



DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE PROTOTIPOS DE CAMINADOR Y
MULETAS DE *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH*

JURGEN STEPHAN ACOSTA FERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2017



DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE PROTOTIPOS DE CAMINADOR Y
MULETAS DE *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH*

JURGEN STEPHAN ACOSTA FERNANDEZ

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTORES
ING. JOSE JAIME GARCIA.
ING. JAIME BUITRAGO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI

2017

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS.....	8
MARCO CONCEPTUAL	9
DISCAPACIDAD	9
AYUDA TÉCNICA O PRODUCTO DE APOYO	10
CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS DE APOYO	10
GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GAK)	11
OBTENCIÓN DE LATAS DE GUADUA.....	11
REQUERIMIENTOS Y CRITERIOS DE DISEÑO	13
REQUISITOS DE DISEÑO.....	¡Error! Marcador no definido.
CRITERIOS SELECCIONADOS	¡Error! Marcador no definido.
FUNCIONALIDAD	14
COMPONENTE TECNOLÓGICO:	16
CRITERIO SOCIAL	17
CRITERIO MEDIOAMBIENTAL.....	17
ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	18
ESTRUCTURAS DE CAMINADORES Y MULETAS EN LATAS DE GUADUA	18
CAMINADOR CUADRÍPODE CON ELEMENTOS RECTOS	19
CAMINADOR TRÍPODE CON ELEMENTOS CURVOS.....	19
CAMINADOR TRÍPODE CON ELEMENTOS RECTOS.	20
MULETA CON APOYO AXILAR.....	21
MULETA CON APOYO EN EL CODO.	21
ALTERNATIVAS DE UNIÓN	22
UNION UTILIZANDO TORNILLOS Y ARANDELAS.....	22
UNIÓN UTILIZANDO FIBRAS DE FIQUE.....	23
SELECCIÓN DE MODELOS ESPECÍFICOS DE CAMINADORES Y MULETAS DE GAK PARA SU EVALUACIÓN Y ELABORACIÓN.....	26
ANÁLISIS COMPUTACIONALES DE LOS PROTOTIPOS.....	28
TÍPOS DE ELEMENTO Y MALLAS.....	¡Error! Marcador no definido.
PROPIEDADES DEL MATERIAL.....	29
Cargas en el caminador.....	29
Resultados para el caminador	32
Cargas en las muletas	35

Resultados para las muletas	35
PROTOTIPOS ELABORADOS	37
CAMINADOR DE UNIONES PERNADAS	37
CAMINADOR CON JUNTAS DE FIQUE Y PEGAMENTO PARA MADERA.....	37
MULETAS DE GUADUA CON UNIONES ATORNILLADAS.....	38
EVALUACION EXPERIMENTAL DE LOS PROTOTIPOS	40
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA ESTATICA	40
PRUEBAS DE LA UNION DE FIQUE.....	40
Prueba de cargas frontales y laterales en el caminador con uniones de fique.	41
Pruebas en las muletas.....	44
EVALUACIÓN DE LOS PROTOTIPOS EN CASOS DE CARGA CICLICA.....	45
Ensayos de fatiga en la junta el caminador	46
EVALUACION ECONOMICA DE LOS PROTOTIPOS	51
CONCLUSIONES.....	53
BIBLIOGRAFIA.....	56
ANEXOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Obtención de latas de guadua.....	12
Figura 1-2 Sección de culmo de guadua para obtener latas.....	12
Figura 2-1 Diagrama de requerimientos y criterios	13
Figura 2-2 Algunos parámetros antropométricos importantes	16
Figura 3-1 Caminador cuadrípode con elementos rectos	19
Figura 3-2 Caminador trípode con elementos curvos	19
Figura 3-3 Caminador trípode con elementos rectos	20
Figura 3-4 Muleta con apoyo axilar.....	21
Figura 3-5 Muleta con apoyo en el codo.....	21
Figura 3-6 Unión pernada en un plano	22
Figura 3-7 Unión pernada en dos planos.....	23
Figura 3-8 Posición ortogonal de las latas.....	24
Figura 3-9 Amarre de latas ortogonales	25
Figura 3-10 Amarre de unión completa	25
Figura 3-11 Unión construida con el procedimiento planteado	26
Figura 4-1 Enmallado	28
Figura 4-2 Perfil de las latas en los prototipos.....	28
Figura 4-3 Fuerzas en un caminador	30
Figura 4-4 Componentes de fuerza horizontal y vertical	31
Figura 4-5 Desplazamientos máximos registrados	32
Figura 4-6 Análisis con deslizamiento	33
Figura 4-7 Desplazamientos con una pata de la estructura libre	33
Figura 4-8 Estabilidad lateral sin barra diagonal	34
Figura 4-9 Estabilidad lateral con rigidizador diagonal.....	34
Figura 4-10 Cargas en las muletas debido al uso	35
Figura 4-11 Desplazamientos en estructuras muletas según la carga aplicada	36
Figura 5-1 Caminador con uniones pernadas	37
Figura 5-2 Caminador con uniones de fique.....	38
Figura 5-3 Muletas de guadua	38
Figura 6-1 Ensayo de resistencia a carga compresiva mediante desplazamiento controlado	40
Figura 6-2 Resultados pruebas de compresión en uniones de fique	41
Figura 6-3 Esquema del montaje para pruebas de carga lateral y frontal	41
Figura 6-4 Prueba estática del caminador de fique con cargas frontales y laterales	42
Figura 6-5 Prueba de caminador con carga vertical en puntos de apoyo	43
Figura 6-6 Prueba de caminador con un soporte libre	43
Figura 6-7 Pruebas de carga estática en la muleta.....	44
Figura 6-8 Datos registrados de desplazamientos en zonas críticas de la muleta.....	45
Figura 6-9 Curva de carga para la 1er unión ensayada.....	47
Figura 6-10 Curva de carga para la segunda unión ensayada	47
Figura 6-11 Tercer ensayo de fatiga, segundo espécimen con mayor nivel de carga	48
Figura 6-12 Cuarto ensayo de fatiga, tercera muestra diferente de unión	48
Figura 6-13 Área de esfuerzo local en la lata de guadua sometida a fatiga.....	49
Figura 6-14 Curva S-N a partir de las uniones probadas	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Medidas antropométricas para el diseño	15
Tabla 3-1. Matriz de decisión de las alternativas de diseño.....	27
Tabla 4-1. Propiedades elásticas de la GAK utilizadas para analizar el modelo.....	29
Tabla 6-1 Desplazamientos en el caminador con cargas frontales y laterales.....	42
Tabla 6-2 Ciclos de carga en pruebas de fatiga a la unión genérica con fibras de fique ...	49
Tabla 6-3 Esfuerzos en base logarítmica y porcentaje del peso del paciente.....	50

INTRODUCCIÓN

Las personas en situación de discapacidad motora, debido a enfermedades congénitas, o como resultado de lesiones físicas, requieren de ayudas técnicas para soporte de su propio peso y como coadyuvante para el movimiento del cuerpo en terapias de recuperación y desplazamiento cotidiano.

Hay varias ayudas que son utilizadas comúnmente en rehabilitación y soporte de personas que lo requieren debido a su condición física limitada, entre ellas, la silla de ruedas, el caminador, las muletas y el bastón.

En casos más particulares los pacientes requieren utilizar muletas como medio para poder movilizarse o realizar un procedimiento terapéutico de rehabilitación. Lamentablemente no todos pueden adquirir dichos dispositivos. Esta es una situación socialmente significativa la cual debe ser solucionada mediante alguna alternativa complementaria a las existentes.

Una ayuda técnica para caminar debe estar en la capacidad de soportar las cargas que ejerce una persona sobre ella, por lo tanto, debe cumplir con normas técnicas. Su material de elaboración, que por lo general es aluminio, hace de esta herramienta un producto que, de no ser suministrado de manera subsidiada por el estado, representa un costo que el usuario no puede cubrir en determinados casos.

Por otra parte, la producción de materiales metálicos como el aluminio o sus aleados requiere una gran demanda energética. La elaboración de muletas en aluminio entonces contribuye a la contaminación global de manera directa debido a su material de construcción. La guadua es un material clave a la hora de sustituir materiales convencionales por sostenibles.

Si pensamos en el caso de una persona que requiere de unas muletas, o un caminador, debemos tener en consideración algunos aspectos. Primero, Colombia es un país con más de 48 millones de habitantes, de los cuales aproximadamente el 91% se encuentra afiliado al sistema de salud, bien sea mediante el régimen contributivo o no. El resto, aproximadamente 4.32 millones de habitantes sigue sin tener el servicio. En segundo lugar, la población colombiana que habita en zonas apartadas vive en condiciones económicas que solamente permiten suplir las necesidades básicas.

Por consiguiente, en este proyecto se plantea el diseño y construcción de un prototipo reproducible de caminador y muletas elaboradas en latas de Guadua Angustifolia Kunth. La Guadua Angustifolia es un material de bajo costo, además la podemos encontrar distribuida como cultivo natural a través de toda la cordillera central y zona céntrica de Colombia.

Por último, se propone la Guadua Angustifolia como material de elaboración, debido a su accesibilidad y sostenibilidad. De manera intrínseca se debe corroborar que la guadua tenga propiedades mecánicas adecuadas para lograr que este diseño cumpla con las características técnicas necesarias y garantizar la seguridad a una persona que decida libremente reproducirlas teniendo en cuenta los parámetros de diseño aquí presentados.

OBJETIVOS

General.

- Elaborar prototipos de caminador y muletas de Guadua Angustifolia Kunth, sencillos, ergonómicos y de bajo costo, para personas en situación de discapacidad.

Específicos.

- Especificar los requerimientos de diseño para caminador y muletas, teniendo en cuenta aspectos como la ergonomía y las distintas opciones de unión y sujeción.
- Concebir alternativas de diseño específicas y seleccionar la más adecuada de acuerdo a los requerimientos.
- Construir los prototipos seleccionados para el caminador y las muletas.
- Evaluar los prototipos de manera analítica y experimental, para determinar la viabilidad de su elaboración y uso.
- Redactar un manual de elaboración y uso para el público general.

CAPÍTULO 1

1. MARCO CONCEPTUAL

El contexto de este proyecto se desarrolla alrededor de diferentes temas, es necesario hablar un poco acerca de cada uno de ellos, que bien pueden ser objetos o conceptos que en el desarrollo del proyecto se ven correlacionados.

1.1. DISCAPACIDAD

Según la OMS (organización mundial de la salud) [1], partiendo del principio del universalismo se considera discapacitado a un ser humano que presenta alguna limitación que dificulte su funcionamiento corporal, personal y social ligado a una condición de salud.

En dicho concepto la discapacidad es relativa a la expectativa del funcionamiento de la persona, y se ha visto afectado por la Ciencia, Burocracia y la Religión, donde se hace referencia a un “yo” roto, imperfecto o incompleto y que se presta para pretensiones de lastima o caridad hacia los sujetos en situación de discapacidad.

En consecuencia, de lo anterior se hace notable la variación de la interpretación de las condiciones de deficiencia, dependiendo de la ubicación cultural y temporal. Por lo tanto, la OMS, mediante la CIDDM (Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías) de 1980, presenta definiciones transculturales, que se encuadran dentro de la <<experiencia de la salud>> pero que se sobreponen a los esquemas de enfermedad.

- Deficiencia: Toda pérdida o anormalidad de una estructura o función psicológica, fisiológica o anatómica.
- Discapacidad: Toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano.
- Minusvalía: Es una situación desventajosa para un individuo determinado, consecuencia de una deficiencia o una discapacidad, que limita o impide el desempeño de un rol que es normal en su caso (en función de su edad, sexo o factores sociales y culturales).

La organización mundial para la salud OMS, afirma que el funcionamiento de un individuo en condición de discapacidad dentro de un contexto específico se interpreta como una relación o interacción entre la condición de salud y los factores contextuales (ej. ambientales y personales). Uno de estos factores podría ser “tener o no una ayuda técnica”, que le permita realizar y participar de ciertas actividades. La interacción se manifiesta de manera bidireccional entre el sujeto y el ambiente, y la presencia de discapacidad puede alterar inclusive la propia condición o estado de salud [2]. Por consiguiente, es necesario conocer un poco más de información sobre que es una ayuda técnica, y los tipos de ayuda existentes más conocidos.

1.2. AYUDA TÉCNICA O PRODUCTO DE APOYO

Producto de apoyo se define en la norma UNE-EN ISO 9999 V2 Productos de apoyo para personas con discapacidad, clasificación y terminología (2012) como: Cualquier producto (incluyendo dispositivos, equipo, instrumentos y software) fabricado especialmente o disponible en el mercado [3], utilizado por o para personas con discapacidad destinado a lo siguiente:

- Facilitar la participación.
- Proteger, apoyar, entrenar, medir o sustituir funciones/estructuras corporales y actividades.
- Prevenir deficiencias, limitaciones en la actividad o restricciones en la participación.

Algunos de estos dispositivos comúnmente utilizados y fácilmente de encontrar en el mercado son los siguientes:

Caminador: Es una estructura simple, generalmente de aluminio que proporciona soporte bilateral, eliminando así la necesidad de utilizar dos bastones o dos muletas [3].

El modelo más simple de andador es el de cuatro patas que terminan en conteras de goma para mejorar la tracción y evitar el deslizamiento.

El caminador de cuatro puntas tiene la mejor estabilidad, pero debe ser levantado del suelo cada vez que se va a dar un paso, son apropiados para situaciones donde hay mucha fricción o irregularidades como en el prado.

El caminador de cuatro ruedas debe ser empujado hacia adelante, proporciona un nivel moderado de estabilidad, es más fácil de usar en superficies lisas y de madera dura o cerámica. Sin embargo, este tipo de caminadores son relativamente voluminosos, por lo tanto, más difíciles de guardar en un coche.

Muletas: Son estructuras simples que presenta un apoyo en el antebrazo, codo o en las axilas, y generalmente terminan en una punta adaptada con un caucho que realiza el contacto con el suelo [4]. Las muletas pueden ser una buena opción después de una lesión o cirugía de la pierna si sólo necesita un poco de ayuda con el equilibrio y la estabilidad. Las muletas también sirven cuando su pierna sólo está un poco débil o adolorida.

Bien, partiendo del concepto básico de las ayudas técnicas, se hace importante conocer el material que se utilizara principalmente para la construcción de los prototipos en el proyecto.

1.2.1. CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS DE APOYO

Se debe tener en cuenta que las ayudas técnicas, que es el producto que deseamos obtener, se encuentran clasificadas por normas internacionales. En Colombia se han adoptado también estas normas de clasificación mediante la NTC-ISO9999 [5]. Dentro de esta clasificación se encontraron diferentes tipos de caminadores y muletas.

Los siguientes son modelos de caminadores y muletas convencionales encontrados en la norma, ellos se tomaron como punto de partida para concebir prototipos de GAK, se escribió una abreviación al final de cada nombre.

- Muletas:
 - Muletas con apoyo en el codo. (**MAC**)
 - Muletas con soporte para el antebrazo. (**MSA**)
 - Muletas con apoyo debajo del brazo. (**MAB**)
- Caminadores:
 - Caminadores trípodes. (**CT**)
 - Caminadores cuadrípodes. (**CC**)
 - Caminadores de cinco varillas. (**CCV**)

1.3. GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GAK)

Utilizada durante siglos y considerada como uno de los mejores tipos de bambú [6]. Descrito como un género segregado del bambú, su nombre proviene de “guadua” (hoja estrecha) una palabra de comunidades indígenas de Colombia y Ecuador. Y el apellido del alemán botánico Kunth quien la clasificó en 1822.

Esta hierba se conoce comúnmente como Acero Vegetal, y es utilizada actualmente en elaboración de muebles, estructuras, artesanías, etc.

La GAK posee unas propiedades mecánicas aprovechables como su ligereza, flexibilidad, resistencia longitudinal, dureza, etc. También posee una buena adaptabilidad y versatilidad. Por lo tanto, es una buena opción para obtener materia prima aprovechando sus bondades ambientales como la fijación de carbono y preservación de cuencas hidrográficas.

1.3.1. OBTENCIÓN DE LATAS DE GUADUA

Una lata de guadua es el producto de cortar longitudinalmente un culmo de Guadua rolliza (en el sentido de las fibras), se realiza el corte mediante una herramienta como, una sierra de mesa y una guía, o bien, se puede realizar utilizando un machete, ver **Figura 1-1**.

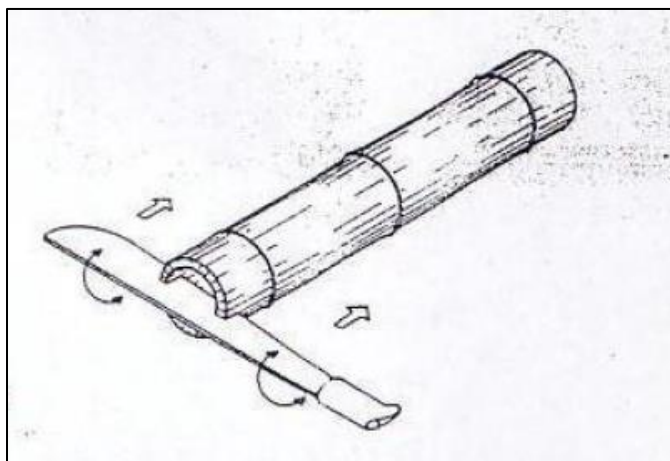


Figura 1-1 Obtención de latas de guadua

Se realizan cortes a la sección del culmo de la forma en la que se muestra en la imagen (ver **Figura 1-2**), de tal manera se pueden obtener aproximadamente 8 latas de 4cm de ancho, para guaduas con diámetros frecuentes entre los 10cm a los 12cm.

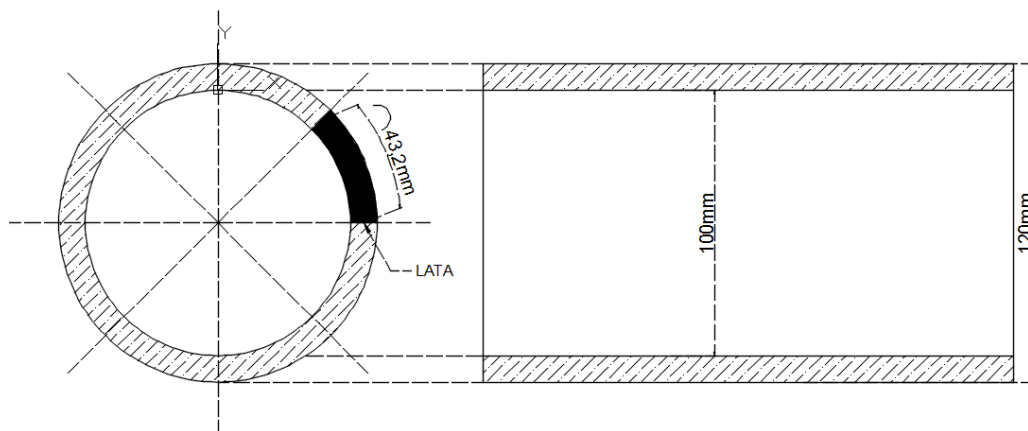


Figura 1-2 Sección de culmo de guadua para obtener latas

CAPÍTULO 2

2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Diseñar es aplicar una metodología que permite satisfacer parcial o totalmente un problema o una necesidad. Si el resultado del diseño es un producto físico, el producto deberá ser “funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse” [7].

