

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONEXIONES DE
BAMBÚ PARA ESTRUCTURAS DESPLEGABLES.”**

Autor:

Pablo Miguel Tenemaza Guamán

Tutor:

Ing. Andrea Zárate Mgs.

Riobamba, Ecuador, 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Pablo Miguel Tenemaza Guaman**, con cédula de ciudadanía **060406224-0**, autor del trabajo de investigación titulado: **COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONEXIONES DE BAMBÚ PARA ESTRUCTURAS DESPLEGABLES**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 30 de octubre de 2023.



Pablo Miguel Tenemaza Guaman

C.I: 060406224-0

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONEXIONES DE BAMBÚ PARA ESTRUCTURAS DESPLEGABLES**, presentado por **Pablo Miguel Tenemaza Guaman**, con cédula de identidad número **060406224-0**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 30 de octubre de 2023

María Gabriela Zúñiga Rodríguez, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Diego Hernán Hidalgo Robalino, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Cristian Andrés Marcillo Zapata, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Andrea Natali Zarate Villacrés, Mgs.
TUTORA



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONEXIONES DE BAMBÚ PARA ESTRUCTURAS DESPLEGABLES**, presentado por **Pablo Miguel Tenemaza Guaman**, con cédula de identidad número 060406224-0, bajo la tutoría de Mg. Andrea Natali Zarate Villacrés; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de octubre de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Diego Hernán Hidalgo Robalino

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Cristian Andrés Marcillo Zapata

Firma

C E R T I F I C A C I Ó N

Que, **PABLO MIGUEL TENEMAZA GUAMAN** con CC: **060406224-0**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONEXIONES DE BAMBÚ PARA ESTRUCTURAS DESPLEGABLES**", que corresponde al dominio científico **DESARROLLO TERRITORIAL - PRODUCCIÓN Y HÁBITAT SUSTENTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA** y alineado a la línea de investigación **INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**, cumple con el 10 %, reportado en el sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 30 de octubre de 2023



Ing. Andrea Natali Zarate Villacrés, Mgs.
TUTORA

DEDICATORIA

A mis padres quienes me apoyaron y estuvieron en los momentos malos y buenos, gracias por ser un pilar muy importante en mi vida. Quienes me han enseñado a ser la persona que soy hoy en día, en los valores, perseverancia para alcanzar las metas que me propongo.

También quiero dedicarle el presente trabajo a mi hermano William Guaman quien fue mi guía en la vida académica y personal, inspiración como profesional y el mejor ejemplo a seguir.

Pablo Miguel Tenemaza Guaman

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres José Julio Tenemaza y Eulogia Guaman, por su dedicación y esfuerzo durante toda mi vida, por darme lo necesario para lograr las metas y logros que hoy estamos cosechando juntos. A quienes agradezco por tenerlos a mi lado.

A mis hermanos, Patricia, Julio y William, quienes siempre me han cuidado, apoyaron y me han hecho sentir su cariño en los momentos más necesarios.

Un agradecimiento especial a mi hermano William, quien me guio e inspiro a seguir esta carrera, por ser mi mentor y mi amigo a quien acudo cuando más lo necesito, quien siempre está pendiente de mí y de mis hermanos.

Mi gratitud a la Universidad Nacional de Chimborazo que me dio la oportunidad de convertirme en profesional, convirtiéndose en un segundo hogar para mí. A los docentes quienes estuvieron dispuestos a compartir sus conocimientos y experiencias para así llegar a ser un buen profesional. A mí tutora de tesis Ing. Andrea Zárate quien me acompañó y ayudó durante la realización de esta investigación y así culminar satisfactoriamente el mismo.

Mi gratitud a mis queridos amigos Jairo, Esteban, Elvis, Luishi, Josselyn, Ivana, Pamela, Darío, Jhony y Daniel, las personas que siempre han estado presentes durante mi vida estudiantil y personal, los cuales compartimos bueno y malos momentos los cuales son enseñanzas de la vida que nunca olvidaré.

