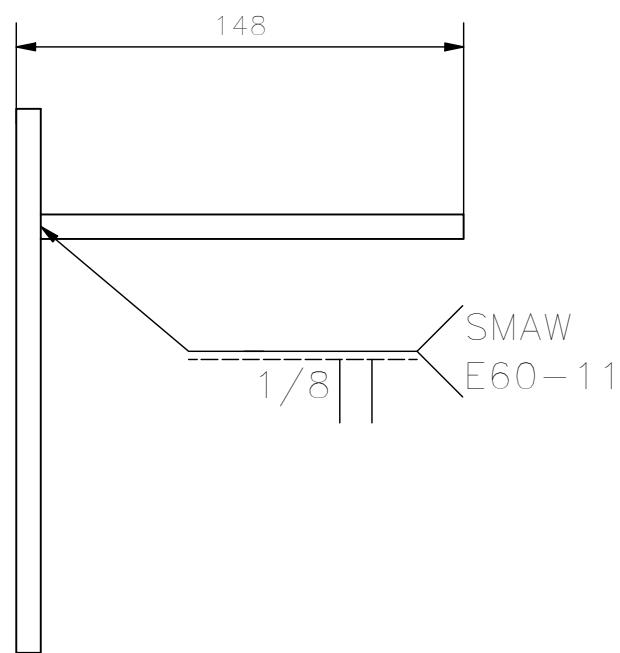
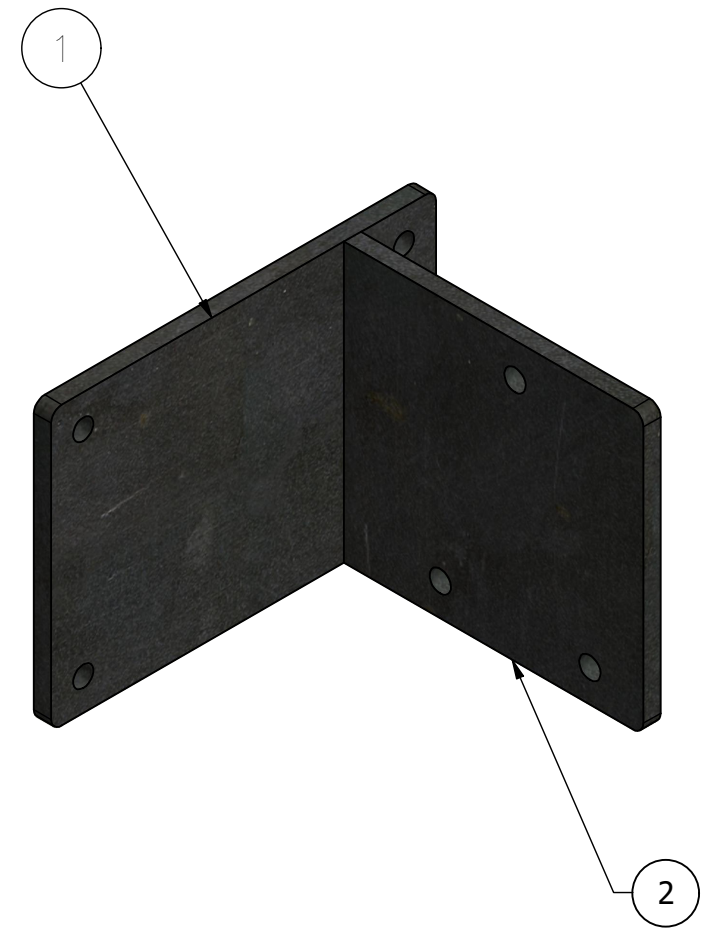
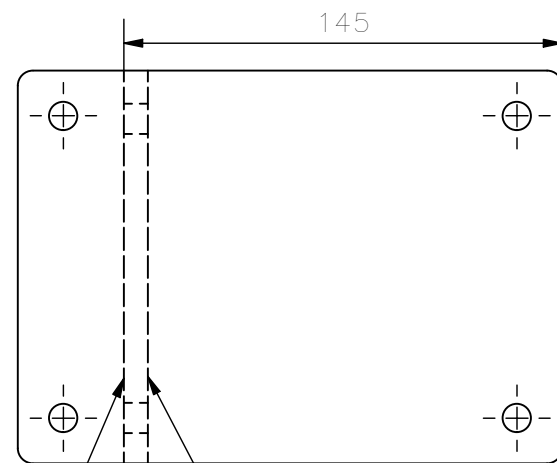
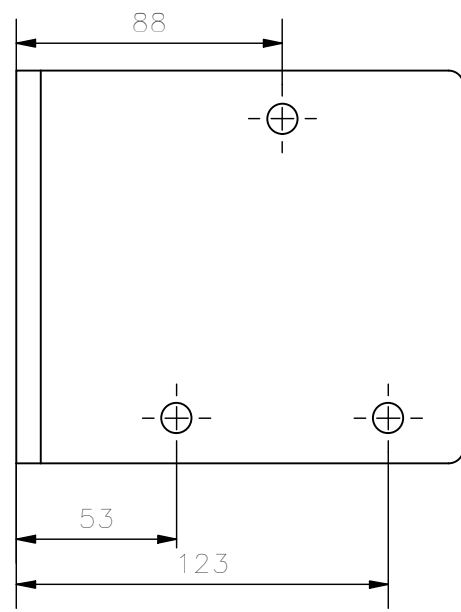
N7 / (N7 / N8)