Se busca la obtención de ayudas técnicas, por lo que se debe tener en cuenta que el diseño se realiza desde diferentes aspectos que conllevan a detalles específicos de los productos. Por ejemplo, en el diseño de productos de apoyo se deben tener en cuenta aspectos tanto de ingeniería como del área de la salud.

Por lo tanto, se plantearon unos requerimientos de diseño, a partir de los cuales son necesarios unos criterios de diseño que nos indican si estamos cumpliendo o no, con dichos requisitos. A continuación, en la [Figura 2-1](#) se presenta un diagrama de flujo donde se relacionan los criterios de diseño con los que se agrupan y se pueden validar los requisitos de diseño.

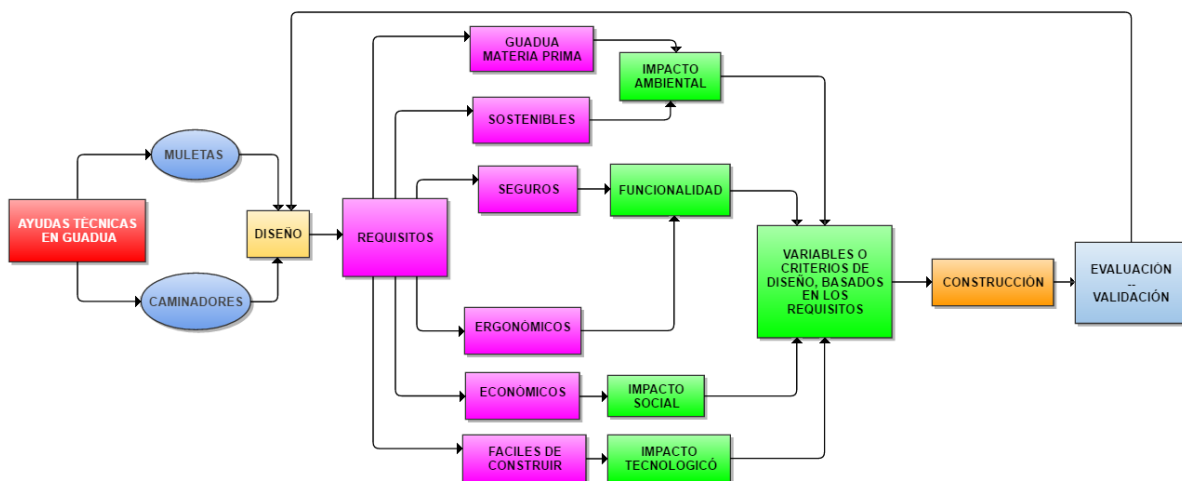


Figura 2-1 Diagrama de requerimientos y criterios

Como bien se puede observar en el diagrama anterior ([Figura 2-1](#)), los criterios que agrupan o validan el cumplimiento de los requerimientos de diseño mínimos ya planteados son; Funcionalidad, que agrupa la seguridad y ergonomía, Impacto social, que incluye los aspectos socio económicos, Impacto tecnológico, que indica la facilidad de construcción de los prototipos e Impacto ambiental, donde se justifica la elaboración del producto en GAK y se incluye la sostenibilidad del mismo.

2.1. FUNCIONALIDAD

Para comprender este criterio nos referimos al significado de funcionalidad en la RAE [8], “cosa diseñada u organizada, prestando principal interés a la facilidad de su uso, utilidad y comodidad”. Por lo tanto, si aplicamos este concepto al diseño de un producto de apoyo, lo que debemos obtener es un diseño que cumpla con condiciones de seguridad y ergonomía.

Para calificar este diseño se debe cumplir entonces con ciertas condiciones de ergonomía, que se describen a continuación para ambos tipos de ayuda técnica. Por otra parte, se debe determinar que el producto es seguro.

Ergonomía: muletas y caminadores son dispositivos utilizados para la movilidad de las personas, algunos aspectos importantes en cuanto a la ergonomía de los productos son las siguientes:

Muletas: Para que unas muletas sean ergonómicas, se deben cumplir con los siguientes aspectos.

- Contar con elementos ortopédicos en los puntos de apoyo para la mano (empuñadura), ya que este será el punto, donde se aplicará la carga del cuerpo sobre el dispositivo.
- La altura de las muletas debe ser tal, que la parte superior de la muleta (apoyo axilar), se encuentre separada por dos dedos de distancia de la zona interna de la axila. Con el cuerpo erguido y el apoyo del cuerpo realizado en las empuñaduras. Y codo en extensión.
- Contreras de goma, son soportes de caucho que le permiten a las muletas amortiguar los impactos contra el suelo y a la vez, cumple con el papel de evitar deslizamientos.
- De ser posible, que el producto sea de altura regulable, de lo contrario debe diseñarse de manera tal que pueda personalizarse a las dimensiones del paciente.

Caminadores: Estos son algunos detalles importantes del diseño de caminadores enfocados a la ergonomía.

- Empuñadura debe ser cómoda, generalmente se realizan en goma o espuma que son materiales blandos, sin embargo, debe poder agarrarse firmemente.
- Sus patas, o apoyos son usualmente regulables para garantizar diferentes alturas.
- Es necesario que los caminadores cuenten con contreras de goma en todas sus patas, lo que permite estabilidad en el contacto con el suelo, amortigua y evita deslizamientos. El peso debe ser adecuado para una persona que posiblemente padece una lesión, o pertenece a la tercera edad.

Parámetros antropométricos: También es parte de la ergonomía, que los diseños contemplen las dimensiones corporales de la población que requiere los productos de apoyo. Estas dimensiones son llamados parámetros antropométricos.

Se realizó una búsqueda de información acerca de las dimensiones de caminadores y muletas existentes actualmente. La mayoría de los dispositivos se diseñan bajo

parámetros antropométricos de personas procedentes de Norteamérica o Europa y posteriormente son comercializados en todo el mundo [9].

Para evitar este inconveniente, se realizó una búsqueda de datos antropométricos del tipo población a la cual son dirigidos los diseños. Se encontró un estudio realizado en 1995 por docentes investigadores de la Universidad de Antioquia, Medellín Colombia, llamado “ACOPLA95”, que consta de la medición de 69 variables antropométricas de la población laboral en Colombia [10]. A partir de este estudio, se pudieron obtener datos que sirven como parámetros de diseño para los prototipos.

Se seleccionaron algunas medidas importantes para diseño de las ayudas técnicas y se consignaron en la **Tabla 2-1** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., presentada a continuación.

Tabla 2-1 Medidas antropométricas para el diseño

	Percentil 5	Percentil 95
Peso (kg)	53.7	87.9
Altura (cm)	158	179.3
Altura del trocánter (cm)	76.63	86.96
Anchura bitrocantérica (cm)	29.3	35.3

Las medidas de estatura y anchura bitrocantérica, que es, la separación entre ambos trocánteres en el cuerpo humano, corresponden a los datos entre los percentiles 5 y 95 de la caracterización antropométrica de 2100 trabajadores colombianos que realizó el estudio ACOPLA 95 [10]. La altura del trocánter se calculó utilizando el método de medidas sementales desarrollado por Drillis y Contini [11] a partir de la estatura definida previamente. En la **Figura 2-2**. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. presentada a continuación, se puede observar un esquema del cuerpo humano donde se indica la ubicación de las medidas mostradas en la **Tabla 2-1** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

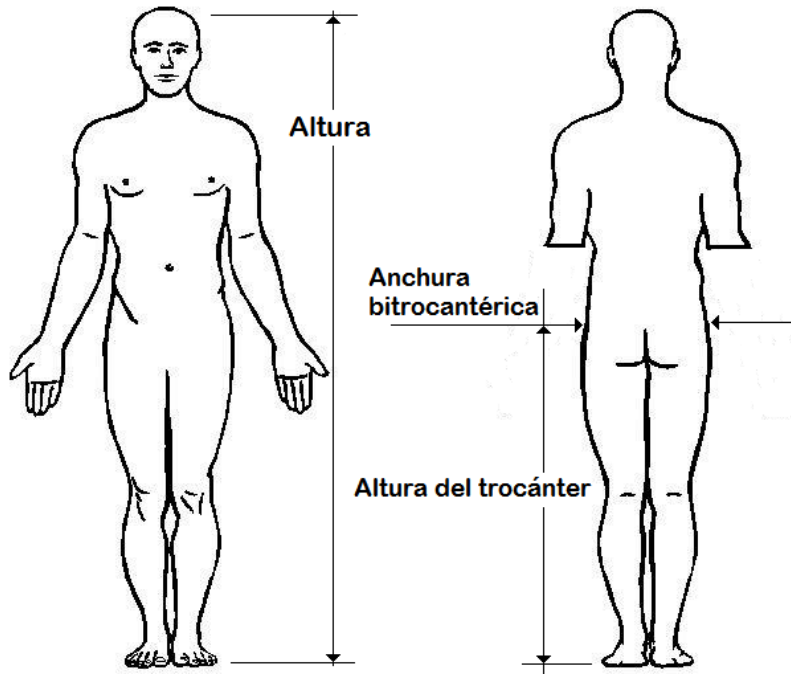


Figura 2-2 Algunos parámetros antropométricos importantes

Modo y condiciones de uso: Son necesarios para movilizarse con caminadores y muletas, los siguientes aspectos se deben tenerse en cuenta para el diseño de dichas ayudas técnicas:

- Los usuarios deben levantar el dispositivo de 5 a 10 cm del suelo al dar un paso.
- Se deben poder agarrar los dispositivos mediante mangos dispuestos en los puntos de apoyo y el peso solo debe ser aplicado en ellos y no en otra parte de los productos de apoyo. Con excepción de las muletas que deben permitir el descanso ocasional del usuario en el soporte para las axilas si cuenta con uno.
- En el caso de caminadores el usuario debe estar seguro de que las cuatro patas están apoyadas contra el suelo. El suelo debe ser firme y de preferencia plano.
- En el caso de muletas el usuario debe tener disponibilidad de espacio para mover las muletas 60cm delante detrás y a los lados de su cuerpo.

2.2. MANUFACTURABILIDAD:

En la elaboración de caminadores y muletas se tendrá en cuenta desde la perspectiva de la facilidad de elaboración, se busca obtener una tecnología que sea factible elaborar por parte de una persona común, y no requiera un nivel elevado de conocimientos científicos, si bien, deberá conocer como mínimo como manejar alguna herramienta de medición, como una cinta métrica y algunas herramientas de corte básicas, como una sierra de mano y un taladro de mano.

El cumplimiento de este criterio, se verá calificado en la descripción del proceso de construcción de prototipos, este proceso debe ser tal, que cumpla con las condiciones descritas anteriormente.

2.3. CRITERIO SOCIAL

El impacto social, se tiene en cuenta a partir de la economía, se quiere un producto que sea económico para poder generar un beneficio a personas de escasos recursos. Se espera obtener un producto cuyo costo total no supere la mitad del precio de un producto comercial.

2.4. CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

En un estudio realizado en el 2010 se muestra que para obtener 1kg de aluminio el consumo eléctrico asciende a los 210 KJ y la cantidad CO₂ emitida es aproximadamente de 5g [12].

La necesidad de crear 1 caminador y 1 par de muletas de aluminio, requiere de 4-5 kg para el producto final, sin contar el material que se desperdicia en el proceso de fabricación.

Dentro del impacto medioambiental, tenemos la viabilidad de elaborar los productos de apoyo en GAK, al disminuir la necesidad de productos convencionales que requieren de gastar energía y generar polución al extraer y refinar los metales que se usan en la estructura. Este criterio se podrá cumplir intrínsecamente al lograr elaborar los prototipos en utilizando la guadua como materia prima.

CAPÍTULO 3

3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En este capítulo podemos encontrar las alternativas concebidas, de entre las cuales se seleccionaron los prototipos más viables para su construcción y posterior evaluación.

3.1. ESTRUCTURAS DE CAMINADORES Y MULETAS EN LATAS DE GUADUA

Aprovechando la existencia de la clasificación aportada por la NTC-ISO9999 [5], se utilizaron algunos de estos modelos estandarizados para comenzar con el proceso de integración del diseño con la guadua. Con las dimensiones corporales mostradas en el capítulo anterior en la **Tabla 2-1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., se comenzó a diseñar a partir de algunos modelos de los cuales se observó mayor compatibilidad al utilizar latas de guadua.

Se plantearon estructuras simples utilizando las latas de guadua de aproximadamente 4cm de ancho, dichas estructuras son la forma más básica posible de los caminadores y se plantearon sin tener en cuenta que tipo de unión se pretende utilizar para el diseño definitivo de los productos de apoyo.

Es importante resaltar algunos aspectos de los diseños que se presentaran en este capítulo; En primer lugar, no tienen en cuenta los aspectos ergonómicos, es decir, hace falta agregar a los diseños algunos accesorios que son importantes para la comodidad y seguridad del usuario. Un segundo aspecto es que se presentan sin ningún tipo de unión, debido a que estas son propuestas de manera independiente dentro del mismo capítulo.

A continuación, se presentan figuras con los bocetos de las estructuras planteadas, los planos detallados de dichas estructuras se muestran en los anexos.

3.1.1. CAMINADOR CUADRÍPODE CON ELEMENTOS RECTOS

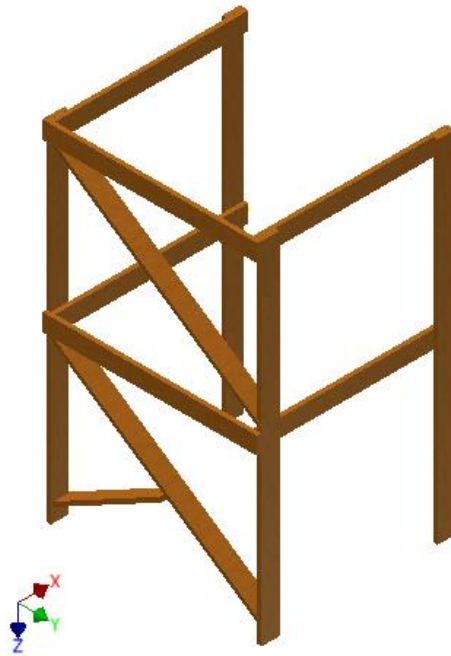


Figura 3-1 Caminador cuadrípode con elementos rectos

Este diseño (**Figura 3-1**), consta de una estructura con latas de guadua que conservan su forma recta en la dirección longitudinal y se intersectan de manera que se obtiene la forma de un caminador. Los elementos en posición diagonal que mejoran la rigidez.

3.1.2. CAMINADOR TRÍPODE CON ELEMENTOS CURVOS

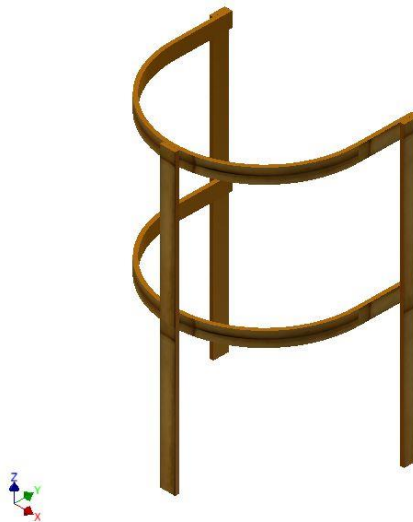


Figura 3-2 Caminador trípole con elementos curvos

Teniendo en cuenta la posibilidad de obtener elementos de guadua que posean formas curvas. Se podrían integrar elementos con esta forma curva en la dirección longitudinal de algunas de las latas de GAK a los diseños. Obteniendo así el caminador mostrado en la **Figura 3-2**.

3.1.3. CAMINADOR TRÍPODE CON ELEMENTOS RECTOS



Figura 3-3 Caminador trípode con elementos rectos

En la **Figura 3-3**, se puede observar un diseño que, si bien posee cuatro elementos verticales, se puede considerar que los dos elementos que conforman el apoyo del centro, debido a su cercanía en relación a los dos restantes, son uno solo. Lo que quiere decir que se considera un caminador trípode. Por otro lado, es importante tener en cuenta que, debido a la posición ortogonal de los elementos horizontales, se dificultaría la sujeción del dispositivo. Por lo tanto, se proponen algunos elementos de GAK, o alguna otra madera para agregarle los puntos de apoyo para las manos. Con una separación equivalente a la anchura bitrocantérica.

3.1.4. MULETA CON APOYO AXILAR.

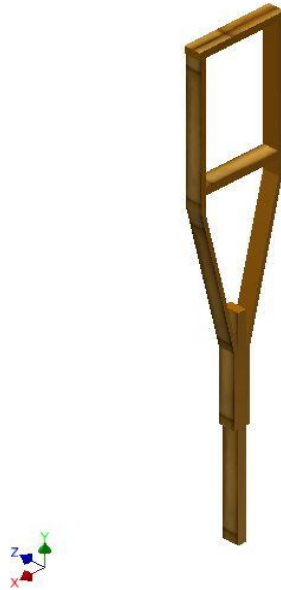


Figura 3-4 Muleta con apoyo axilar

En la **Figura 3-4**, se presenta un prototipo de muleta con apoyo axilar. Este diseño es particularmente parecido a unas muletas convencionales, con la diferencia de que todos los elementos son elaborados en latas de guadua.

3.1.5. MULETA CON APOYO EN EL CODO

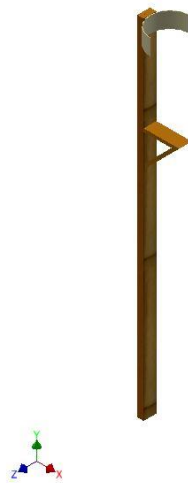


Figura 3-5 Muleta con apoyo en el codo.

Se puede observar en la **Figura 3-5** un prototipo con soporte para el codo elaborado con dos tramos longitudinal de guadua, este diseño requiere el aporte de otro material (posiblemente un polímero) para el soporte del codo. El soporte para la mano, se propone en guadua, pero también podría ser elaborado en otro material.

3.2. ALTERNATIVAS DE UNIÓN

En la primera parte de este capítulo, se propusieron estructuras como alternativas de diseño para los caminadores y muletas. Se plantean a continuación métodos para unir los elementos de dichas estructuras.

3.2.1. UNIÓN UTILIZANDO TORNILLOS Y ARANDELAS.

Para elaborar caminadores y muletas de guadua es necesario conectar las latas mediante algún método.

En un estudio realizado en el 2015 plantean y evalúan conexiones para latas de guadua utilizando tornillos de 3/8 de pulgada y platinas de 3.5 x 4mm. demuestran que al confinar el área de la guadua alrededor del perno se aumenta la resistencia a la falla por tracción de las latas en la dirección de las fibras [13]. Por lo tanto, se propuso utilizar platinas o arandelas de acero que aprisionen el material alrededor del tornillo.

Utilizando esta técnica podemos unir las partes de estructuras como las planteadas anteriormente (ver 3.1. ESTRUCTURAS DE CAMINADORES Y MULETAS EN LATAS DE GUADUA), Se plantea unir las latas de aproximadamente 4cm de espesor mediante tornillos de 3/16 pulgadas y platinas o arandelas de acero. Para lograrlo, se deben realizar perforaciones en los puntos de la lata que se desean unir.

Una vez realizadas las perforaciones y configurar las latas de guadua en la posición en la que queremos realizar la unión, se atraviesa el tornillo que sujeta las latas y se asegura con la tuerca que puede ser hexagonal o de apriete manual. Dicho procedimiento se aplica para unir dos latas que se encontraran conectadas en el mismo plano, (ver **Figura 3-6**).