Pablo Miguel Tenemaza Guaman

INDICE

CAPÍTULO I.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO II.....	18
2. GENERALIDADES.....	18
2.1 Sistema estructural.....	18
2.2 Miembro estructural.....	18
2.3 Sistema estructural desplegable.....	19
2.4 Bambú.....	22
2.5 Diseño estructural en bambú.....	24
2.6 Conexiones estructurales.....	29
CAPÍTULO III.....	36
3 METODOLOGÍA.....	36
3.1 Configuración de áreas para la estructura.....	38
3.2 Obtención de fuerzas actuantes en los elementos estructurales.....	41
3.3 Software para diseño.....	42
CAPÍTULO IV.....	46
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1 Obtención de cargas.....	46
4.2 Deformación total y esfuerzo equivalente de la unión.....	48
a) Análisis de nodo N. °12 propuesta rectangular.....	48
b) Análisis de nodo N. °4 propuesta hexagonal.....	50
c) Análisis de nodo N. °13 propuesta hexagonal.....	52
4.3 DISCUSIÓN.....	55
CAPÍTULO V.....	59
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1 CONCLUSIONES.....	59
5.2 RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación tipológica-temporal	22
Tabla 2 Conicidad admisible de la GaK.....	25
Tabla 3 Límites de fisuras en la GaK.....	26
Tabla 4 Entalladuras utilizadas en caña guadua.....	30
Tabla 5 Combinaciones de cargas para el diseño	41
Tabla 6 Propiedades físico - mecánicas	41
Tabla 7 Esfuerzos admisibles F_i , $CH=12\%$	42
Tabla 8 Cuantificación de cargas	42
Tabla 9 Descripción de elementos y materiales de propuesta rectangular (las dimensiones de cada una de ellas se pueden visualizar en el Anexo 1 y Anexo 13)	43
Tabla 10 Descripción de elementos y materiales de propuesta hexagonal (las dimensiones de cada una de ellas se pueden visualizar en el Anexo 2 y Anexo 14)	44
Tabla 11 Descripción de elementos y materiales de propuesta hexagonal unión central (las dimensiones de cada una de ellas se pueden visualizar en el Anexo 3 y Anexo 14)	44
Tabla 12 Cargas actuantes en elementos estructurales, propuesta rectangular.....	46
Tabla 13 Cargas actuantes en elementos estructurales, propuesta hexagonal	47
Tabla 14 Cargas criticas aplicadas en elementos estructurales, propuesta rectangular	48
Tabla 15 Conversión de signos de las cargas criticas para aplicación en el nodo 12, propuesta rectangular	48
Tabla 16 Análisis de convergencia de malla, propuesta rectangular.....	48
Tabla 17 Análisis de resultados obtenidos de Ansys, propuesta rectangular.....	50
Tabla 18 Cargas criticas aplicadas en elementos estructurales, propuesta hexagonal (nodo 4)	50
Tabla 19 Conversión de signos de las cargas criticas para aplicación en el nodo 4, propuesta hexagonal	50
Tabla 20 Análisis de convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 4.....	51
Tabla 21 Análisis de resultados obtenidos de Ansys, propuesta hexagonal nodo 4.....	52
Tabla 22 Cargas criticas aplicadas en elementos estructurales, propuesta hexagonal (nodo 13)	52
Tabla 23 Conversión de signos de las cargas criticas para aplicación en el nodo 13, propuesta hexagonal	53
Tabla 24 Análisis de convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 13.....	53
Tabla 25 Análisis de resultados obtenidos de Ansys, propuesta hexagonal nodo 13... ..	54
Tabla 26 Resistencia a fractura de placas circulares y rectangulares de las propuestas	92

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Vivienda de Yurta.....	20
Ilustración 2 Haima modular	21
Ilustración 3 Morfología del bambú.....	23
Ilustración 4 Falla a compresión.....	26
Ilustración 5 Detalle de apoyo de columnas de GaK en sobrecimiento.....	27
Ilustración 6 Protección de las edificaciones de las escorrentías.....	28
Ilustración 7 Ejemplo de un anclaje con pletinas.....	32
Ilustración 8 Prototipo de conector con disco de compresión cónico.	33
Ilustración 9 Uniones zunchadas.....	33
Ilustración 10 Junta de abrazadera de acero de Moran.	34
Ilustración 11 Junta de abrazadera de madera de Masdar.....	34
Ilustración 12 Nudo Delacrix - Glotin - Monier – Sejournet	35
Ilustración 13 Flujo de trabajo.....	37
Ilustración 14 Configuración mínima para alejamiento temporal.....	38
Ilustración 15 Fachadas de propuesta rectangular	38
Ilustración 16 Cortes de la propuesta rectangular para análisis	39
Ilustración 17 Propuesta hexagonal para análisis.....	40
Ilustración 18 Configuración de área asignada por la ACNUR.....	40
Ilustración 19 Modelación de propuesta rectangular	42
Ilustración 20 Modelación de propuesta hexagonal	43
Ilustración 21 Diseño y ensamblaje de unión, propuesta rectangular.....	43
Ilustración 22 Diseño y ensamblaje de unión, propuesta hexagonal.....	44
Ilustración 23 Diseño y ensamblaje de unión central, propuesta hexagonal.....	44
Ilustración 24 Aplicación de cargas a conexión diseñada, propuesta rectangular	45
Ilustración 25 Aplicación de cargas obtenidas a conexión diseñada, propuesta hexagonal unión 4	45
Ilustración 26 Aplicación de cargas a conexión diseñada, propuesta hexagonal unión 13	45
Ilustración 27 Convergencia de malla, propuesta rectangular.....	49
Ilustración 28 Esfuerzo calculado (E_c) de unión de acero A36, propuesta rectangular	49
Ilustración 29 Esfuerzo calculado (E_c) de elemento estructural de bambú, propuesta rectangular	49
Ilustración 30 Deformación de unión de acero A36, propuesta rectangular.....	49
Ilustración 31 Deformación de elemento estructural de bambú, propuesta rectangular	50
Ilustración 32 Convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 4.....	51
Ilustración 33 Esfuerzo calculado (E_c) de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 4.....	51
Ilustración 34 Esfuerzo calculado (E_c) de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 4	51
Ilustración 35 Deformación de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 4.....	52
Ilustración 36 Deformación de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 4.....	52
Ilustración 37 Convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 13.....	53