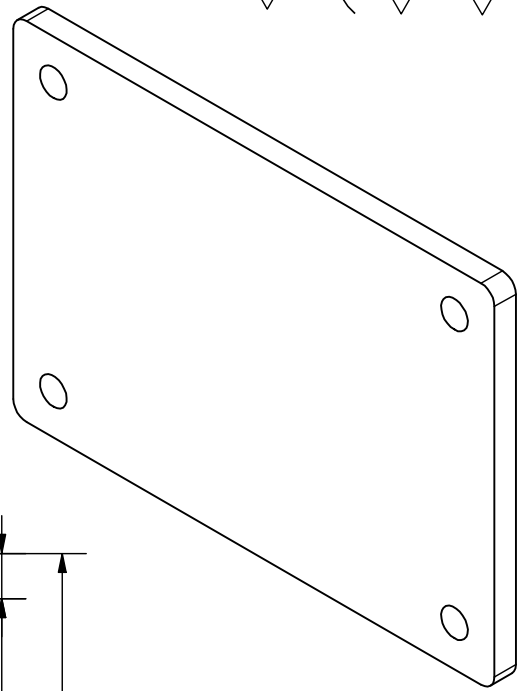
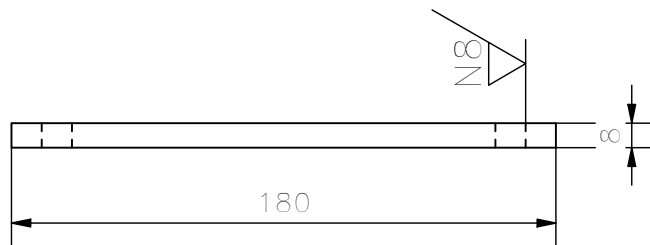
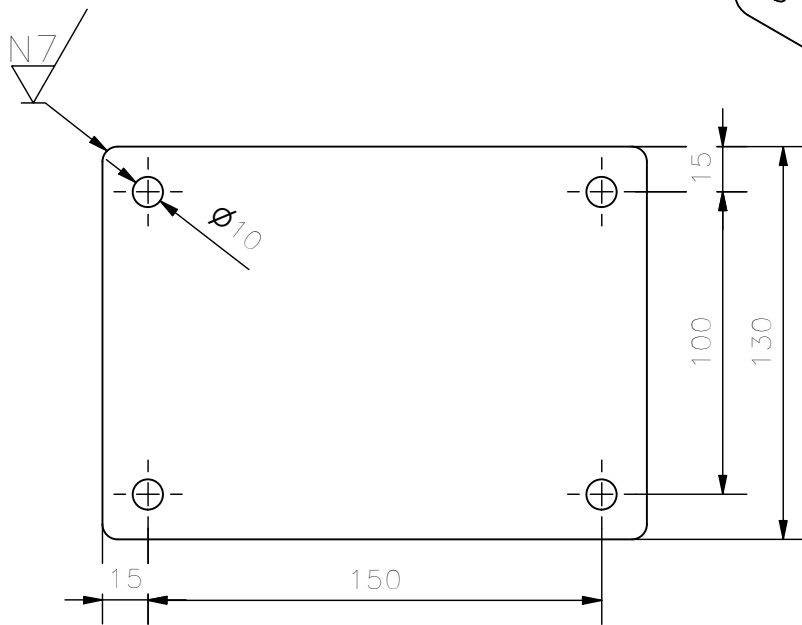
VALOR	LÍMITE
∅12.7 H7	12,718
	12,7