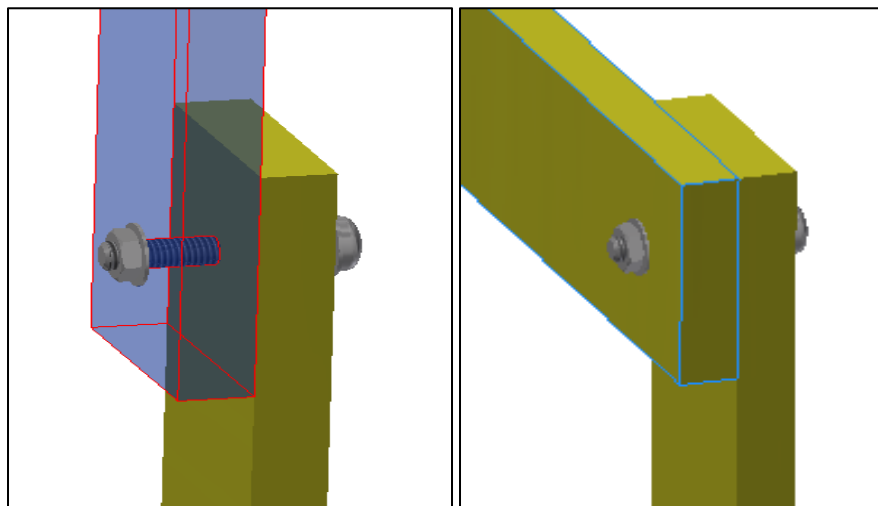


Figura 3-6 Unión pernada en un plano

Otro aspecto que se propuso a partir del mismo estudio, fue la de utilizar tramos cortos de ángulo 1 ½ pulgadas por de 3.5 cm de largo, que podrían ser de hierro, acero o aluminio, perforados en el centro aproximado de cada cara y que podrán ser conectores entre dos extremos de latas de guadua que se posicionaran ortogonalmente, (ver **Figura 3-7**).

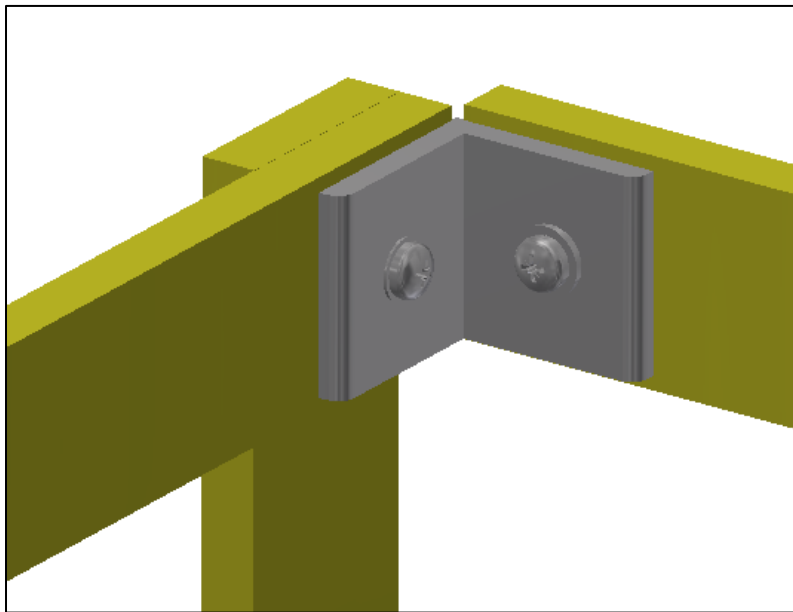


Figura 3-7 Unión pernada en dos planos

3.2.2. UNIÓN UTILIZANDO FIBRAS DE FIQUE

En el libro “Bast and other plant fibers” publicado por Woodhead Published Limited, en asociación con The Textile Institute Abington Hall, Abington [14], hablan acerca de fibras que fueron, que fueron seleccionadas bien sea por ser producidas y exportadas internacionalmente en una cantidad igual o superior a 50 toneladas anuales, o por ser de importancia internacional como “hard-fibers”. Bien, una de las fibras que se encuentra en dicho libro es el Fique (*Furcraea macrophilia*), la cual crece en territorio colombiano, se describe como una fibra fina, suave y alargada.

Con la finalidad de aportar posibilidades para las uniones de los prototipos, utilizando materiales fáciles de conseguir en el campo y utilizar materiales de menor peso que los de las uniones atornilladas, se planteó una alternativa de conexión de las estructuras sujetando las latas con fibras de fique. La fibra de fique se puede conseguir de forma comercial en rollos de uno o más hilos.

Antes de realizar las uniones utilizando la fibra, se recomienda humedecerla en una mezcla 70% pegamento para madera y 30% de agua, con el fin de que la fibra se contraiga después de secarse y genere más agarre alrededor de la guadua. También evita la necesidad de utilizar guantes para su manipulación.

La unión planteada se puede ver más adelante en la **Figura 3-10**, parte 1, consta de tres lastas de guadua ortogonales entre sí, que se logra con la adición de un prisma triangular de madera 3 x 5 cm en sus dos caras. Los elementos son unidos mediante un nudo de fique a su alrededor.

Se desarrollaron varias uniones de muestra siguiendo el mismo procedimiento. Los materiales utilizados fueron: Latas de guadua, Fique hilado (aproximadamente 10 metros por junta). Bloque prismático triangular de madera.

Los tramos de guadua se denominaron T1, T2 y T3. Ver **Figura 3-8**, donde la parte interna de la guadua se muestra achurada.

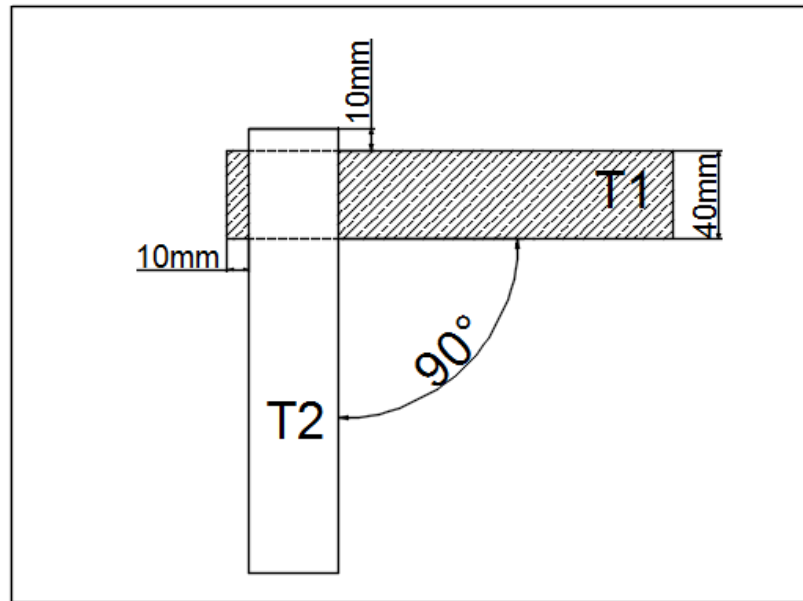


Figura 3-8 Posición ortogonal de las latas

Se posicionaron las latas de la manera T1 y T2 de la forma (ver **Figura 3-8**), teniendo en cuenta las pequeñas zonas libres de 1cm que sobresalen en la intersección de las latas y cuya función es proveer posteriormente agarre a las fibras de fique.

Tensión al realizar amarres de fique: Para realizar las uniones de fique es necesario aplicar tensión mientras se está dando forma al nudo con el fique alrededor de las latas. la fibra en todo momento debe estar templada entre la mano y la unión en proceso de elaboración, con la fuerza que se pueda tensar sin que la fibra se deslice entre los dedos.

Se tomaron 3 metros de fique hilado y se procedió a atar las latas T1 y T2, en el orden que se puede ver enumerado en la **Figura 3-9**Figura 3-8. Se repitió 5 veces para cada paso y una vez terminados se procede a realizar un nudo travesaño para ajustar.

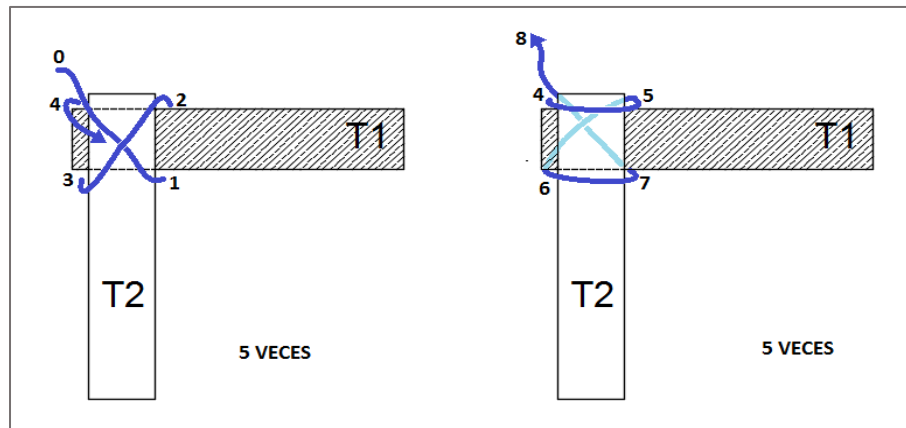


Figura 3-9 Amarre de latas ortogonales

Posterior mente se requirió de un prisma triangular que se debe ubicar sobre la unión de fique realizada anteriormente entre las latas T1 y T2 y se procedió a realizar una nueva conexión como se puede ver más adelante en la **Figura 3-10** para fijarlas con la lata tercer lata. Como se puede observar a continuación se dejaron 5 centímetros libres del hilo de fique, se sigue el protocolo enumerado para generar el nudo y se siguió repitiendo el procedimiento hasta terminar 7 metros de hilo utilizados para este nudo. En la **Figura 3-11**, se puede observar una de las uniones construidas.

Para asegurar la repetitividad de esta unión, se realizó una búsqueda de diferentes nudos que se han utilizado hasta ahora. De una recopilación llamada Nudos Marineros [15], se tuvieron en cuenta dos nudos llamados “nudo de yugo o travesaño” y “nudo constrictor”, los cuales podrían ser utilizados como nudo base para tener una sujeción firme entre las latas de guadua y para rematar los amarres de las uniones cuando sea necesario.

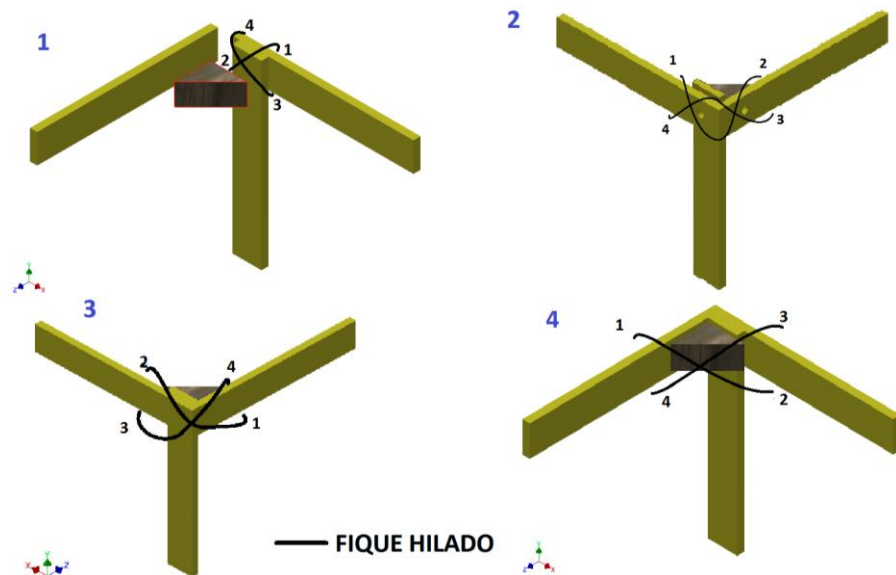


Figura 3-10 Amarre de unión completa



Figura 3-11 Unión construida con el procedimiento planteado

3.3. SELECCIÓN DE PROTOTIPOS A ELABORAR

A partir de los requerimientos y criterios mencionados en el **Capítulo 2**, y las alternativas de caminador y muletas planteados en este capítulo, se presenta una matriz de decisión para seleccionar los prototipos a construir y evaluar. En la Tabla 3-1, se puede observar en la primera columna los parámetros o criterios de decisión. En la columna dos se asignaron un valor equivalente de cada aspecto según su relevancia (en un rango de 0 a 10). Se finalizó esta columna con la suma de los valores. La columna tres muestra el valor porcentual de los aspectos. De las columnas cuatro a nueve se asignaron valores equivalentes según el impacto de cada aspecto en cada modelo diferente. Se realizó una valoración final de cada tipo de ayuda mediante la multiplicación del valor individual de cada modelo por el peso porcentual del aspecto y sumando los resultados.

En la **Tabla 3-1**, las opciones especificadas de **opc1 a opc5** hacen referencia a las alternativas de diseño para caminadores y muletas de la siguiente forma:

- Opc1: Caminador cuadrípode con elementos rectos.
- Opc2: Caminador trípode con elementos curvos
- Opc3: Caminador trípode con elementos rectos
- Opc4: Muleta con apoyo axilar
- Opc5: Muleta con apoyo en el codo

Tabla 3-1. Matriz de decisión de las alternativas de diseño

Modelo	Importancia		Caminadores			Muletas	
Parámetros	Importancia (0-10)	%	opc1	opc2	opc3	opc4	opc5
ESTABILIDAD	9	24	10	7	7	10	9
PESO	9	24	8	10	9	8	10
MANUFACTURA	8	21	10	7	10	9	8
COSTO	5	13	9	7	9	9	8
Estética	7	18	8	7	9	9	9
Σ	38	100	9,0	7,7	8,7	9,0	8,9

Se puede observar que en la **Tabla 3-1** los modelos que tuvieron mayor valoración y por lo tanto los seleccionados para ser evaluados y construidos son:

Opc1: Caminador cuadrípode con elementos rectos y Opc4: Muleta con apoyo axilar.

CAPÍTULO 4

4. ANALISIS ESTRUCTURALES

Se realizaron análisis mediante un programa computacional que utiliza técnicas de elementos finitos para simular las estructuras seleccionadas en el capítulo anterior y poder tener una idea del comportamiento estructural de los prototipos cuando se les aplican cargas estáticas.

4.1. MODELOS

Para el análisis se construyeron las estructuras utilizando elementos alámbricos tipo viga y se utilizó la opción de asignar un perfil de sección rectangular de 40mm x 10mm a lo largo de los elementos, así poder simular el comportamiento de las latas de guadua (ver **Figura 4-2**). Una vez asignados los perfiles, también se asignó el material con sus direcciones principales y se realizaron enmallados a lo largo de los elementos cada 10mm, (ver **Figura 4-1**).

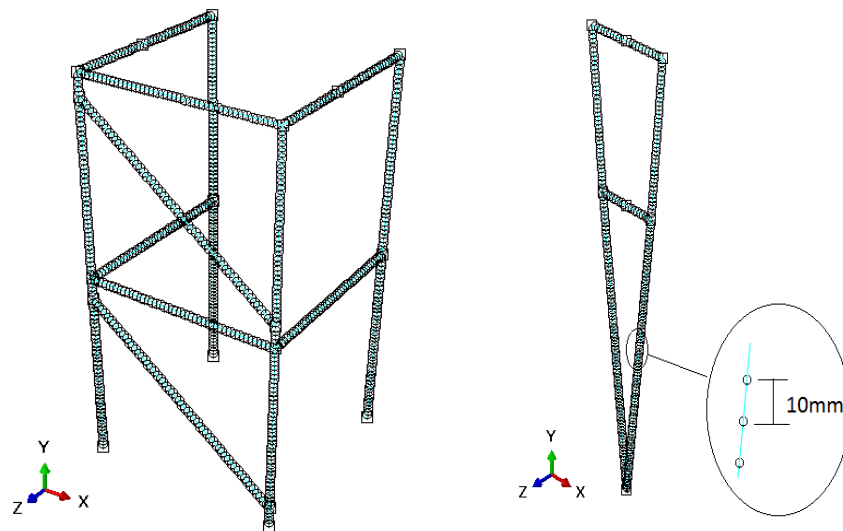


Figura 4-1 Enmallado

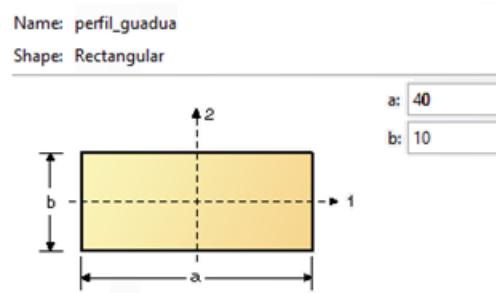


Figura 4-2 Perfil de las latas en los prototipos

4.2. PROPIEDADES DEL MATERIAL

Es necesaria la definición de las propiedades del material utilizado en los diseños. La guadua se considera un material ortotrópico, la

Tabla 4-1 presenta los módulos elásticos y relación de poisson usados en los análisis.

Tabla 4-1. Propiedades elásticas de la GAK utilizadas para analizar el modelo.

Material: Guadua Angustifolia Kunth								
E 1	E 2	E 3	Nu 12	Nu 13	Nu 23	G 12	G 13	G 23
12000	400	400	0.3	0.3	0.22	600	600	100

Donde E1, E2 y E3 son los módulos de elasticidad de la guadua, Nu corresponde a la relación de poisson y G al módulo de elasticidad a cortante.

4.3. CAMINADOR

4.3.1. CARGAS EN EL CAMINADOR

En el uso de caminadores, las cargas son consecuencia del uso del dispositivo, teniendo en cuenta que mientras no se encuentra en uso no hay cargas presentes y que la carga máxima corresponde al peso completo del paciente.

En el **capítulo 3**, *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, se presentan valores de medidas de peso registradas para 2100 trabajadores de la población laboral colombiana, el más elevado es el correspondiente al percentil 95 y es 87.9 Kg, por lo que se podría utilizar el valor de 90 kg como peso aproximado máximo para realizar análisis.

Teniendo en cuenta que los caminadores cuentan con dos puntos para apoyar las manos, la carga se transfiere a través de ellos, ver **Figura 4-3**. Por otra parte, podrían aparecer estados de carga adicionales en la dirección horizontal (frontal) y lateral, transferidas también por el usuario en el punto de apoyo del caminador. Estas cargas, especialmente en la dirección lateral, son difíciles de cuantificar teóricamente. Aun así, se considera de importancia tener en cuenta un porcentaje de carga en dichas direcciones a la hora de realizar simulaciones para ser más conservativos, dado que, en condiciones normales una persona en situación de discapacidad no descarga todo su peso sobre el caminador, pero esta condición podría presentarse en caso de un tropiezo.