Ilustración 38 Esfuerzo calculado (E_c) de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 13	53
Ilustración 39 Esfuerzo calculado (E_c) de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 13	54
Ilustración 40 Deformación de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 13....	54
Ilustración 41 Deformación de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 13	54
Ilustración 42 Propuesta rectangular final	58
Ilustración 43 Propuesta hexagonal final	58
Ilustración 44 Anexo 1. Detalle estructural de la conexión tipo para propuesta rectangular.	66
Ilustración 45 Anexo 2. Detalle estructural de la conexión tipo para propuesta hexagonal, unión esquinera.....	69
Ilustración 46 Anexo 3. Detalle estructural de la conexión tipo para propuesta hexagonal, unión central.	72
Ilustración 47 Anexo 4. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, lado corto nodo N° 12 propuesta rectangular.....	73
Ilustración 48 Anexo 5. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, lado largo nodo N° 12 propuesta rectangular.....	74
Ilustración 49 Anexo 6. Punto de contacto para elemento columna de bambú con conexión de acero, nodo N° 12 propuesta rectangular	75
Ilustración 50 Anexo 7. Punto de contacto para conexión de acero, nodo N° 12 propuesta rectangular	76
Ilustración 51 Anexo 8. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, nodo N° 4 propuesta hexagonal.....	78
Ilustración 52 Anexo 9. Punto de contacto para elemento columna de bambú con conexión de acero, nodo N° 4 propuesta hexagonal	80
Ilustración 53 Anexo 10. Punto de contacto para conexión de acero, nodo N° 4 propuesta hexagonal	81
Ilustración 54 Anexo 11. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, nodo N° 13 propuesta hexagonal.....	87
Ilustración 55 Anexo 12. Punto de contacto para conexión de acero, nodo N° 13 propuesta hexagonal	89
Ilustración 56 Dimensiones de propuesta rectangular.....	90
Ilustración 57 Dimensiones de propuesta hexagonal.....	91
Ilustración 58 Anexo 15. Sistema desplegable para propuesta rectangular.....	92
Ilustración 59 Anexo 16. Sistema desplegable para propuesta hexagonal	92

RESUMEN

El bambú es un material renovable de origen natural su crecimiento es más acelerado que otras maderas, la caña de bambú tiene una gran resistencia con relación a su peso, estudios han demostrado que construir con bambú tiene beneficios como su costo económico menor que las construcciones con material tradicional, seguido del factor ambiental la cual por ser un material natural no contamina al medio ambiente.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar conexiones óptimas para estructuras desplegables, los cuales pueden ser usados para dar refugio temporal a personas que lo requieran, está estructurado con un área para máximo cuatro personas por modulo.

La metodología aplicada en la investigación es de tipo experimental para la cual se utiliza programas como Sap2000, SolidWorks y Ansys, para análisis de cargas, esfuerzos y deformaciones en las estructuras y conexiones de los elementos estructurales de bambú.

Los resultados muestran que las conexiones propuestas en cada uno de los casos cumplen con los requisitos de la NEC-GUADUA 2016, por lo cual para cada una de ellas se presentan detalles de las mismas para su fabricación y armado.

Finalmente se concluye que la propuesta rectangular es óptima para poder utilizar como estructura para alojamiento temporal, debido a que su unión de acero es más fácil de fabricar, es económica y el armado de la estructura de alojamiento es más sencilla.

Palabras clave: Bambú, ensamblaje, convergencia, deformación total, esfuerzo equivalente.

ABSTRACT

The main purpose of this research work was to determine the optimal connections for deployable structures, which can be used to provide temporary shelters for people who require them, structured for a maximum of four people per module. Bamboo is a renewable material of natural origin, its growth is more accelerated than other woods, bamboo cane has great resistance in relation to its weight, studies have shown that building with bamboo has benefits such as its lower economic cost than construction with traditional material, followed by the environmental factor which, being a natural material, does not pollute the environment. The methodology applied in the research is of experimental type for which programs such as Sap2000, SolidWorks, and Ansys are used to analyze loads, stresses, and deformations in the structures and connections of the bamboo structural elements. The results show that the proposed connections in each of the cases meet the requirements of the NEC-GUADUA 2016, so for each of them details are presented for their manufacture and assembly. Finally, it is concluded that the rectangular proposal is optimal to be used as a structure for temporary housing because its steel joint is easier to manufacture, it is economical and the assembly of the housing structure is simpler.

Keywords: Bamboo, assembly, convergence, total deformation, equivalent stress.