NOTA:  
- Eliminar aristas vivas

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA				
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta			
MATERIAL:	Acero ASTM A36	TOL. GRAL.:	± 0,1	ESCALA	1:1	DIS.:	Erick Acosta
				REV.:	Prof. Marco Guamán A.		
PLACA PASADOR			SSC.302		FECHA:		
					07-01-2022		



PLANOS DE TALER						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	C7	Placa cbrestante	.402	1	Acero ASTM A36	
1	C7	Placa columnas	.401	1	Acero ASTM A36	
EPN				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		ESCALA: 1:2,5
SOPORTE CABRESTANTE				SSC.004		FECHA: 07-01-2022
				DIB.: Erick Acosta		
				DIS.: Erick Acosta		
				REV.: Prof. Marco Guamán A.		

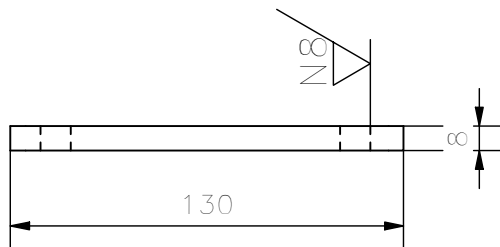
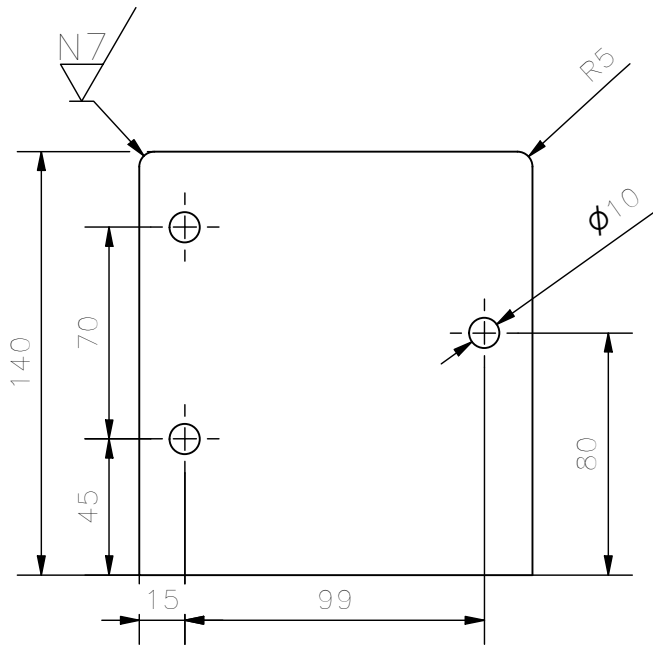
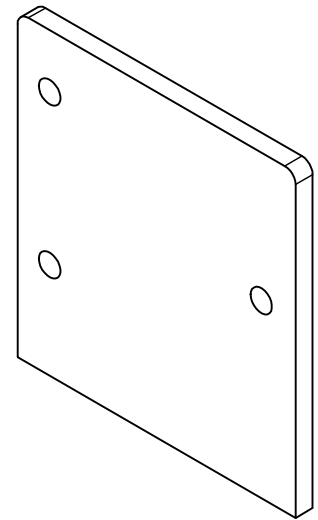


NOTA:

- Eliminar aristas vivas
- Perforaciones  $\varnothing 10$
- Todas la perforaciones tienen acabado superficial N9

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍAMECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta
MATERIAL: Acero ASTM A36	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA 1:2,5	DIS.:	Erick Acosta
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PLACA COLUMNA		SSC.401		FECHA: 07-01-2022

N7/ (N7/ N8/)



NOTA:  
 - Eliminar aristas vivas  
 - Perforaciones  $\phi 10$

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Erick Acosta
MATERIAL: Acero ASTM A36	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA 1:2,5	DIS.:	Erick Acosta
			REV.:	Prof. Marco Guamán A.
PLACA CABRESTANTE		SSC.402		FECHA: 07-01-2022