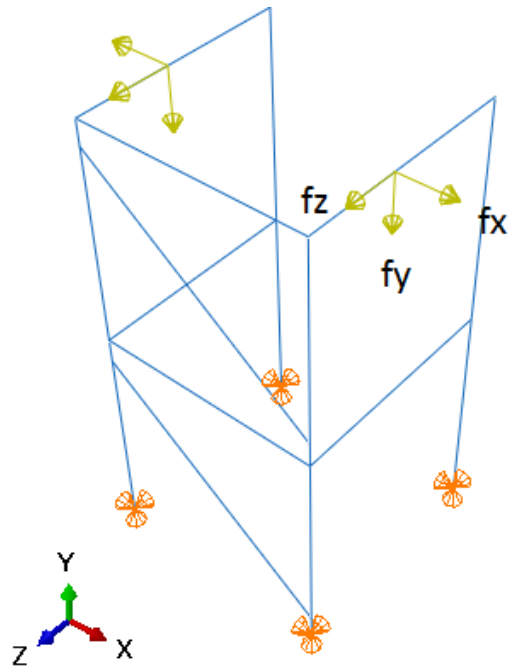


Figura 4-3 Fuerzas en un caminador

Como se puede observar en la **Figura 4-3**, las fuerzas F_y hacen referencia a las cargas horizontales, F_z a las cargas horizontales o frontales y las F_x hacen alusión a las cargas laterales.

Fuerzas F_y y F_z

Para determinar esta carga, se asume que el usuario tropezó y se encuentra en una posición inclinada apoyado totalmente sobre el caminador. Por tanto, se encontraría reclinado de la manera que muestra la **Figura 4-4**.

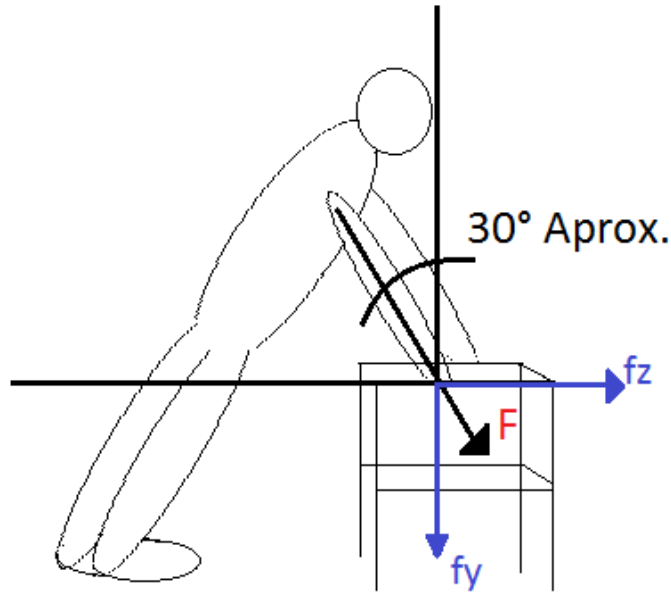


Figura 4-4 Componentes de fuerza horizontal y vertical

En la **Figura 4-4**, se puede observar en azul F_v , la componente vertical de la fuerza F ejercida por el usuario al tropezar y la componente horizontal F_h . Con un ángulo previsto de aproximadamente 30° , esta fuerza es equivalente a:

$$F_z = F * \sin 30^\circ = 981 \text{ N} * \sin 30^\circ = 132 \text{ N} \text{ (componente horizontal de la fuerza)}$$

$$F_y = F * \cos 30^\circ = 981 \text{ N} * \cos 30^\circ = 848 \text{ N} \text{ (componente vertical de la fuerza)}$$

Donde F es la fuerza producto del peso por la aceleración de la gravedad. Es decir, 981 N Y F_h que es la componente horizontal de la fuerza es representada como F_z en la **Figura 4-4**

Por otra parte

El coeficiente de fricción estático entre el suelo y el concreto se encuentra en el rango de 0.65~0.85 [16]. Obteniendo que la fuerza de fricción ejercida en el dispositivo, que es equivalente a la máxima fuerza horizontal que se puede proveer sin llegar a tener problemas de deslizamiento, es:

$$f(\text{fricción}) = \mu * N, \text{ donde la magnitud de } N \text{ es igual a la de } F_y, \text{ y } \mu = (0,65 - 0,85)$$

$f(\text{fricción}) = \text{desde } 0.65 * 848 \text{ N, hasta } 0.85 * 848$ Por lo tanto, la fuerza de fricción se encuentra entre 551,2 N y 720,8 N. Lo que permite verificar que la suposición de tropiezo con inclinación de 30° , no genera deslizamiento.

Fuerza F_x ,

Esta carga realmente no debería aparecer en el uso correcto de caminadores, sin embargo, con el fin de ser conservativos, se aplican máximo 300N, el 30% de la carga máxima y se distribuye de 150N en dirección positiva y negativa a lo largo del eje x.

4.3.2. RESULTADOS PARA EL CAMINADOR

Análisis sin deslizamiento: Este análisis se realizó utilizando restricción del movimiento en todas patas del caminador de manera que se comportaría como en caso de tener el dispositivo apoyado sobre una superficie plana y que ninguna de ellas desliza. Se demostró en este capítulo que las fuerzas horizontales requeridas para realizar un deslizamiento son mayores a las que se contemplan en su uso cotidiano.

Se predice un comportamiento viable del prototipo de caminador dado que no se evidencio pandeo de las patas para este estado de carga y restricciones. Pudo observarse que, para estados de carga combinada se generan desplazamientos en la zona superior trasera del caminador, se puede apreciar de color rojo en la **Figura 4-5**.

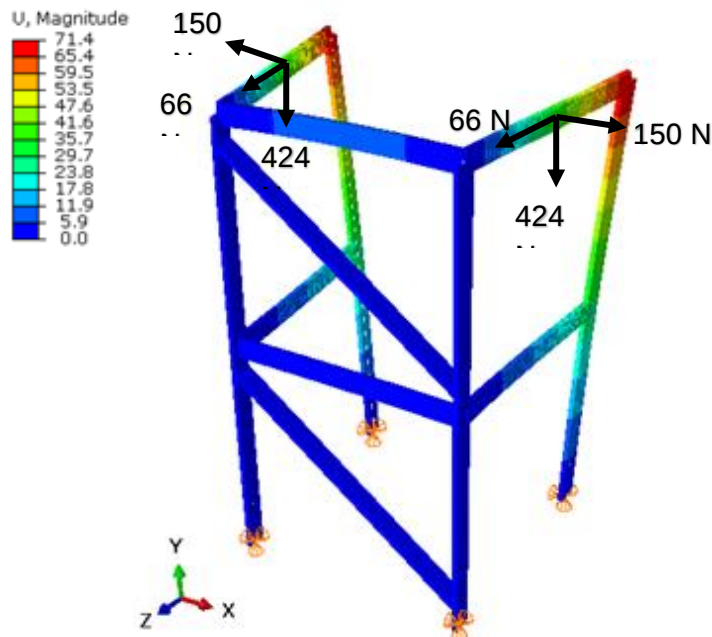


Figura 4-5 Desplazamientos máximos registrados

Análisis con deslizamiento: pesar de los resultados obtenidos en el caso de carga sin deslizamiento en las patas, se realizó una simulación en la que se supone que las patas del caminador se pueden deslizar libremente en el suelo. Esto con el fin de tener en cuenta un caso crítico en el que las condiciones del suelo no sean las óptimas para realizar el desplazamiento, por ejemplo, un suelo enjabonado. En la Figura 4-6 se muestran los resultados en los cuales las patas traseras del caminador presentan pandeo con desplazamientos aproximados a los 46 mm bajo estado de carga vertical de 260 N en cada punto de apoyo que equivale a un poco más del 50% del peso de un paciente.

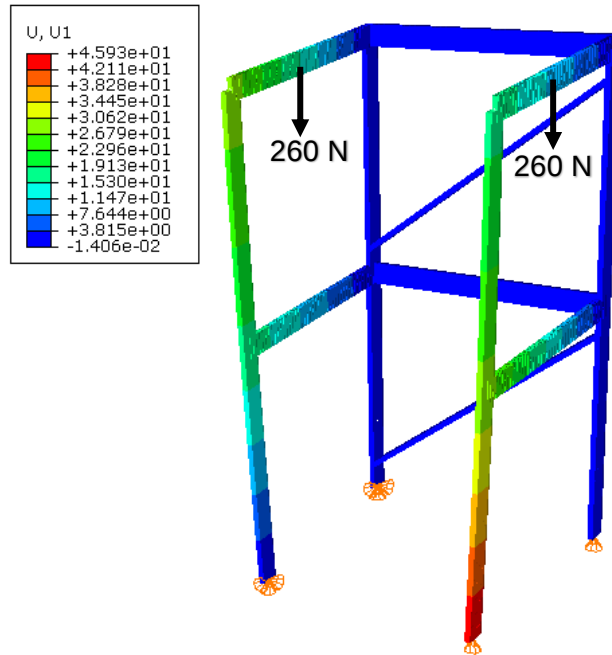


Figura 4-6 Análisis con deslizamiento

Análisis con una pata libre: es relevante el comportamiento obtenido al no restringir el desplazamiento de una de las patas del caminador, este tipo de restricción simula el caso de un caminador apoyado en solo tres de las patas. Se evidencio un desplazamiento grande del orden de 300mm en la zona roja del caminador de la **Figura 4-7**.

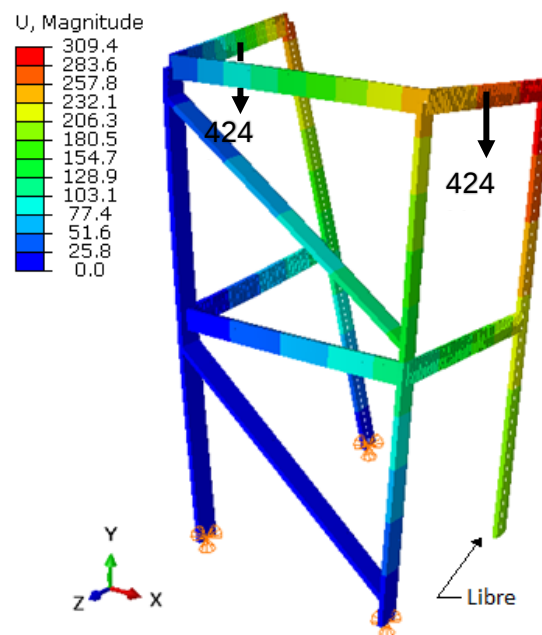


Figura 4-7 Desplazamientos con una pata de la estructura libre

Estabilidad en suelo firme: Aun cuando se considera con los análisis realizados hasta el momento, que los prototipos son viables para ser utilizados en suelo firme bajo las condiciones adecuadas. Se realizaron simulaciones aplicando solamente cargas laterales que permiten tener una medida de la estabilidad del prototipo. En la Figura 4-8, se presentan los resultados para cargas en ambas direcciones.

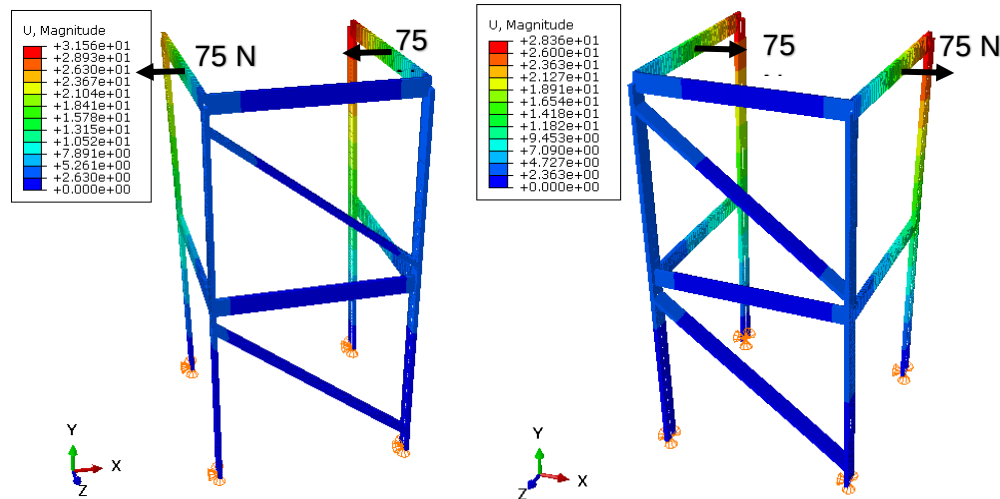


Figura 4-8 Estabilidad lateral sin barra diagonal

Se planteó, agregar una barra rigidizadora que permita estabilizar el prototipo ante cargas laterales. Se realizaron análisis con la nueva configuración, los resultados se presentan en la Figura 4-9, se puede observar que los desplazamientos respecto a los resultados mostrados en la Figura 4-8 disminuyeron un 25% aproximadamente.

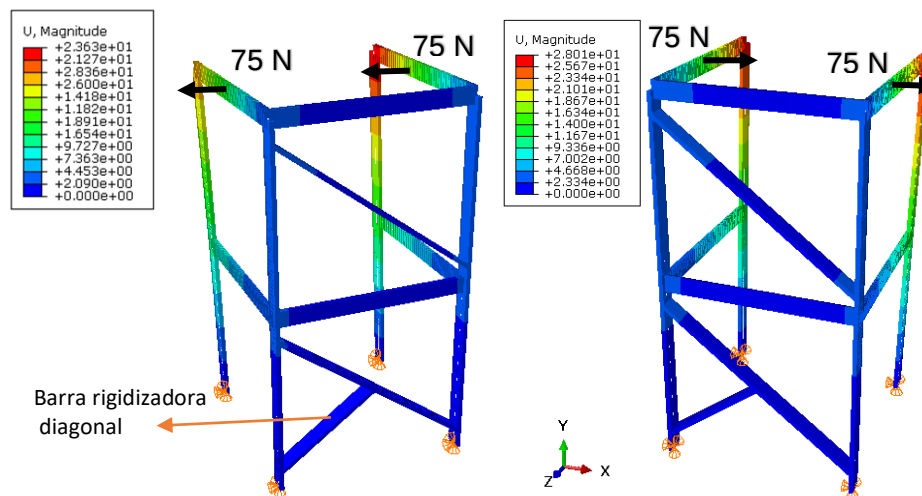


Figura 4-9 Estabilidad lateral con rigidizador diagonal

4.4. MULETAS

4.4.1. CARGAS EN LAS MULETAS

A las muletas al ser empleadas se les aplica carga usualmente en los puntos de apoyo para las manos. Las muletas se utilizan por general dando pasos de máximo 120cm, ubicando la punta inferior de las mismas a aproximadamente 60 cm del cuerpo como se ve en la **Figura 4-10**. Por lo tanto, el ángulo con el que se comienza a aplicar la carga no supera los 30° respecto al eje coronal y la carga máxima aplicada se produce cuando el dispositivo se encuentra a un ángulo muy cercano a cero, donde la carga máxima en una muleta equivale a la mitad del peso del usuario. Es posible aplicar esta carga en dos partes de la muleta, en el punto de apoyo para las manos al caminar o en el punto de apoyo para la axila de manera momentánea al descansar el cuerpo sobre la estructura. En el uso de muletas también se deja un Angulo de aproximadamente 30 grados entre el cuerpo y las muletas en la dirección lateral, por lo que las cargas pueden afectar el comportamiento mecánico de los prototipos. Sin embargo, se no se consideran críticas debido a que en esta posición las latas de guadua se encuentran ubicadas por el lado más ancho de su sección. Ver lado a en la Figura 4-2.

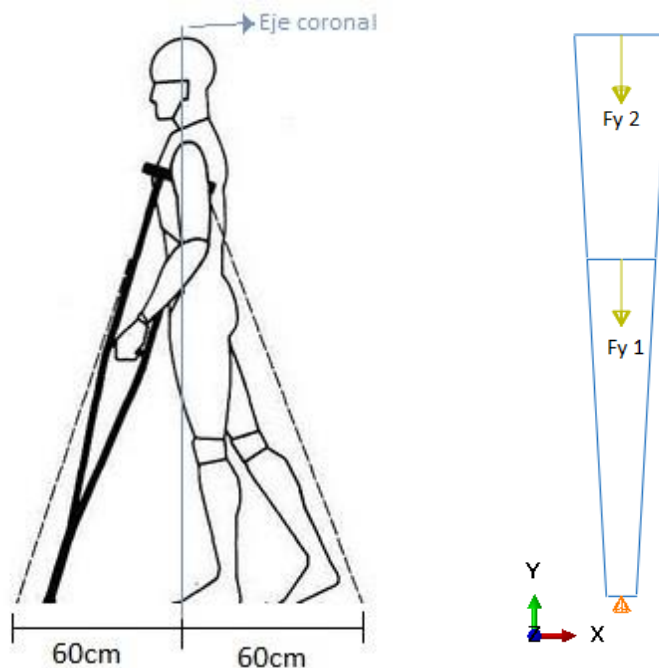


Figura 4-10 Cargas en las muletas debido al uso

4.4.2. RESULTADOS PARA LAS MULETAS

En los análisis realizados para las muletas, se restringió el movimiento en la parte inferior de la muleta, y se aplicó una carga de 1000N, que es un valor mayor en un 10% al peso máximo encontrado en el estudio ACOPLA95 [10] registrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se aplicó en un modelo carga en el punto de apoyo para la mano y en otro se aplicó la carga en el punto de apoyo axilar, en ambos casos se

obtuvieron desplazamientos menores a 2mm. En la siguiente **Figura 4-11**, a la izquierda la carga aplicada en la agarradera y a la derecha la carga ha sido aplicada en la zona para la axila. Ambos resultados predicen viabilidad.

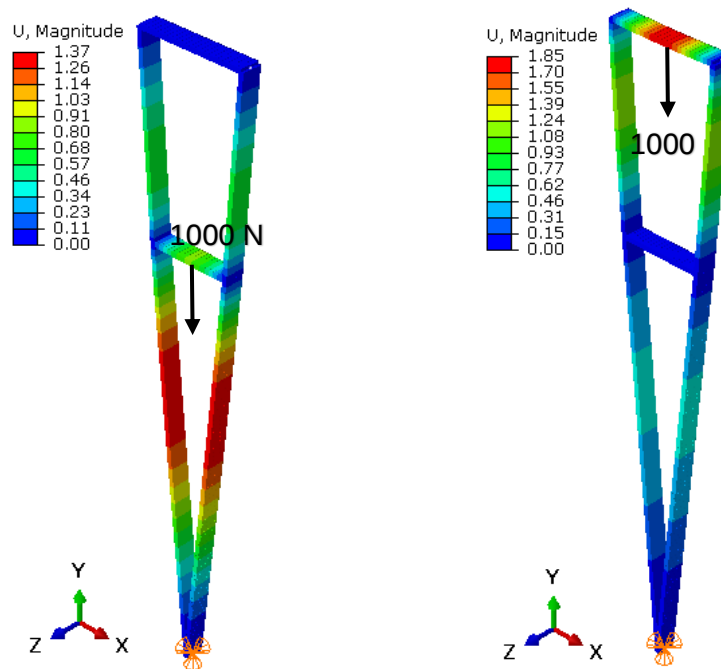


Figura 4-11 Desplazamientos en estructuras muletas según la carga aplicada

Se muestran en la **Figura 4-11** la magnitud de los desplazamientos máximos (en rojo) de puntos de la estructura, en la figura con carga en el punto de agarre se presentan puntos desplazados hasta 1,37 mm en la dirección normal al eje longitudinal de las latas. En la imagen de la derecha se presentan los desplazamientos más grandes en el mismo punto de aplicación de la carga de 1,85 mm en dirección normal al eje de la lata.