Mgs. Marco Aquino R.
DOCENTE DE COMPETENCIAS LINGUISTICAS UNACH

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El bambú es un material renovable de origen natural, que puede llegar a obtener una longitud de hasta 25 metros y un diámetro de 30 cm siempre y cuando las condiciones en las que crece sean favorables, además su crecimiento es mucho más acelerado que otras maderas. La caña de bambú tiene una gran resistencia con relación a su peso, debido a que su estructura física con tabiques rígidos, su forma circular y su sección hueca la hacen un material liviano, fácil de transportar y de almacenar. Su sección en forma de tubo le brinda resistencia a la torsión (Nolivos & Yacelga, 2010).

La mayoría de las construcciones civiles tienen como material principal el hormigón armado, adobe cocido y perfiles de acero, lo cual hace que una edificación obtenga un costo sumamente alto e incluso perjudicial para el medio ambiente. Por lo cual, estudios han demostrado que construir con bambú tiene varios beneficios, entre estos es el costo económico mucho menor que las construcciones con material tradicional, seguido del factor ambiental la cual por ser un material natural no contamina al medio ambiente (Fernández Jara, 2018).

En base a esa problemática se han realizado estudios sobre la implementación del bambú como material estructural.

Considerando las conexiones, estudio realizados en uniones clavadas, empernadas y zunchadas con pernos, realizando pruebas de ensayos a compresión mediante muestras secas y húmedas determinando la resistencia a la rotura de la guadua, han mostrado que las fallas pueden producirse en el material antes que, en la conexión estructural, con excepción en la unión en la cual se usó clavos que sí hubo ciertas falencias, aunque

mínimas, demostrando de esta manera que las conexiones propuestas tuvieron un comportamiento adecuado ante la acción de la carga aplicada (Cedeño et al., 2020). Un estudio experimental acerca de conexiones entre elementos rollizos de caña guadua angustifolia Kunth, material natural de múltiples beneficios ecológicos que puede brindar alternativas nuevas para sistemas de construcción, principalmente en áreas de interés social, demostró que la caña guadua presenta importantes características físicas que facilitan su empleo en miembros estructurales.

En la actualidad, existe la problemática en cuanto a los asentamientos por la masiva movilidad de personas, creando la necesidad de respuestas inmediatas, incluyendo construcciones para refugios en caso de emergencia. Se estudian viviendas realizadas con sistemas desplegados, analizando propuestas de sistemas que agilicen el proceso de implantación y transporte de los refugios. Además, se busca que los materiales permitan que la construcción sea rápida, ligera, económica y duradera (García, 2018).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de conexión aún requiere innovación, mientras se quiera utilizar el bambú como material de construcción ecológico y/o como elemento estructural. Esto debido a que el bambú es un material que puede ser muy resistente y flexible, pero a la vez muy susceptible a fracturas y cizalladuras causadas por las conexiones de las mismas.

El diseño de conexiones debido a que, la guadua puede presentar solicitaciones de corte o tensión perpendicular. Un mal diseño de conexiones puede ocasionar el fallo prematuro de la estructura (Takeuchi, 2004). Además, la parte más crítica tanto para el cálculo como para el diseño y el proceso constructivo, no son los elementos que soportan cargas axiales, sino las uniones o nudos. El bambú cuenta con características mecánicas que garantizan un comportamiento estructural óptimo, sin embargo, no se han realizado los suficientes experimentos ni estudios para lograr una conexión ideal que maximice su utilidad y eficiencia (Díaz Valcárcel, 2016).

Hoy en día es importante tener una respuesta rápida frente a catástrofes que pueden presentarse de manera inesperada, con ello brindar alojamiento y seguridad a personas afectadas por ésta. Por lo cual se requiere un sistema de armado desplegable de los elementos estructurales, para que la estructura sea económica, de fácil transportación y no excesivamente perjudicial para el medio ambiente, siendo el bambú o caña guadúa una opción ideal para este tipo de sistemas.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar las conexiones más óptimas entre los miembros estructurales desplegables.

Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento estructural de forma experimental de las conexiones entre elementos estructurales.
- Proponer un sistema de armado desplegable de los elementos estructurales para estructuras de bambú cumpliendo las recomendaciones de la NEC-SE-GUADUA 2016.

CAPÍTULO II.

2. GENERALIDADES

A continuación, se define términos esenciales para el presente estudio, de igual manera se presentan investigaciones relacionadas a uniones para elementos estructurales de bambú los cuales están relacionados con el presente tema de estudio.

2.1 Sistema estructural

Un sistema estructural es el conjunto de elementos resistentes que conectados con ellos transmiten cargas de la edificación hacia los apoyos así garantizando el equilibrio, estabilidad y lograr controlar la deformación de esta.

El sistema estructural debe poseer ductilidad, no en el sentido que alcance su estado límite de resistencia en una sola sección y ésta ocasione un colapso brusco de la estructura, sino que dicha estructura posea capacidad para deformarse sosteniendo su carga máxima y posea una reserva de capacidad antes del colapso (Samayoa, 2006).

2.2 Miembro estructural

Los miembros estructurales son cada uno de los segmentos que conforman una estructura, los cuales están bajo acción y efecto de cargas aplicadas, se los conoce también como elementos estructurales.