CAPÍTULO 5

5. PROTOTIPOS ELABORADOS

5.1. CAMINADOR DE UNIONES PERNADAS

El primer prototipo que se construyó, fue el de uniones atornilladas. Para ello fueron necesarios 18 tornillos de 3/16 de pulgada, 36 arandelas curvadas de 1 pulgada y 18 latas de guadua de longitudes no superiores a 1m. En primera instancia el prototipo parece prometedor. Sin embargo, su peso de 4142g es un poco elevado. En la siguiente imagen, (**Figura 5-1**), se muestra la estructura del caminador sin aditamentos de ergonomía. La altura máxima del dispositivo es de 95cm y la mínima de 85cm las cuales se pueden alternar variando la posición en la que se ponen los tornillos que atraviesan las latas que apoyan el dispositivo contra el suelo.



Figura 5-1 Caminador con uniones pernadas

5.2. CAMINADOR CON JUNTAS DE FIQUE Y PEGAMENTO PARA MADERA

El segundo prototipo construido que se encuentra elaborado por latas individuales de guadua. El método para juntar las latas es el descrito en el capítulo anterior que utiliza fibras de fique ordenadas mediante un nudo repetible para posicionar dos o tres latas de manera ortogonal. Tiene un peso de 2358g y su elaboración no depende de herramientas mecánicas, pero si es necesario la aplicación de pegamento para madera como aglutinante de las fibras de fique las juntas. Puede observarse en la **Figura 5-2** que se incluyó una tercera diagonal que soporta la pata delantera que quedaba libre en el diseño inicial.



Figura 5-2 Caminador con uniones de fique

5.3. MULETAS DE GUADUA CON UNIONES ATORNILLADAS

Este prototipo se construyó utilizando tornillos de 3/16 de pulgada y pequeñas platinas curvas de 4 x 4cm. Esta estructura cuenta con la ventaja de ser construida con las medidas del paciente sin incrementar el costo. Cada muleta pesa aproximadamente 1800g, (Ver **Figura 5-3**).



Figura 5-3 Muletas de guadua

CAPÍTULO 6

6. EVALUACION EXPERIMENTAL DE LOS PROTOTIPOS

6.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA ESTATICA

6.1.1. PRUEBAS DE UNA UNION GENERICA DE FIQUE

Se realizaron pruebas de compresion a dos de las juntas de fique elaboradas anteriormente (ver **Figura 6-1**), se utilizo un montaje en el cual se dejo libre la parte posterior de la unión que se preveia podria desplazarse al aplicar la carga.

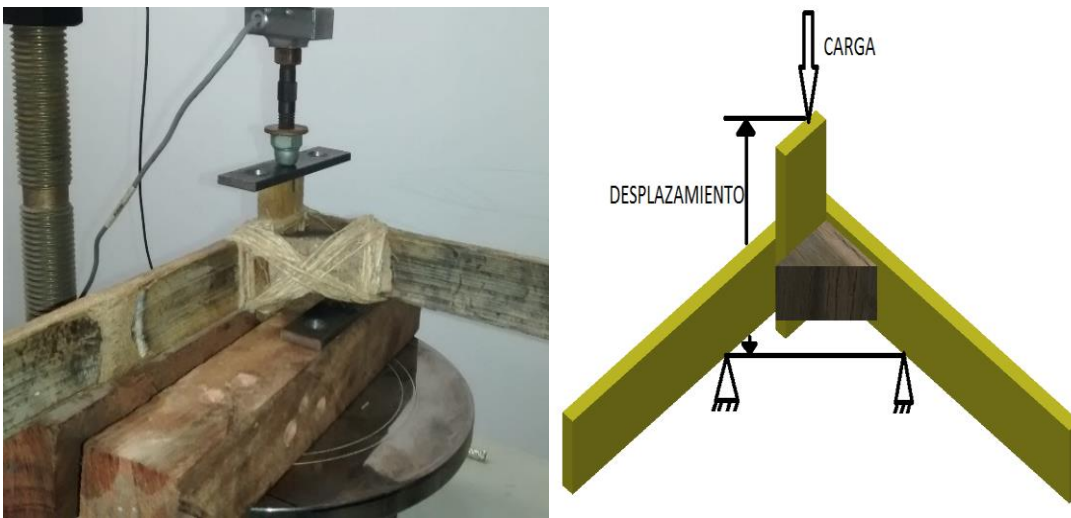


Figura 6-1 Ensayo de resistencia a carga compresiva mediante desplazamiento controlado

Los resultados de las pruebas se registran mediante un sistema de adquisicion y se muestran en la **Figura 6-2**. Notese que los valores de carga lograda rodean los 15Kg-f, valor que demuestra suficiente resistencia sin indicios de cedencia.

Se registraron datos de desplazamiento vertical de la prensa producto de la aplicación de la carga en el ensayo. Sin embargo los valores ascienden a los 6mm y se debe a la compresion de las fibras de fique sobre las cuales se encuentra soportada la junta. Por medio de inspeccion visual no se encontraron efectos de deslizamiento de la lata vertical respecto a las horizontales sin embargo se midió utilizando un pie de rey un desplazamiento entre la lata vertical y las horizontales de 1mm.

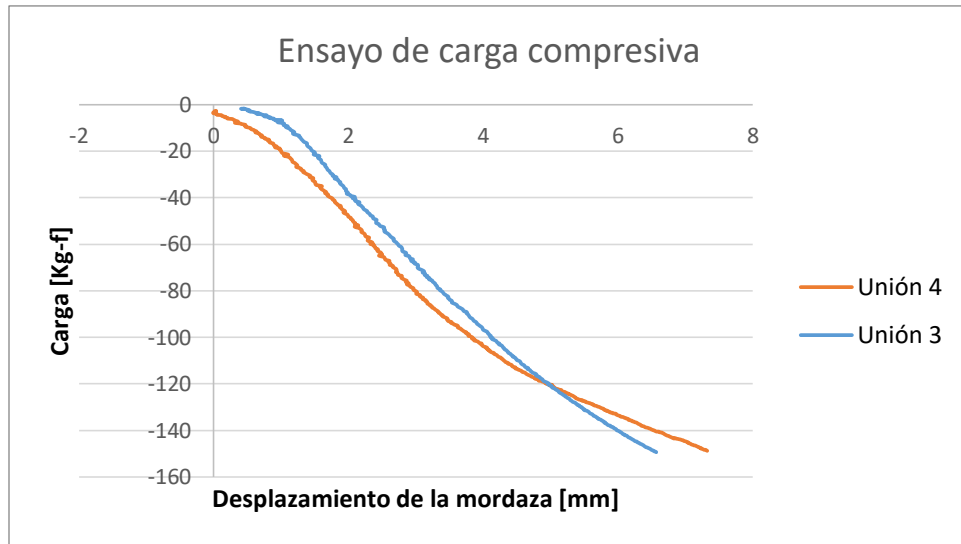


Figura 6-2 Resultados pruebas de compresión en uniones de fique

6.1.2. PRUEBAS EN EL CAMINADOR CON UNIONES DE FIQUE.

Una primera prueba de carga en direcciones lateral y vertical, se llevó a cabo para medir desplazamientos en algunos puntos de la estructura utilizando comparadores de caratula y flexómetro, se pueden observar en la Figura 6-4 los comparadores ajustados en ceros. A continuasuin se presernta un esquema del montaje (ver Figura 6-3)

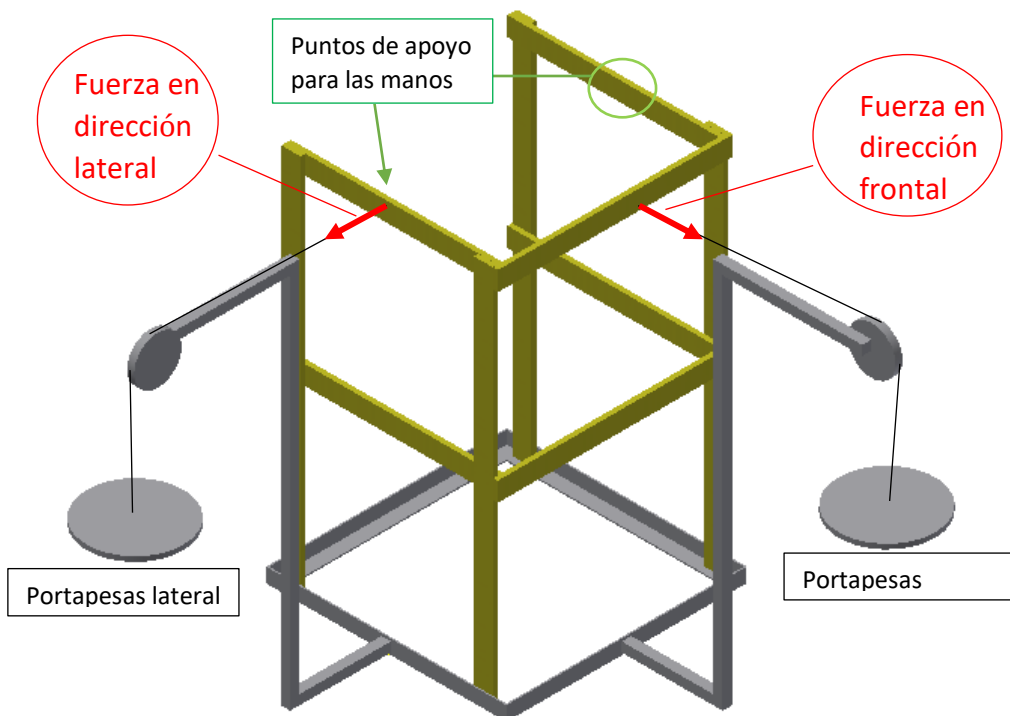


Figura 6-3 Esquema del montaje para pruebas de carga lateral y frontal

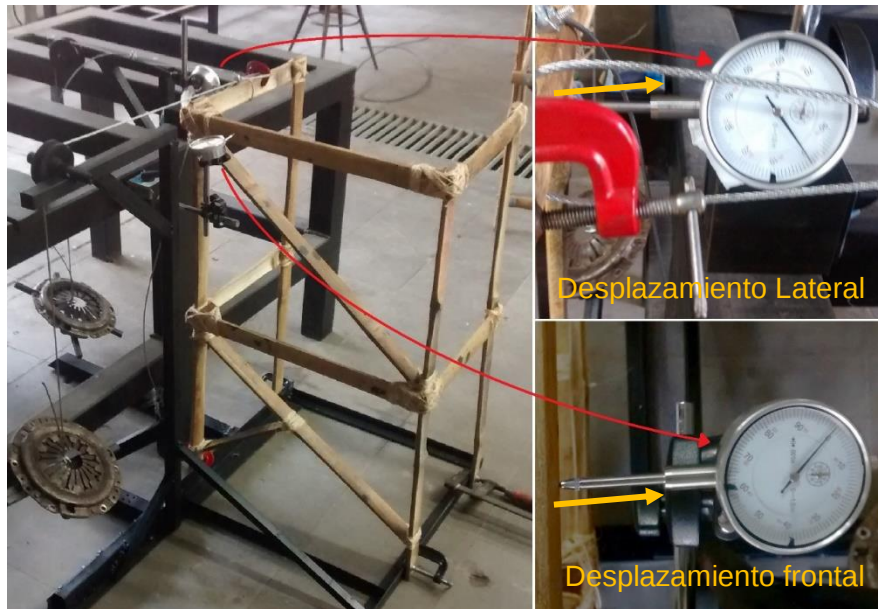


Figura 6-4 Prueba estática del caminador de fique con cargas frontales y laterales

Tabla 6-1 Desplazamientos en el caminador con cargas frontales y laterales

Portapesas lateral	Protapesas frontal	Desplazamiento lateral	Desplazamiento frontal
15 kg		9 mm	16 mm
20kg			30 mm
	15kg	20 mm	

Un ensayo de carga en la dirección vertical se condujo con el fin de verificar la resistencia de la estructura ante una carga de 490N en cada punto de apoyo para la mano. Para ello, se ubicaron primero dos pesos de 20 Kg cada uno y posteriormente uno de 10 Kg en los puntos de apoyo (dichos puntos se encuentran señalados en la Figura 6-3).

En la **Figura 6-5**, se puede observar la estructura durante la prueba, una vez se alcanzaron las cargas máximas. Se puede observar que todas las patas de la estructura se encuentran fijas y posicionadas en un terreno plano.

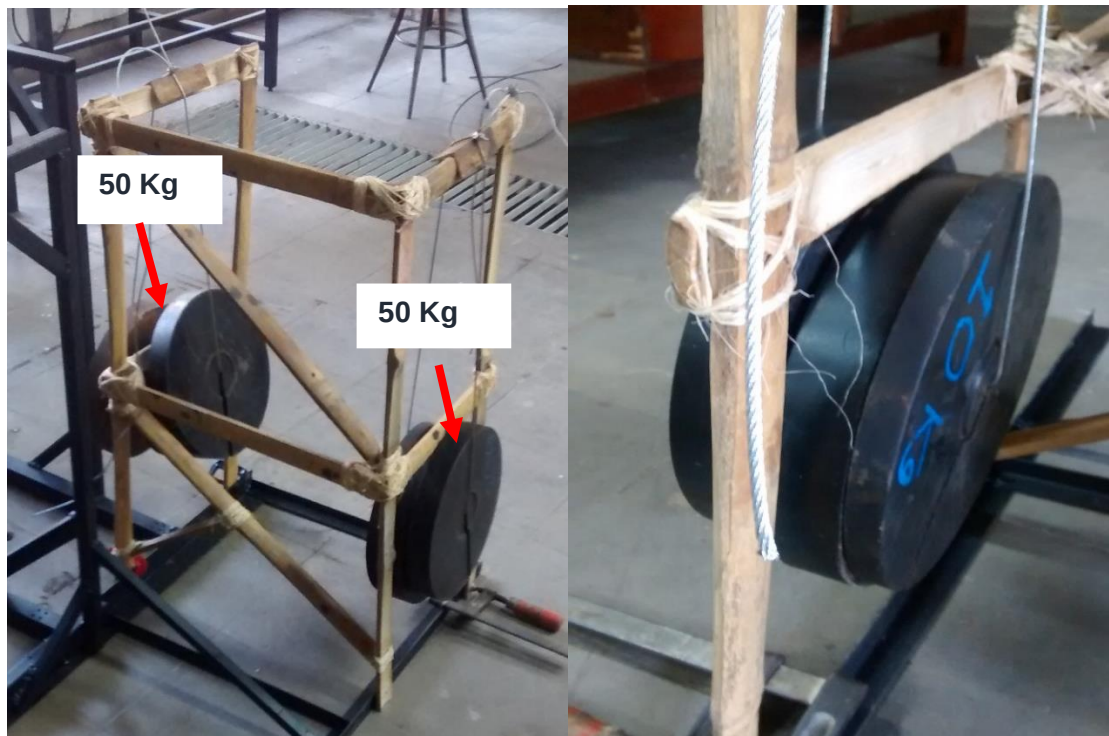


Figura 6-5 Prueba de caminador con carga vertical en puntos de apoyo

Se realizo una tercer prueba ubicando sobre cada punto de apoyo para las manos, se dejo una de las patas del caminador libre, es decir sin superficie de soporte. Se comprobo que el comportamiento simulado para este caso en (4.3.2. *RESULTADOS PARA EL CAMIADOR*) es similar.

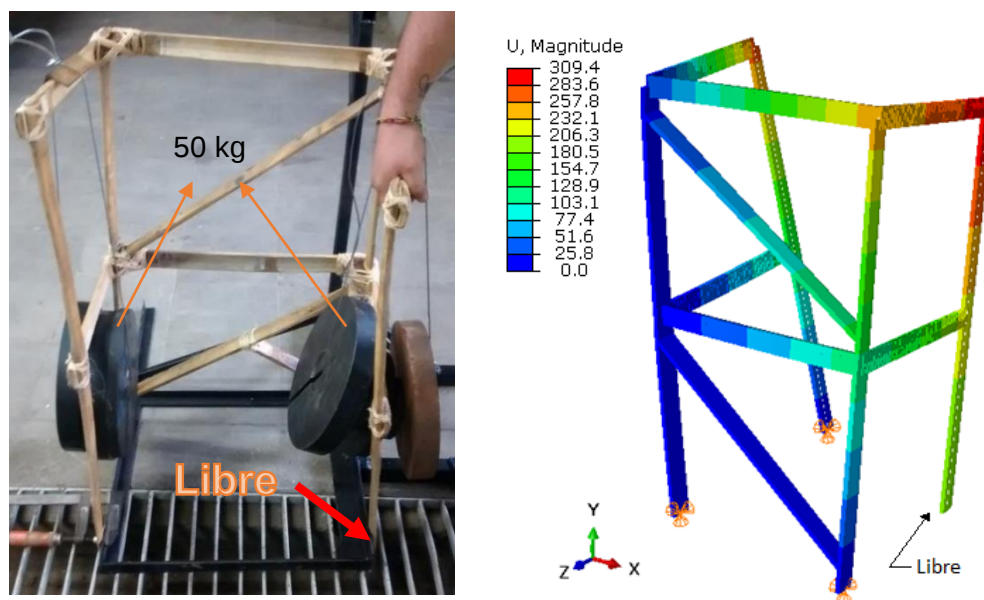


Figura 6-6 Prueba de caminador con un soporte libre

6.1.3. PRUEBAS EN LAS MULETAS

Se utilizaron pesos que completan de 90 Kg para aplicar cargas al prototipo de muletas construido, se utilizó un montaje que le restringe los desplazamientos laterales y solamente le permite deslizar en un plano. Se utilizó un ángulo de inclinación de 30° contra la pared ya que se consideró como el caso más crítico en el que se podría aplicar toda la carga debido a posibles fallas por pandeo en las latas.



Figura 6-7 Pruebas de carga estática en la muleta

En la imagen anterior (ver **Figura 6-7**) se posicionó el comparador de caratula y se midió el desplazamiento del punto mostrado. Se continuó aumentando el peso aplicado hasta llegar a 90 Kg, los datos registrados se pueden encontrar más adelante en la **Figura 6-8**. También se aplicó carga en punto de apoyo axilar de la muleta para verificar si el dispositivo puede soportar la carga. Se aumentó el peso hasta completar 90 kg y se

realizó posteriormente una inspección visual en la cual no se encontraron evidencias de falla o fisuras en las latas.

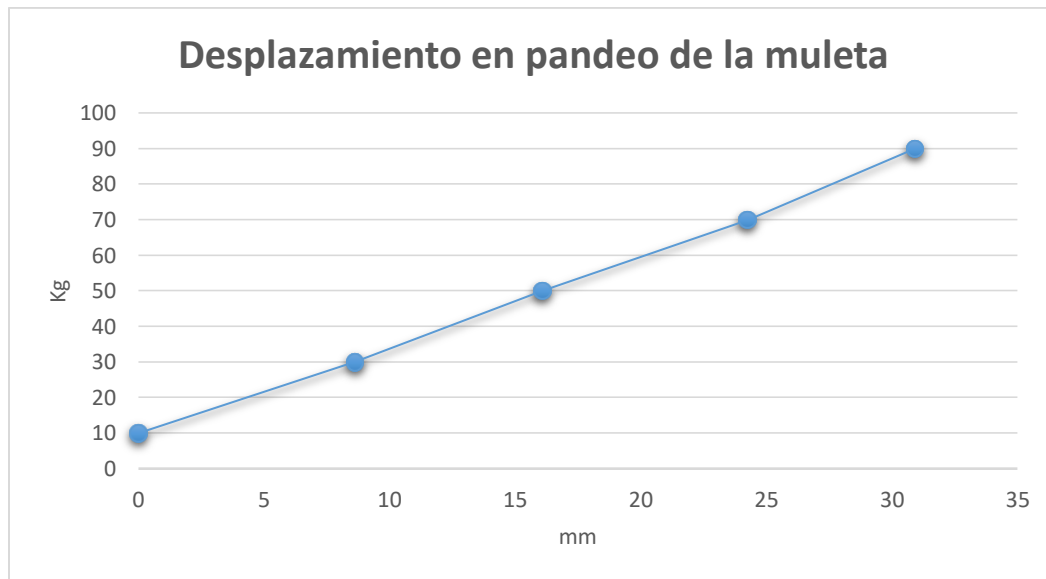


Figura 6-8 Datos registrados de desplazamientos en zonas críticas de la muleta

El comportamiento mostrado en la **Figura 6-8** representa la capacidad de la estructura de guadua para deformarse elásticamente sin presentar rotura a un nivel de carga de 90 kg.

6.2. ANALISIS DE PROTOTIPOS EN CASOS DE CARGA CICLICA

Realizar estudios de fatiga es un proceso que usualmente requiere de bastante tiempo y repetición de ensayos, sin embargo, como un primer aporte a los desarrollos de prototipos diseñados, se presenta en esta sección un corto estudio en el que se someten uniones genéricas con fibra de fique y pegamento para madera, teniendo en cuenta que esta unión es clave para la construcción de prototipos, que ha sido aplicada para los caminadores y se puede aplicar a la elaboración de muletas de guadua.

En caminadores y muletas el peso es transferido a través de los puntos de apoyo para las manos. En primera instancia, sería adecuado aplicar cargas equivalentes a la mitad del peso del paciente en cada punto de apoyo. Así poder determinar el número de ciclos que soporta la unión en cada prototipo.

Es necesario tener en cuenta el espacio entre las mordazas que permite la máquina de ensayos dinámicos (referenciar máquina), el cual no excede los 80 cm, por ende, se requiere abordar el problema de una manera localizada en las zonas de geometrías críticas o de mayor esfuerzo que generalmente son las más propicias a fallar por fatiga.

6.2.1. CICLOS REQUERIDOS

Para realizar este ensayo es necesario conocer un número de ciclos determinados como referencia para comparar y saber si los prototipos van a soportarlos. En un estudio se estipula que el número promedio de pasos que da una persona en condiciones normales es de 5000 a 10.000 por día, pero también se concluye que los adultos mayores y sobretodo población especial, con limitaciones funcionales y/o problemas de salud se encuentran lejos de cumplir este objetivo. Se estima que el promedio de pasos que da por día personas en estas condiciones normalmente oscila entre los 1000 y 2000 pasos por día, dependiendo su condición e inclusive depende del día de la semana [17]. Incluso hay estudios que afirman que el promedio de distancias recorridas por personas saludables no alcanza el kilómetro diario. Por lo tanto, el número de ciclos de carga y descarga en el caminador o las muletas equivaldría a 2000/día, visto en años 730.000/año.

6.2.2. CARGAS

Para tener una referencia en este análisis, se decidió utilizar como referencia el caso del caminador que se elaboró con este tipo de junta, de esta manera, se puede considerar un peso de 100 kg sobrepasa poco más de 10% el peso máximo medido en el estudio acopla 95, para el 95% de la población laboral de muestra. Hablando, en otros términos, equivale aproximadamente a 980N y, por ende, 440N en cada punto de apoyo para las manos.

6.2.3. ENSAYOS DE FATIGA EN LA JUNTA GENERICA DE FIQUE

Este tipo de uniones es en los prototipos una de las partes que fácilmente puede fallar por fatiga, debido a que en ella se conectan latas de guadua en diferentes direcciones. Una unión típica se ensayó, esta unión corresponde a la lata que se encuentra en posición vertical en el caminador con uniones de fique y está sometida a compresión cíclica, debido a la carga que se transmite a través de la unión cuando se dan pasos.

Se realizó un primer ensayo con una carga media aproximada a la mitad de la carga soportada en el ensayo de carga estática (750 N), con el fin de obtener una idea de los ciclos que le tomaría fallar a la junta bajo una carga media alta.

Usando cargas que varían de forma sinusoidal con amplitud de 500 N (ver **Figura 6-9**). No se utilizó amplitud de 750 N, dado que se requería una precarga para evitar que la máquina generara impactos al aplicar la carga de forma cíclica.

En esta prueba se obtuvo falla a los 21500 ciclos aproximadamente. La falla se observó al desprenderse la lata posicionada de manera vertical y quedar con libertad de movimiento en la dirección de aplicación de la carga.

En tiempo utilizando un caminador con este tipo de juntas 21500 ciclos de carga equivalen a aproximadamente a 21 días de uso.

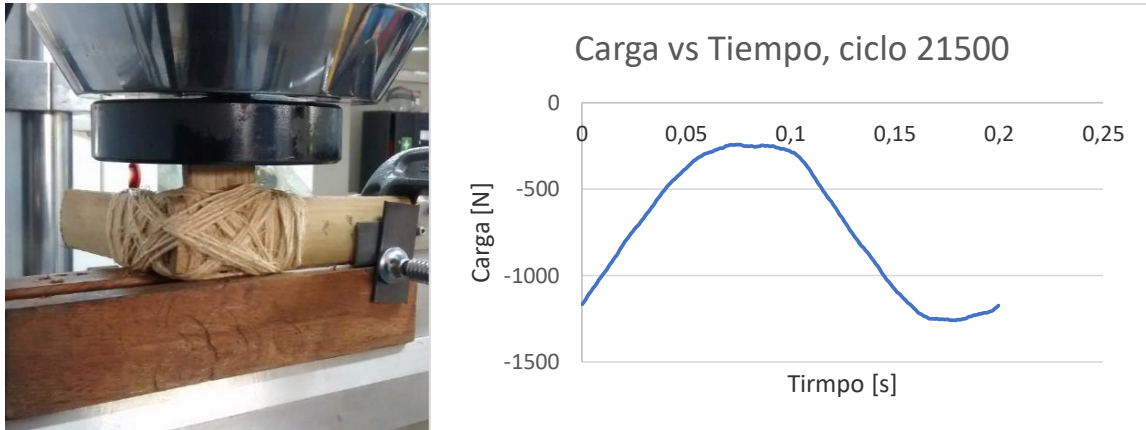


Figura 6-9 Curva de carga para la 1er unión ensayada

Un segundo ensayo del mismo estilo se llevó a cabo donde la amplitud del control de carga sinusoidal fue 150 N y la carga media de 300 N (**Figura 6-10**), teniendo en cuenta que un caminador cuenta con cuatro uniones por las que se distribuye la carga sería como aplicar cargas de 1200 N, un poco menos de 120 Kg. Dicha carga es un poco más que el peso máximo del paciente para el que se está diseñando por lo que lo hace un ensayo conservador.

En este ensayo se detuvo la máquina de ensayos dinámicos y se llegó a 220000 ciclos sin llegar a la falla, que ya es un indicador equivalente a 3 meses de uso de un caminador con este tipo de juntas.

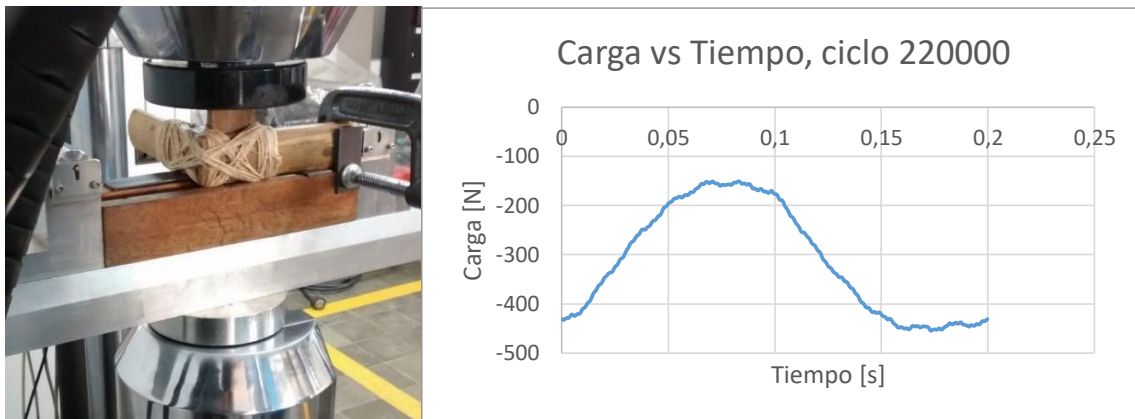


Figura 6-10 Curva de carga para la segunda unión ensayada

Un tercer ensayo se llevó a cabo utilizando la misma junta que no se pudo llevar a la falla en el segundo, se elevó la carga media 600N para buscar una falla más temprana con ciclos de carga de amplitud 275 N (**Figura 6-11**). sin embargo, se superó el valor de ciclos esperados y se detuvo la maquina sin haber obtenido falla tras 80000 ciclos de carga.

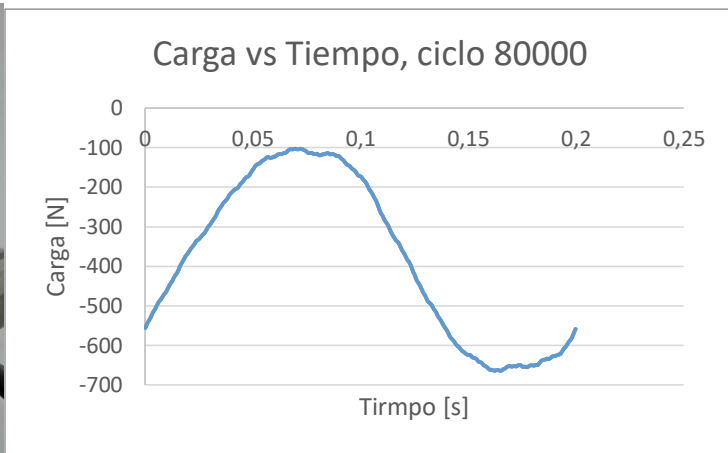


Figura 6-11 Tercer ensayo de fatiga, segundo espécimen con mayor nivel de carga

Por último, se ejecutó un cuarto ensayo utilizando una carga media de 800 N y una amplitud de 375 N (Figura 6-12), en este ensayo se obtuvieron 50000 ciclos de carga sin llegar a la falla y se realizó utilizando una nueva muestra, diferente a las de los ensayos 1, 2 y 3.

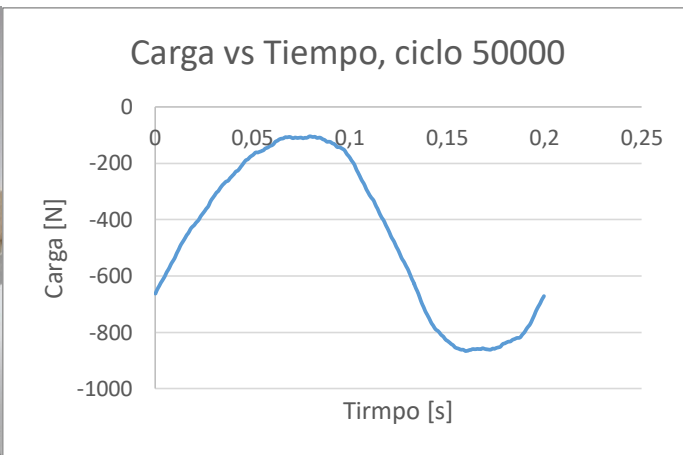


Figura 6-12 Cuarto ensayo de fatiga, tercera muestra diferente de unión

Se estimó un esfuerzo local debido a la fuerza aplicada a través del área de la unión que se adhiere mediante el pegante a las fibras. Dicha área sometida a cortante es de aproximadamente 160 mm² dado que corresponde a la superficie de las dos latas cruzadas de 40mm de ancho cada una (Figura 6-13). Las cargas aplicadas se llevaron a rangos de esfuerzos, se registraron en la Tabla 6-2.

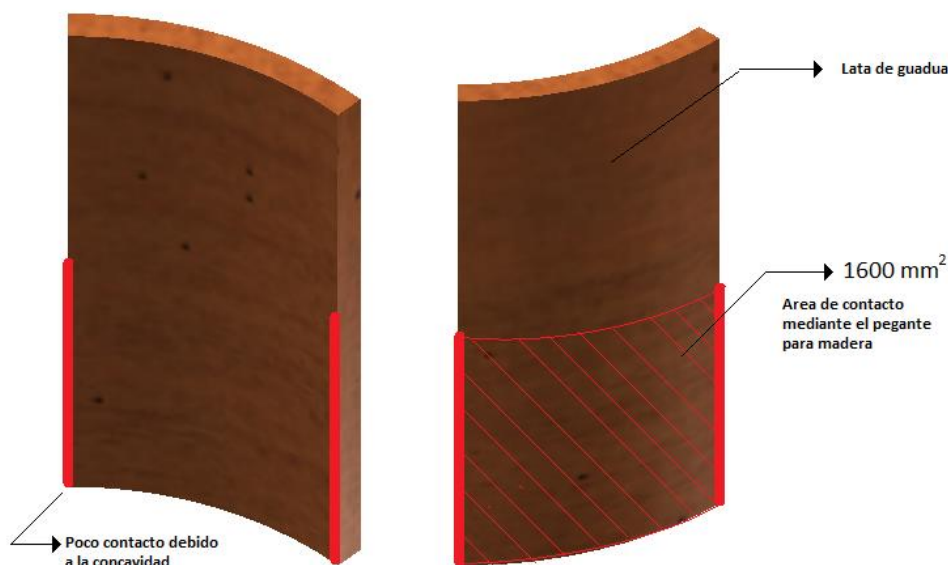


Figura 6-13 Área de esfuerzo local en la lata de guadua sometida a fatiga

Tabla 6-2 Ciclos de carga en pruebas de fatiga a la unión genérica con fibras de fique

Amplitud de la carga [N]	Carga compresiva [N]	Rango de esfuerzo [kPa]	Ciclos obtenidos
500	1000	625	21.500
375	750	469	80.000
275	550	344	50.000
150	300	188	220.000

Los resultados de todas las pruebas se pueden observar en la **Figura 6-14**, en función del esfuerzo local estimado para cada carga (ver **Tabla 6-2**).

Se utilizó base logarítmica para representar los esfuerzos en la **Figura 6-14**, los valores logarítmicos equivalentes a los esfuerzos se presentan en la **Tabla 6-3**. Se pueden observar en la primer y segunda columna valores de pesos equivalentes según la carga aplicada en la unión para el ensayo, algunos pesos son demasiado elevados ya que corresponden a valores de varga altos utilizados para probar la unión. Básicamente la idea de la tabla es mostrar los pesos equivalentes a 70, 50 y 30% de la carga que serán utilizados en la **Figura 6-14**, para determinar los ciclos esperados con estas cargas.

Tabla 6-3 Esfuerzos en base logarítmica y equivalencias a porcentaje de peso del paciente

Veces el peso máximo [Kg]	Peso en el caminador [Kg]	Carga en la unión [Kg]	Esfuerzo [N/mm ²]	Log(esfuerzo) [N/mm ²]
4.6	404	101	625	5,8
3.6	304	76	469	5,7
2.5	224	56	344	5,5
1.4	120	30	188	5,3
0.7	60	15	96	5
0.5	44	11	68	4,8
0.3	24	6	41	4,6

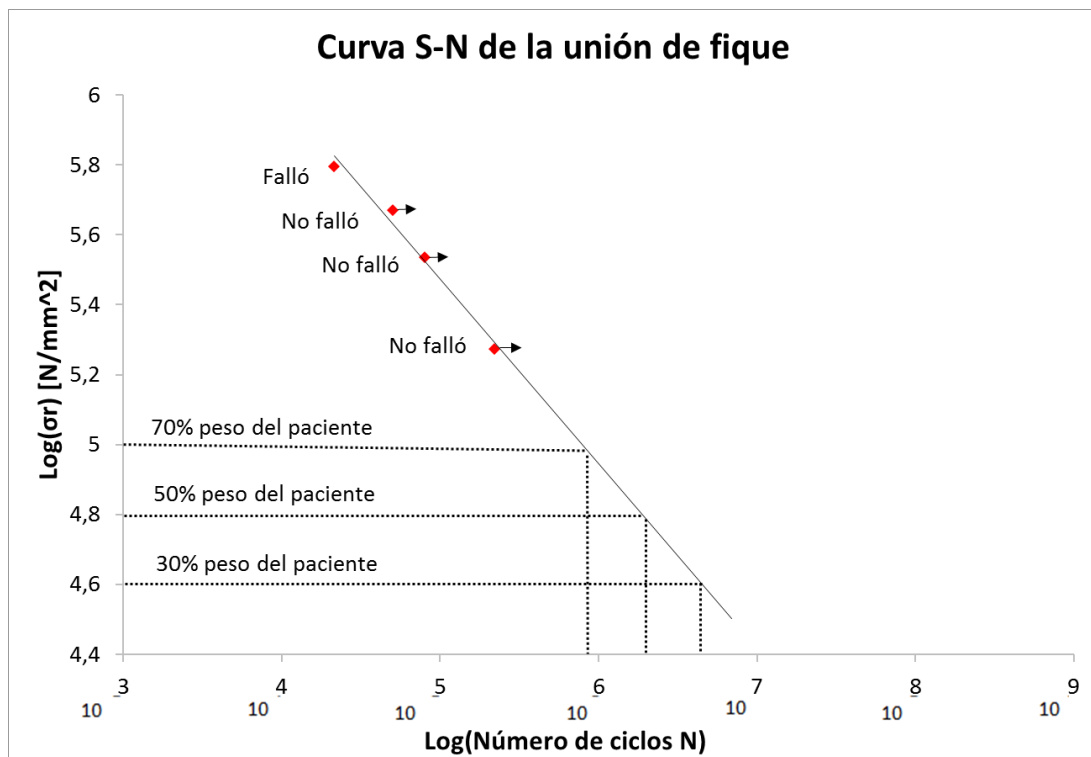


Figura 6-14 Curva S-N a partir de las uniones probadas

Se puede observar en la Figura **6-14**, que los ensayos realizados demuestran ser un criterio seguro, con el cual se puede esperar que para un uso de caminador bajo un 70% del peso del paciente no halla falla en un caminador al menos sobre 800.000 de ciclos de carga, para 50% se esperan a menos 3.000.000 de ciclos de carga y para 30% del peso la cantidad de ciclos alcanzados debería ser al menos 6.000.000 de ciclos de carga.

CAPÍTULO 7

7. COMPARACIÓN ECONOMICA DE LOS PROTOTIPOS

A continuación, se presenta una breve comparación económica entre los prototipos elaborados contra algunos prototipos que se encuentran actualmente en el mercado.