Los miembros estructurales logran transmitir cuatro tipos esenciales de cargas y se les cataloga de acuerdo con lo siguiente (Samayoa, 2006):

- Tensores: transmiten cargas de tensión.
- Columnas: transmiten cargas de compresión.
- Vigas: transmiten cargas transversales.

Un miembro estructural rara vez transmite cargas de un solo tipo, incluyendo miembros horizontales o diagonales que están sometidos a tensión y conectados por medio de pasadores, estos presentan una pequeña flexión debido a su propio peso. Por ello los miembros en su mayoría transmiten combinaciones de flexión, torsión y tensión o compresión axial.

En edificaciones es poco probable que se diseñe un miembro estructural principalmente por torsión, no obstante, los miembros diseñados para otras cargas están también sujetos a torsión.

2.3 Sistema estructural desplegable

Las estructuras desplegables son estructuras prefabricadas que pueden transformarse a partir de una configuración compacta cerrada a una forma expandida predeterminada, la cual es estable y tiene la capacidad de soportar cargas (Avellaneda López, 2020).

El principal interés en las estructuras desplegables se puede encontrar en labores recreativas y de exhibición, campamentos militares temporales y espacios temporales que facilitan cobijo al personal durante la construcción.

La velocidad de armado es decisiva para los momentos de emergencia, construcción en entornos y climas adversos. El fácil armado que poseen estas estructuras al no necesitar gran equipamiento y poca fuerza de trabajo hace que estas estructurales sean consideradas para dar respuesta rápida frente a catástrofes que requieran alojar a damnificados, también posibilita la facilidad de transporte y almacenamiento, debido al tamaño compacto que posee cuando la estructura se encuentra plegada.

El reusar esta estructura a partir del instante en el que no es usada y su despliegue rápido y de bajo costo, hace que requiera requisitos mínimos de capacitación del beneficiario que hace uso de la estructura.

Entre estas construcciones se encuentran las siguientes:

- **Yurta:** es una vivienda tradicional de pueblos nómadas de Asia central, la cual es transportable y de forma redonda, está conformado de armazón de madera, cubierta por lana. Es de rápido montaje y desmontaje, está constituida por los siguientes elementos (Peyró, 2019) :
 - ✓ Una pared cilíndrica formada de varios entramados acoplados entre ellos.
 - ✓ El entramado está compuesto por listones de madera cruzados sobre unos de otros la cual permita desplegar y replegarse entre sí.
 - ✓ Un techo construido de varas, el cual reposa sobre el entramado y que se coloca en una corona central que forma la cumbre.



Ilustración 1 *Vivienda de Yurta*
Fuente: (Peyró, 2019).

- **Haimas:** las haimas o jaimas son originalmente para el uso de vivienda, en la actualidad se han trabajado con haimas modulares las cuales aportan ventajas sobre las haimas convencionales, estas son:

- ✓ Mayor versatilidad y adaptabilidad, la cual nos permite crear dimensiones que requiera la situación y adaptándolo a las inclinaciones del terreno.
- ✓ Mayor resistencia a inclemencias del tiempo dada su estructura compacta y estable.
- ✓ Precios accesibles.
- ✓ Diseño y estética perfectamente personalizables.

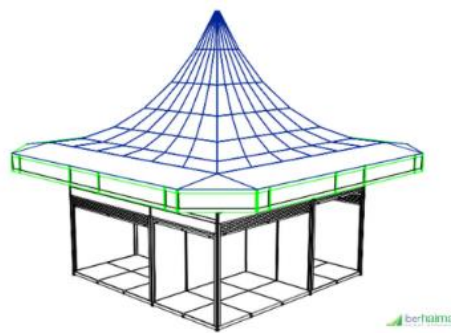



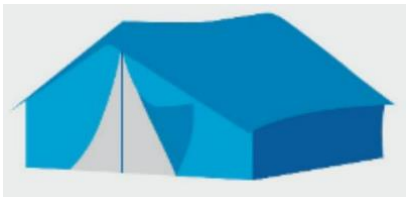

Ilustración 2 *Haima modular*
Fuente: (Peyró, 2019).

En estudios anteriores se ha pretendido lograr estructuras eficientes de rápido montaje y de fabricación con tecnología accesible, por lo cual se han tomado en cuenta condiciones generales concretas con los siguientes aspectos:

- Uso de tecnología accesible.
- Montaje manual.
- Transportable con medios domésticos.
- Uso mínimo de mano de obra calificada.
- Despliegue o elevación preferentemente progresiva.
- Repetición de componentes.
- Variedad de configuraciones.

La Agencia de la ONU para los Refugiados (ACNUR), establece diferentes tipos de alojamiento la cual depende de características de la zona y tiempo en la que se usara el refugio:

Tabla 1 *Clasificación tipológica-temporal*

Clasificación tipológica-temporal	Esquema
Refugios para emergencias	
Tiendas para largas estancias	
Unidades de refugio	

Fuente: (ACNUR, S.F).