Caminadores: se presentan en la Tabla 7-1 los costos estimados de la materia prima para la elaboración de un prototipo de caminador de guadua. El costo de un caminador de aluminio del modelo más sencillo se cotizo en diferentes páginas web, el precio oscila alrededor de \$120.000

Tabla 7-1. Costos de un caminador de guadua

MATERIAL	COSTO	DESCRIPCIÓN
Guadua	\$5.600	En el caso de producción comercial, o de no tener acceso a algún cultivo natural, es necesario recurrir a la compra de la guadua necesaria para producir el o los productos de apoyo requeridos.
Fibra de fique	\$1.600	la fibra de fique puede encontrarse de manera comercial y se consigue mono hilo o de varias hebras. En el caso del proyecto actual, se utilizó fique de un solo hilo y su costo fue \$16.000 Kg, del cual se requiere aproximadamente la décima parte equivalente a \$1.600.
Pegamento para madera	\$2.800	para elaborar 1 prototipo se requieren 250g de pegamento para madera. El precio aproximado de este producto es de \$10.900 por Kg, por lo tanto, 250g equivalen alrededor de \$2.800
Listón de madera	\$1.000	se obtuvo para este proyecto un listón de madera reciclado a partir de retal de madera de un deposito. Para tener un estimado se buscó el precio comercial y es de \$20.000 por 2.5 metros del material, del cual se requiere 1/20 de su longitud para elaborar un prototipo equivalente a \$1.000
Herramientas adicionales	\$20.000	Herramientas: hay herramientas que son de uso doméstico, como el serrucho, tijeras, bisturí, lápiz. Sin embargo, en el caso de no poseer dichos utensilios podrían adquirirse por un precio aproximado de \$20.000.
TOTAL	\$11.000	SIN HERRAMIENTAS
TOTAL	\$31.000	CON HERRAMIENTAS

Muletas: se presentan en la Tabla 7-2 los costos estimados de la materia prima para la elaboración de un par de muletas de guadua, para ser comparados con el precio de un par de muletas convencional del mercado. El costo de un par de muletas de aluminio del modelo más sencillo se cotizo en diferentes páginas web, los precios se encuentran a partir de \$80.000.

Tabla 7-2 Costos de un par de muletas de guadua

MATERIAL	COSTO	DESCRIPCIÓN
Guadua	\$5.600	En el caso de producción comercial, o de no tener acceso a algún cultivo natural, es necesario recurrir a la compra de la guadua necesaria para producir el o los productos de apoyo requeridos.
18 tornillos de 3/16 X 2" con tuerca y arandelas	\$5.400	Se encuentran comercialmente en ferreterías, el precio cotizado para un juego de tornillo tuerca y dos arandelas es de \$300.
Angulo de hierro	\$500	Se encontró ángulo de hierro como retal reciclado en una cerrajería. Puede comprarse por \$5000 un ángulo de 2m de longitud, y se requieren solamente 20cm en total que equivale a \$500 de material
Herramientas adicionales	\$25.000	Hay herramientas que son de uso doméstico, como la cinta métrica, tijeras, bisturí, lápiz, taladro manual. Sin embargo, en el caso de no poseer dichos utensilios podrían adquirirse por un precio aproximado de \$25.000.
TOTAL	\$11.500	SIN HERRAMIENTAS
TOTAL	\$36.500	CON HERRAMIENTAS

En la siguiente Figura 7-1, se presenta la comparación de los costos de los productos elaborados en comparación con los convencionales, observe que los costos de los elaborados se mucho más bajo siempre que se cuenten con las herramientas básicas. Aun así, sin contar con ellas siguen siendo más económicos.

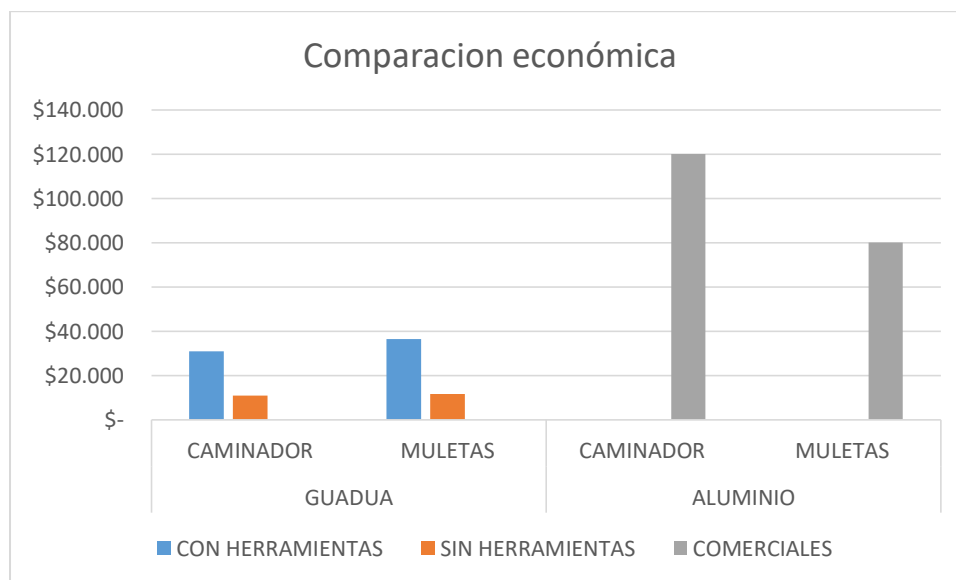


Figura 7-1. Comparación de costos de prototipos de guadua y comerciales de aluminio

CONCLUSIONES

1. A partir de este estudio, se considera factible la elaboración de ayudas técnicas como caminadores y muletas de guadua. Se observó mediante los ensayos y análisis ejecutados que los prototipos diseñados y contruidos con este material poseen suficiente resistencia para las condiciones básicas de uso por parte de los usuarios y podrían ser ejecutadas algunas pruebas con pacientes siempre y cuando se proceda a elaborar los prototipos de la manera planteada en el manual de construcción anexo en este trabajo. A demás, los productos de apoyo elaborados de guadua son hasta 10 veces más económicos que los convencionales de aluminio, y su peso no difiere mucho de estos.
2. Para el caminador de guadua, en el análisis de elementos finitos se obtuvieron desplazamientos hasta de aproximadamente 23mm al aplicar cargas laterales. Sin embargo, en puntos de apoyo para las manos ascienden al orden de los 18mm. Los desplazamientos medidos para las mismas cargas de manera experimental en los puntos de apoyo para las manos fueron de 9mm, lo que indica que el resultado fue acorde y mejor de lo esperado. Esta prueba nos permite afirmar que el prototipo es seguro ante cargas que pueden aparecer súbitamente en estas direcciones. Por otra parte, se puede afirmar que concluir que el prototipo es estable hacia los lados generando una sensación de seguridad y confort en el paciente.
3. Tanto en los análisis computacionales como en las pruebas de carga estática ejecutadas, el prototipo de caminador resistió 100kg, peso que supera los máximos encontrados en datos de referencia utilizados con fines de diseño (95% de los pesos registrados a 2100 colombianos). Esto quiere decir que las estructuras de caminadores de guadua pueden soportar una persona hasta de 100Kg, teniendo en cuenta que el uso correcto de los caminadores no contempla que la persona descargue todo su peso sobre la ayuda técnica sino el mínimo necesario para caminar, podrían ser utilizados por personas de pesos superiores al soportado durante las pruebas.
4. Las pruebas ejecutadas dejando libertad de desplazamiento en el plano del suelo a las patas de los caminadores arrojaron como resultado deflexiones por efecto de pandeo en las patas traseras, que pueden llegar a los 5cm. Dicho efecto es un indicador negativo en caso de no haber fricción entre el suelo y las patas del caminador. Hay que tener en cuenta que los caminadores al final de su proceso de elaboración son adaptados con elementos de goma que evitan el deslizamiento y por ende suprimen este efecto. Se demostró en el (capítulo x) que mientras se agreguen a los prototipos los elementos de goma en las patas, no habrá deslizamiento debido a las cargas previstas en los diseños. Sin embargo, es muy importante aclarar que los prototipos pueden fallar fácilmente en condiciones que puedan disminuir la fricción entre la goma y el suelo como por ejemplo un suelo enjabonado.
5. En las pruebas y análisis de elementos finitos en los cuales se dejó el caminador soportado solamente en tres patas, dos delanteras y una trasera, se evidencio un

efecto de deformación elástica de estructura completa. Para dicho efecto solo se midieron desplazamientos máximos en el modelo computacional del orden de 300mm, en el ensayo experimental se evidencio el efecto a simple vista, pero no se tomaron medidas de las deflexiones en la estructura. Este efecto puede tener varias interpretaciones desde el punto de vista del uso del caminador. La primera, que el caminador se adapta fácilmente a terrenos en los que la altura de una de las patas sea diferente a las demás, asumiendo que el desfase entre las alturas es del orden de 1 o 2 cm, permite al usuario encontrar un punto de estabilidad después de haberse desplazado la pata libre hacia abajo hasta llegar a la zona de contacto. Sin embargo, en el caso de que la diferencia entre alturas en el terreno sea de una magnitud mayor el dispositivo es completamente inestable.

6. las muletas en los modelos de elementos finitos presentan deflexiones pequeñas del orden 1.8mm, por lo cual se puede despreciar efectos de pandeo debido a cargas verticales, teniendo en cuenta que en las comparaciones de las otras estructuras de guadua como caminadores los modelos computacionales mostraron deflexiones del doble de las encontradas en las pruebas experimentales. Las pruebas experimentales realizadas a las muletas soportadas con una inclinación de 30° en el eje vertical, demuestran que en esta situación las muletas soportan hasta 90Kg sin fallar ya que se presenta deflexiones máximas de 30mm las cuales son tolerables debido a la alta capacidad de recuperación elástica que posee la guadua.
7. Se utilizaron uniones atornilladas para la construcción del prototipo de muletas de guadua, sin embargo, debido a las pruebas de carga estática realizadas a las uniones genéricas de fique y pegamento para madera, en las cuales se logró llegar a soportar cargas hasta de 150kg sin falla, se considera viable la elaboración de muletas con este tipo de unión.
8. La evaluación de fatiga realizada a la unión genérica de guadua y fibras de fique, brinda como resultado un criterio con el cual se puede afirmar que un caminador que se elabore con este tipo de juntas, puede durar un tiempo de servicio superior a 1 año para un caso en el que se usa el 70% del peso del paciente en cada ciclo de carga. Sin embargo, los caminadores son utilizados con el fin de estabilizar el paso al caminar y no se carga al paciente por completo. En el uso normal de este tipo de productos de apoyo se podría suponer que se soporta el 30% del peso del paciente por ciclo, siendo aún una cifra conservadora. Con este porcentaje de carga aplicado se pueden esperar más de 8 años de servicio en un caminador de guadua sin presentar falla en la unión.
9. La curva S-N que se determinó a partir de cuatro ensayos de fatiga a tres especímenes, de los cuales solo falló uno de ellos, el cual fue sometido a la combinación más alta de carga media y esfuerzos. Se tomó una de las muestras que no fallo a los ciclos esperados y se ensayó nuevamente a una carga media y esfuerzos más elevados, condiciones a las cuales tampoco falló. Lo anterior indica que la curva obtenida es un criterio sobreestimado de falla esperada, dado que si se hubieren dejado correr aún más ciclos de carga en las uniones que no fallaron, la curva que se obtendría reflejaría mayor tiempo de servicio en los caminadores, y en general en el uso de este tipo de juntas.

RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

1. Se recomienda realizar ensayos de fatiga a los prototipos utilizando una maquina o montaje en el que quepa el prototipo completo.
2. Se recomienda en un trabajo futuro realizar pruebas con pacientes, en las que los mismos usuarios de las ayudas técnicas, puedan brindar realimentación respecto a los diseños planteados y poder tener un producto más amigable.
3. Elaborar y evaluar muletas de guadua con la unión de fibra de fique, para hacer aun mayor el rango de productos evaluados.
4. Realizar pruebas con nuevas configuraciones de la estructura de caminadores, que permita solucionar o disminuir los problemas de estabilidad generados cuando se soporta el dispositivo en solo tres patas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Egea and A. Sarabia, "Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad," pp. 15–30.
- [2] Organización Mundial de la Salud, *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) Versión Abreviad.* 2011.
- [3] J. E. Edelstein, "Assistive devices for ambulation," *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.*, vol. 24, no. 2, pp. 291–303, May 2013.
- [4] "Uso de muletas: MedlinePlus enciclopedia médica." [Online]. Available: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/patientinstructions/000344.htm>. [Accessed: 10-Jun-2015].
- [5] N. Técnica, "COLOMBIANA NTC-ISO," 1994.
- [6] "Bambú Guadua Angustifolia Kunth | EITEC - Costa Rica." [Online]. Available: <http://www.ecoindustrias.com/slide-show/bambu/>. [Accessed: 10-Jun-2015].
- [7] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley," p. 1062, 2008.
- [8] "DLE: funcional - Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario." [Online]. Available: <http://dle.rae.es/?id=IbRm8IG>.
- [9] E. Valero, "Antropometría instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo," *Inst. Nac. Segur. e Hig. en el Trab.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–21, 2011.
- [10] J. E. M, J. A. C. P, M. T. R. C, and C. M. P. M, "Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995 Resumen Palabras clave Key words Introducción," *Rev. Fac. Nac. Salud Publica*, vol. 15, no. 2, pp. 1–24, 1998.
- [11] R. Drillis, R. Contini, and M. Bluestein, "Body Segment Parameters; a Survey of Measurement Techniques.," *Artif. Limbs*, vol. 25, pp. 44–66, 1964.
- [12] T. Norgate and N. Haque, "Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 3, pp. 266–274, 2010.
- [13] L. Villegas, R. Morán, and J. J. García, "A new joint to assemble light structures of bamboo slats," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 61–68, 2015.
- [14] Frank RR, *Bast and other plant fibres*, vol. 53, no. September 2013. 2013.
- [15] M. D. E. Nudos, "Marineros 1," pp. 1–147.
- [16] "Coefficients Of Friction." [Online]. Available: http://www.roytech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm#coef.
- [17] C. Tudor-Locke *et al.*, "How many steps/day are enough? For older adults and special populations.," *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.*, vol. 8, no. 1, p. 80, 2011.

ANEXOS

MANUAL DE ELABORACION DE PRODUCTOS DE APOYO DE GUADUA CON UNIONES ATORNILLADAS Y DE AMARRES CON FIQUE.

Obtención de latas de guadua

La guadua tiene la particularidad de poder ser cortada fácilmente en su dirección longitudinal utilizando sencillas herramientas como un machete o cortador radial. Para obtener latas de guadua siga los pasos mostrados a continuación.

- A partir de un culmo de guadua obtenga latas de 4cm de ancho, para ello puede utilizar una herramienta de corte como el machete gracias a la particularidad de la guadua de poder ser cortada fácilmente en su dirección longitudinal. También existen otras herramientas como un cortador radial metálico que igualmente se utiliza asegurando el culmo de guadua en uno de sus extremos y empujando el cortador por el extremo libre.

Fibra de fique

La fibra de fique puede encontrarse comercialmente, usted puede encontrar fibras de fique hilado en presentaciones de uno o más hilos, para este caso utilice fique de 1 hilo debido a la facilidad de manejo que este permite.

ELABORACIÓN DE UN CAMINADOR CON UNIONES DE FIQUE

Aquí se presenta como construir un caminador de guadua en latas unido mediante fibras de fique y pegamento para madera.



Lista de materiales necesarios

- Latas o culmo de guadua
- Listón de madera de 3x5cm y 20cm de longitud
- Fibra de fique

-Pegamento para madera

Lista de herramientas necesarias

-cinta métrica

-segueta o serrucho

-Machete o cortador radial (Ver, Obtención de latas de guadua)

-tijeras o bisturí

-Marcador, lapicero o lápiz

-guantes de cuero o tela. (Opcional)

Pegamento para madera.

Se debe utilizar pegamento para madera convencional de secado lento. No debe diluirse el pegamento en agua a no ser que se especifique en alguna parte específica del manual.

Latas de guadua para la estructura.

Mida y corte las latas con las longitudes que se muestran a continuación en la imagen 1. El número mostrado bajo cada lata como x1, x2, ... indica que debe cortar esa cantidad de latas de dicha longitud.

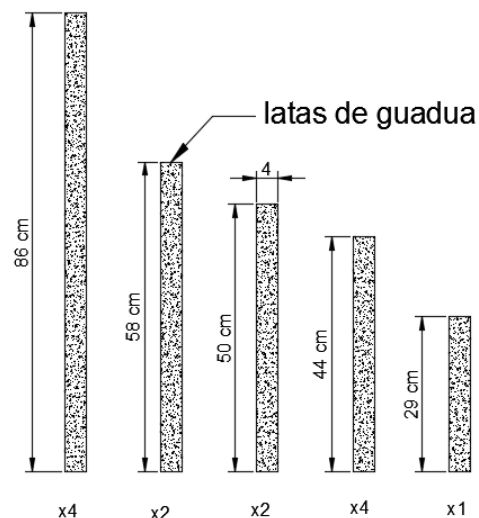


Imagen 1

Obtención de prismas triangulares de madera.

Los prismas triangulares de madera son necesarios para unir latas que se van a ubicar a 90°, se pueden obtener a partir de un listón de madera. Para obtenerlos siga los pasos a continuación:

- Tome un listón de madera, asegúrese de que la cara del listón tenga medidas 3x5cm, de lo contrario córtelo para obtenerlas.

- Tome medidas a lo largo del listón cada 5cm, si es un listón de 20 cm obtendrá cuatro secciones iguales. Marque líneas de forma que obtenga piezas con forma de prisma triangular (ver la imagen 2)

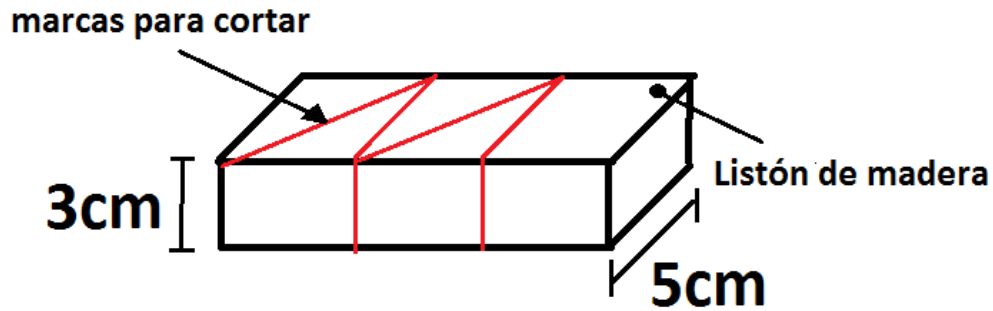


Imagen 2

Elaboración del caminador de guadua

Para elaborara un caminador de guadua con uniones en fibra de fique, siga las siguientes instrucciones.

Paso 1. Tome 4 latas de 86cm, mida 37cm a partir de un de los extremos, haga una marca como referencia como lo indica la imagen 3.

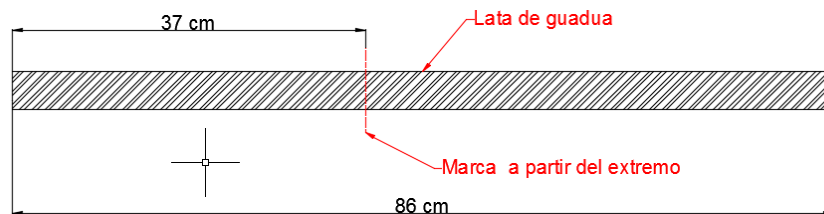


Imagen 3

Paso 2. Tomar las cuatro latas de 86 cm, ye dos de 44 cm, posicione de a 2 las latas de 44cm sobre dos de 86 cm de la forma en la imagen 4 a continuación. Repita el paso para obtener dos estructuras iguales.

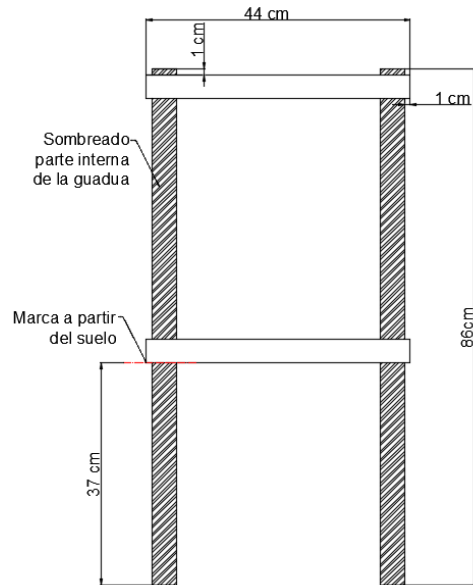


Imagen 4

Nota: que la lata 3, se ubica dejando 1cm libre en el extremo de las latas 1 y2, igualmente que las latas 1 y dos dejan un cm libre en los extremos de la lata 3.

Nota: La lata 4, se ubica exactamente debajo de la marca de referencia realizada en el paso inicial.

Paso 3. Para fijar las latas de las estructuras del paso 2, utilice 3 metros de fibra de fique, humedecida en una mezcla de 70% pegante para madera y 30% agua. Siga el proceso mostrado en la siguiente imagen. Siga los números en la imagen 5 para enrollar el fique alrededor de las latas.

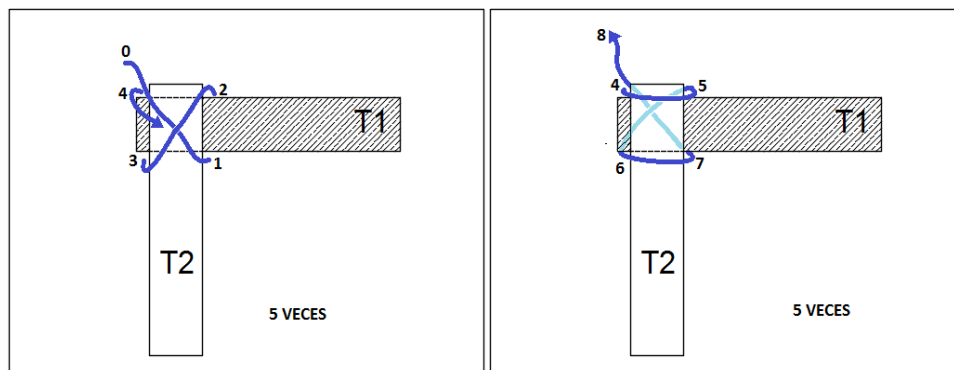


Imagen 5

Paso 4. Tome las estructuras elaboradas anteriormente, los prismas de madera y 2 latas de guadua de 50cm. Posiciónelas de la manera que se muestra en la imagen 6.

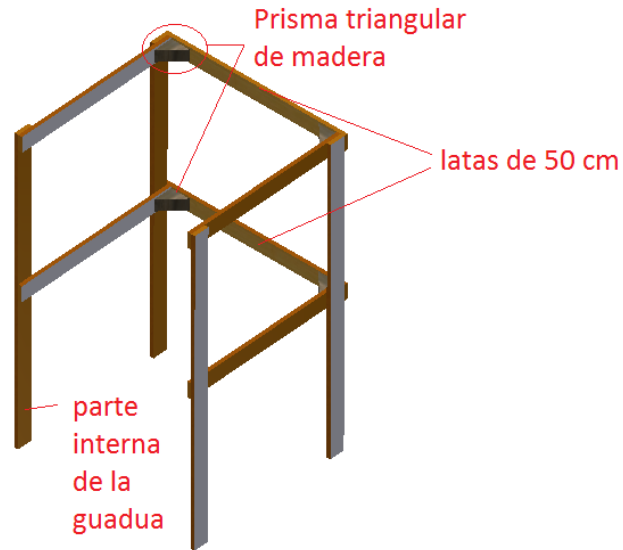


Imagen 6

Paso5. Después de posicionadas proceda a realizar el nudo que se presenta a continuación utilizando la fibra de fique humedecida. Para realizarlo repita 5 veces la secuencia mostrada en la imagen 7 en cada junta del mismo estilo. La primera parte del nudo corresponde al paso 3, y se explicó previamente para facilitar la unión de las partes. Comience desde la segunda parte del nudo (ver imagen 7 a continuación).

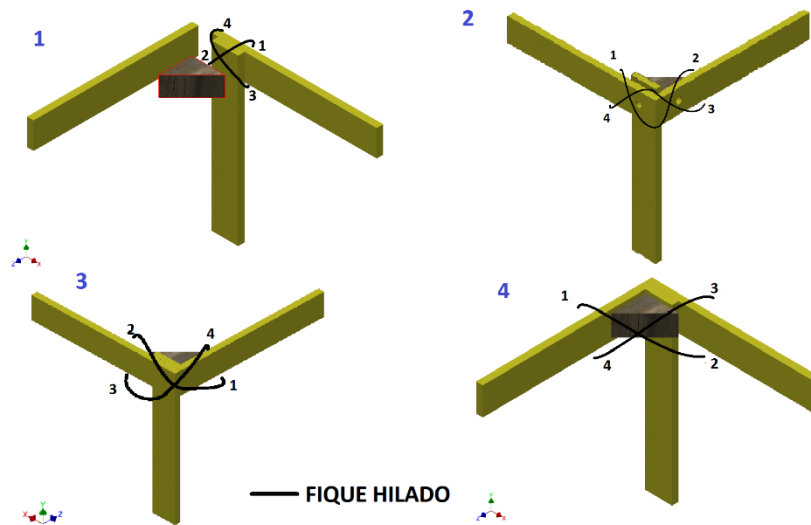


Imagen 7

Paso 6. Posicione las 2 latas de 58cm luego posicíonelas como se muestra en la siguiente imagen 8.

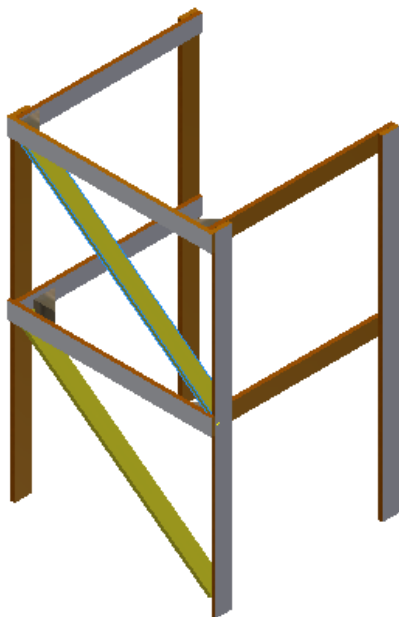


Imagen 8

Paso 7. Ubique la lata de guadua de 29 cm y átela en la posición mostrada utilizando el procedimiento mostrado en la imagen 9.

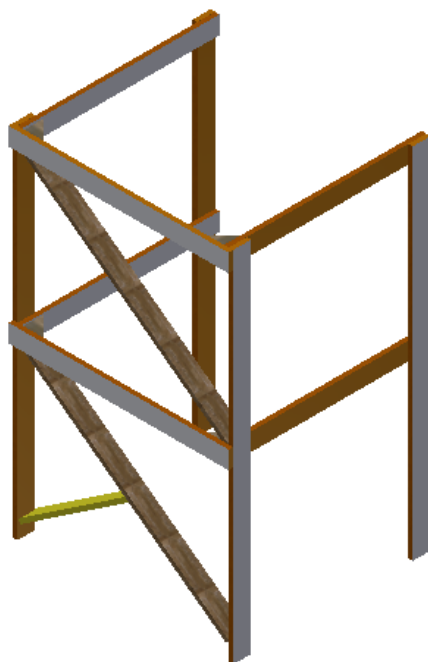


Imagen 9

Paso 8. Para atar las latas ubicadas en posición diagonal, dos de 58 cm y una de 29, se debe seguir la secuencia que se muestra en la imagen 10 a continuación utilizando la fibra de fique y repetirse 5 veces.

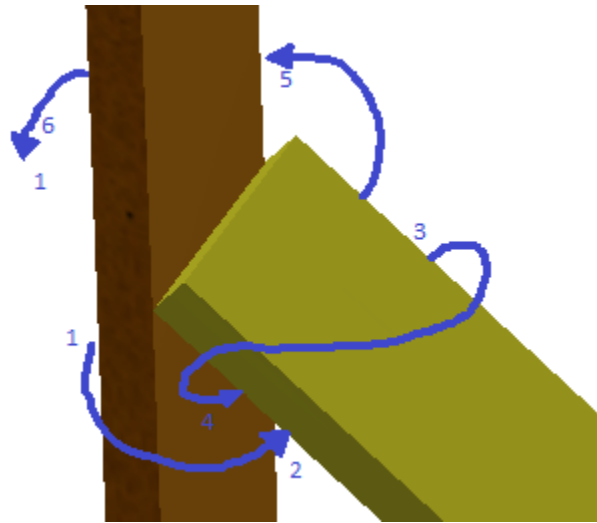


Imagen 10

4. Regulación de la altura del caminador.

Este es un caminador personalizado, debe ajustarse a la medida del paciente. Por lo tanto, una vez obtenida la medida de la altura de la cadera desde el suelo tomar la misma medida en el caminador desde la parte superior hacia abajo y corte las cuatro patas a esta distancia, realice un corte lo más plano posible.

ELABORACIÓN DE MULETAS DE GUADUA

Aquí se presenta como construir una muleta de guadua en latas unido mediante tornillos y arandelas.



Lista de materiales necesarios

- Latas o culmo de guadua
- Ángulo de hierro de 1.5" X 12cm
- 9 Tornillos de 3/16" X 2" con tuerca
- 18 arandelas de acero para tornillos de 3/16"

Lista de herramientas necesarias

- cinta métrica
- segueta o serrucho
- Machete o cortador radial (obtención de latas de guadua)
- Destornillador o llave para tornillos de 3/16"
- Marcador, lapicero o lápiz
- Taladro eléctrico o manual y broca de 5mm

Paso 1. Tome la medida del paciente de la axila al suelo y réstele 8cm, posteriormente tome la medida del paciente del suelo a la cadera. Tenga presente estos valores.

Paso 2. Corte las latas de guadua de 4cm de ancho, de las siguientes longitudes. Observe en la imagen 11, que se requieren dos latas entre los 110-130 cm, la dimensión de esta lata se debe dar tomando la medida del paciente de la axila al suelo y réstele 8cm.

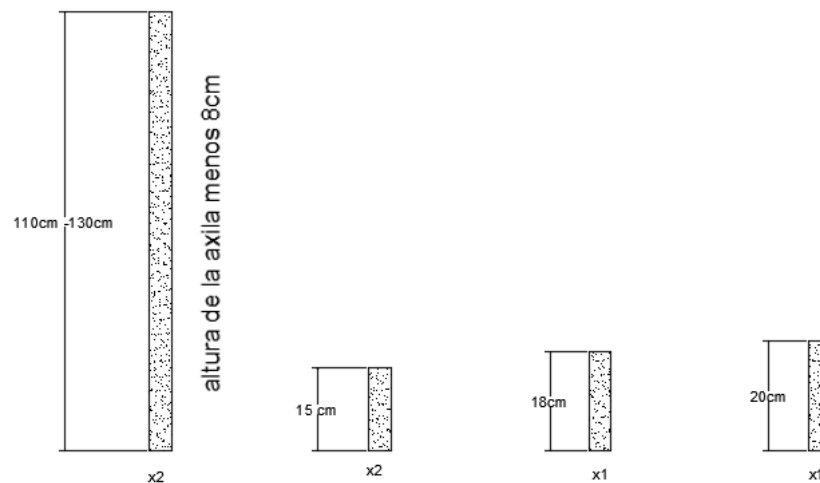


Imagen 11

Paso 3. Utilizando el taladro manual o eléctrico, realice perforaciones de 5mm a las latas de guadua en los puntos mostrados en la imagen 12; tenga en cuenta que la medida correspondiente a la altura de la cadera del paciente hasta el suelo y debe encontrarse en el rango mostrado.

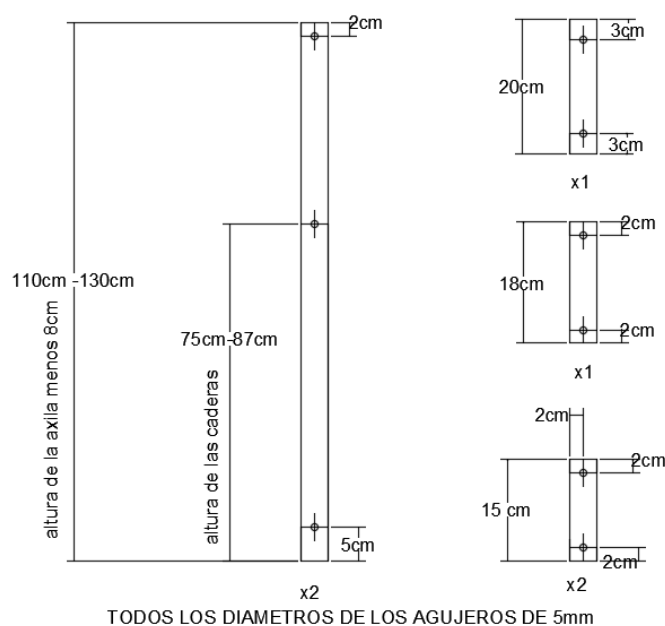


Imagen 12

Paso 4. Corte segmentos de ángulo de 3cm y realice perforaciones con ayuda del taladro, los agujeros deben ir como se muestra en la imagen 13.

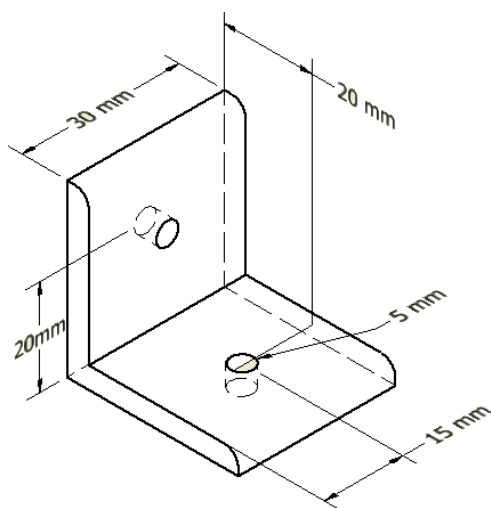


Imagen 13

Paso 5. Conecte las latas de guadua de 18 y 20 cm como se muestra en la siguiente figura, utilizando un ángulo de 3cm, 2 pernos de 3/13" y arandelas antes del tornillo y antes de la tuerca, (ver la imagen 14).

Paso 6. Conecte las latas de guadua de 15cm como se muestra en la siguiente figura, utilizando un ángulo de 3cm, 2 pernos de 3/13" y arandelas antes del tornillo y antes de la tuerca, (ver la imagen 14).

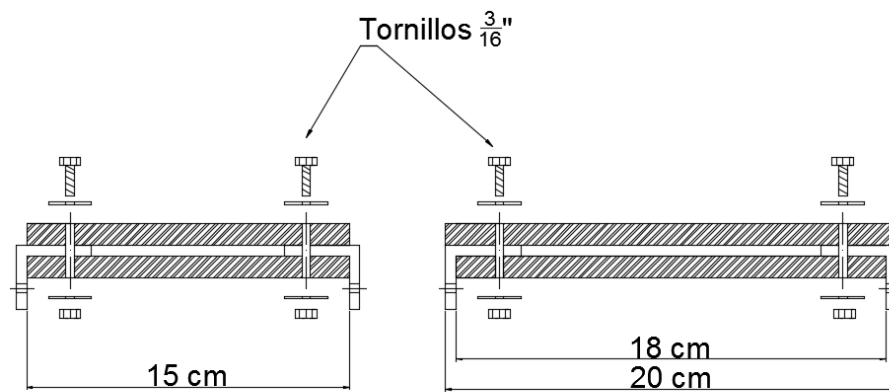


Imagen 14

Paso 7. Conecte dos latas de (110-130cm) mediante un tornillo de 3/16", utilizando arandelas antes del tornillo y antes de la tuerca. El tornillo debe pasar por el agujero ubicado a 5cm del extremo de la lata de guadua, (ver imagen 15).

Paso 8. Ubique las latas conectadas de 15cm (ver imagen 14) para hacer coincidir los agujeros de los ángulos y los agujeros a la altura de la cadera en la lata de guadua larga. Después proceda a conectarlos mediante tornillos de 3/16" y arandelas en la parte externa de la lata de guadua, (ver imagen 15).

Paso 9. Ubique las latas conectadas de 18 y 20cm (ver imagen 14) para hacer coincidir los agujeros de los ángulos y los agujeros a la altura de la cadera en la lata de guadua larga. Después proceda a conectarlos mediante tornillos de 3/16" y arandelas en la parte externa de la lata de guadua, (ver imagen 15).

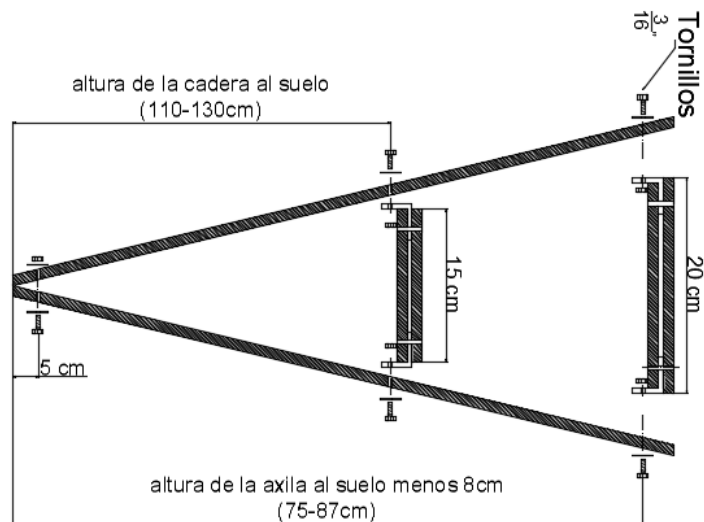


Imagen 15

Soportes de goma

Es necesario agregar terminación es de goma para poder evitar el deslizamiento de las muletas y caminadores en algunos tipos de suelo. Siga el procedimiento para crear unas a partir de llantas recicladas.

Corte secciones de 10 cm de una llanta de motocicleta reciclada, como se muestra en la (imagen). Después ubíquelas como se muestra en la imagen 16 y utilizando fibra de fique amarre aplicando por lo menos 10 vueltas de fique húmedo y luego realice un nudo para rematar. Repita el procedimiento en las cuatro patas si se trata del caminador o en el punto de apoyo contra el suelo si se trata de las muletas.



Imagen 16

Puntos de apoyo para las manos

Puede obtener puntos de apoyo más blandos y ergonómicos utilizando materiales reciclados como retales de tela, neumáticos reciclados, espumas recicladas, etc. Utilice espuma o tela para crear una capa blanda alrededor de los puntos de apoyo que se ubican en la mitad de la longitud de las latas señaladas en la imagen. Luego corte los neumáticos para tener bandas alargadas de neumático y cubra las zonas donde se empuñará la mano.