2.4 Bambú

El bambú es una planta perteneciente a la subfamilia de las Bambusoideas, esta tiene entre 115 géneros y 1400 especies, el cual es un material más renovable en el mundo, con recursos sostenible, por ello es una alternativa ideal para implementar en el campo de la construcción, superando a los diferentes tipos de maderas en durabilidad, resistencia y capacidad de renovación. La morfología del bambú (Carmioli Umaña, 2009):

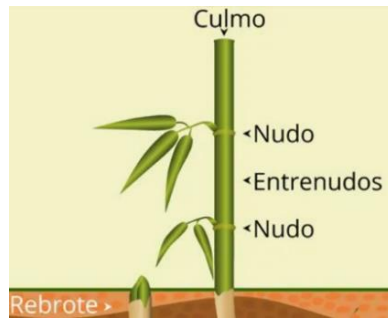


Ilustración 3 *Morfología del bambú*
Fuente: (Carmioli Umaña, 2009).

Estudios preliminares recomiendan aspectos importantes al tener en cuenta en la construcción con bambú o caña guadua:

- No utilizar vástagos con baja resistencia a la compresión, incluye:
 - ✓ Tallos jóvenes menores de 3 años.
 - ✓ Tallos que han sido atacados por insectos y hongos.
 - ✓ Tallos que han florecido.
 - ✓ Tallos agrietados o que tienen cortes transversales hechos con machete.

- No utilizar clavos para la fijación de tallos laterales de menor diámetro o para la fijación de juntas. Si es requerido el uso de clavos para fijar tallos de diámetro pequeño (4-5 cm), es recomendable efectuar previamente una perforación con broca ligeramente más pequeña que el diámetro del clavo. Para fijar elementos estructurales temporalmente debemos emplear abrazaderas de alambre, nylon o cordones vegetales fuertes.

La caña guadua es cultivada en regiones tropicales y subtropicales, del Ecuador. Con relación a todos los tipos de madera, la caña Guadua tiene muchas ventajas: menor ciclo de cosecha, facilidad para su transportación, baja inversión en periodo de cultivo, su relación peso – resistencia siendo comparadas con el acero. Su capacidad de absorción

de energía y soportar mayor flexión, la hacen un material ideal para construcciones sismorresistentes (Bonilla & Merino, 2017).

En Costa Rica, durante el terremoto en Puerto Limón de 1991, las únicas viviendas que resistieron fueron las construidas con bambú. Las viviendas de bambú aíslan del frío, del calor y del ruido por las cámaras de aire que forman los troncos de bambú (Rodríguez Romo, 2006).

La caña *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) es una de las más de mil doscientas especies de bambú que han sido identificadas en el mundo, es un bambú leñoso que crece en regiones tropicales y sus tallos pueden alcanzar una altura aproximada de 30m (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

2.5 Diseño estructural en bambú

La NEC-SE-GUADÚA (2016), en la sección **3.8. Identificación de la GaK Idónea para la construcción**, menciona que mientras se quiera utilizar como elementos estructurales la guadua en columnas, vigas, viguetas, etc., se debe cumplir los siguientes requisitos de calidad:

- a) La Guadúa debe estar seca, lo que significa que su contenido de humedad debe ser igual o inferior a la humedad de equilibrio del lugar, para garantizar esto, los culmos deben estar en el sitio.
- b) Los culmos de GaK deben cumplir con los procesos de preservación y secado descritos en la NEC-SE-GUADUA sección 3.5. 3.6.
- c) Los culmos de GaK no deben presentar una deformación del eje longitudinal mayor al 0,33%. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana (o con cuerdas) y observar si existe separación entre la superficie de apoyo (o la cuerda) y la pieza. Este

procedimiento de verificación debe realizarse al menos en cada tercio de la circunferencia del culmo.

- d)) La GaK es un material natural y su diámetro va disminuyendo constantemente a lo largo del tallo, se entiende que la conicidad hace parte de su anatomía, no obstante, se deben poner algunos límites a esta diferencia entre diámetros. En la Tabla 2 se muestran los límites máximos permitidos para cada una de las partes comerciales de la GaK, obtenidos en base a la siguiente ecuación, que es igual al porcentaje de la diferencia entre el diámetro inferior y el superior dividido por la longitud del culmo.

Ecuación 1:

$$\%con = \frac{(D_+ - D_-)}{L} * 100$$

Dónde:

%con	Porcentaje de conicidad de la pieza
D_+	Diámetro mayor mm
D_-	Diámetro menor mm
L	Longitud de la pieza de GaK en mm

Tabla 2 Conicidad admisible de la GaK

Parte de la Guadúa	Conicidad
Cepa	0.17 %
Basa	0.33 %
Sobrebasa	0.50 %

Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

- e) La GaK es un material que tiende a agrietarse naturalmente debido a la diferencia en la densidad de sus paredes, no obstante, se deben establecer algunos límites para el tamaño y la localización de las grietas, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3 Límites de fisuras en la GaK

Tipo	Se permite	Límites	Recomendación
Grieta longitudinal	SI	La grieta debe estar contenida entre dos nudos, si la grieta para al canuto siguiente no debe tener una longitud superior al 20 % del culmo.	Si los culmos presentan fisuras después de instalados, estos pueden ser tratados por medio de abrazaderas o zunchos metálicos.

Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

- f) Los culmos estructurales no pueden presentar arrugas perimetrales que evidencien una falla debida a compresión durante la vida de la GaK, si se presenta este tipo de falla se deberá cortar la parte defectuosa del culmo, pero el resto podrá ser usado si cumple con los demás requisitos descritos en el punto 3.8 Identificación de la GaK idónea para la construcción.



Ilustración 4 Falla a compresión
Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

- g) Los culmos de GaK no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos o aves antes de ser utilizadas.
- h) No son aptos para la construcción los culmos que presenten algún grado de pudrición causada por hongos.

La NEC-SE-GUADUA (2016), en la sección **5.3. Protección por diseño**, menciona que la GaK es un material poroso e higroscópico. Al igual que la madera, si la humedad se acumula en su interior afectará sus propiedades físico-mecánicas y será propensa al ataque de hongos y posterior putrefacción. Por este motivo es indispensable proteger a los elementos estructurales de la humedad.

En una edificación la humedad llega principalmente por capilaridad, lluvias o condensación. Por tal motivo, la estructura de GaK debe protegerse como se indica a continuación:

- a) Las columnas de GaK no pueden estar en contacto directo con el suelo natural. Deben apoyarse en un sobrecimiento (zócalos, pedestales, pilates u otros) debidamente impermeabilizado en la superficie de contacto con los culmos.

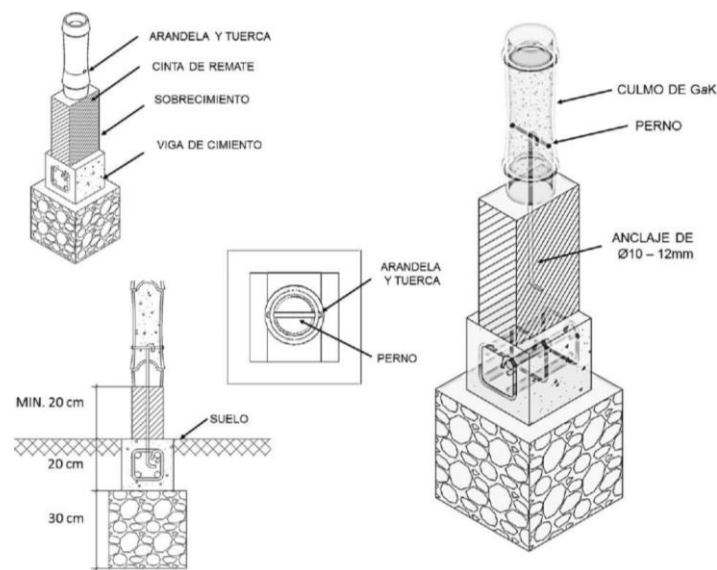


Ilustración 5 Detalle de apoyo de columnas de GaK en sobrecimiento
Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

- b) Los culmos no deben estar enterrados o inmersos en la cimentación o en cualquier otro componente de hormigón.
- c) Las edificaciones deben estar protegidas de las escorrentías mediante: drenajes, cunetas, sumideros, conformación de plataformas u otros elementos:

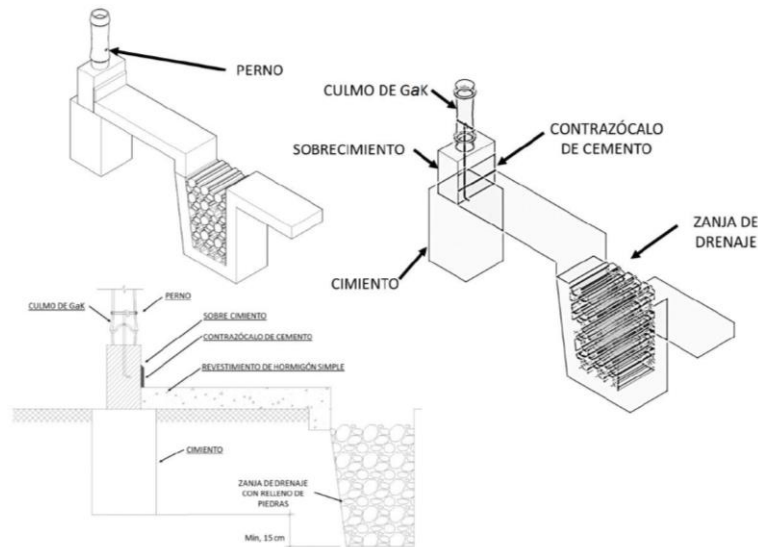


Ilustración 6 Protección de las edificaciones de las esorrentías
Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

- d) Por medio del diseño se debe evitar la exposición directa de los elementos estructurales de la GaK a las condiciones climáticas del lugar (lluvia, sol, salinidad, entre otros), para ello, se recomienda usar aleros generosos y canales de recolección de aguas lluvias. En casos donde esto no sea posible, debe considerarse el recubrimiento de cada elemento estructural con sustancias hidrófugas o superficies impermeables.
- e) Para evitar la condensación se debe procurar la ventilación en los espacios interiores. En ambiente cuyo uso implique que los elementos estructurales estén expuestos al vapor, como baños y cocinas, además de la ventilación, estos deben estar protegidos con elementos impermeables.
- f) Si existe la posibilidad de presencia de termitas, se recomienda que, sobre la capa anti capilar, se coloque una plancha metálica de 2mm de sus bordes. Esta plancha metálica será protegida con anticorrosivos. En ambiente salinos o costeros, se puede reemplazar la plancha metálica por planchas de neopreno de 6 u 8 mm.
- g) Cuando queden aberturas en el armado estructural (entrepisos, cubiertas y demás), es necesario sellar las mismas a través de elementos de cierre que






eviten el ingreso de roedores, insectos y otros, que puedan afectar la estructura y habitabilidad.

- h) El armado de andamios no debe anclarse o conectarse a la estructura de la edificación.
- i) En ninguna circunstancia es admisible que las instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, electrónicas y mecánicas, atraviesen o comprometan los culmos del sistema estructural.
- j) Previa utilización de los culmos, estos deben ser limpiados cuidadosamente con elementos apropiados que no causen daños en la epidermis del culmo (telas, esponjas, cepillos no abrasivos, entre otros).
- k) No maltratar los culmos durante el proceso de construcción mediante impactos, aplastamiento o caídas que afecten sus propiedades físico-mecánicas.
- l) Los culmos para uso estructural no deben ser usados previamente para la construcción de andamios u otros, que puedan comprometer la integridad de los culmos.

2.6 Conexiones estructurales

Las conexiones estructurales son puntos en las cuales se unen los elementos de una estructura, siendo esta no solo un punto sino una parte importante de la estructura la cual permite transferir cargas desde diferentes áreas de la estructura, la cual se utiliza para agregar resistencia y soporte a la estructura terminada, la resistencia de una conexión influye el tipo de material que se utiliza (Culcas Cueva, 2020). Para obtener un buen ensamblaje entre elementos de caña guadua o bambú se han ido realizando algunos tipos de entalladuras o cortes, estos dependen del tipo de estructura y forma en que se unirán los elementos, se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 Entalladuras utilizadas en caña guadua

Clasificación de entalladuras	Imagen
Con oreja	
Con dos orejas	
A bisel	
Pico de flauta	
Boca de pescado	

Fuente: (Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú, 2015).

La NEC-SE-GUADUA (2016), en la sección **5.5. Anclaje de los culmos a los sobrecimientos**, menciona que existen varias opciones de anclaje de los culmos a los

sobrecimientos, como: varilla corrugada, pletinas, tubos de acero, elementos articuladores de acero, entre otros, de acuerdo con los requerimientos del diseño estructural. A continuación, se detalla uno de los dos sistemas de anclaje más usuales detalladas en la NEC-SE-GUADUA.

En la subsección de la NEC-SE-GUADUA (2016), **5.5.2 Mediante pletinas de acero**, menciona que para este tipo de anclaje se debe considerar la siguiente:

- a) Este sistema permite asegurar uno o más culmos al sobrecimiento, sin necesidad de introducir morteros o mezclas de arena/cemento, al interior del culmo.
- b) Sobresalen del sobrecimiento dos pletinas metálicas de 40mm de ancho y 5mm de espesor.
- c) Las 2 pletinas pueden iniciar su anclaje desde el cimientado o desde el sobrecimiento y sobresalir no menos de 250mm de la cabeza del pedestal o zócalo.
- d) Las pletinas pueden estar previamente perforadas y atravesadas con dos pernos de 10mm, debidamente asegurados con tuercas y arandelas, mientras dure el graduado del cimientado y sobrecimiento, para asegurar la alineación de las perforaciones en las dos pletinas. Es recomendable colocar un taco de madera entre las pletinas para evitar desplazamientos.
- e) Las pletinas deben ser lo suficientemente anchas como para colocar los pernos de tal forma que no se encuentren alineados en la misma cara, sino, desfasados, para minimizar el efecto de corte de estos a las fibras paralelas de la GaK.
- f) La separación entre las dos pletinas debe estar de acuerdo con el diámetro de los culmos disponibles.

- g) Concluido el fraguado, se extraen las tuercas, se coloca el culmo y se lo perfora en dirección de los agujeros de las dos pletinas y se emperna.
- h) Previo a la instalación, todos los elementos metálicos deben ser limpiados (oxido, grasa, cemento, polvo, entre otras) y sujetos a lo expuesto en el literal i. Al terminar la construcción deben ser revisados y de ser necesario repintados de acuerdo con el esquema del mismo literal.
- i) Pintar con anticorrosivo las pletinas, al igual que los elementos metálicos vistos: tuercas, anillos, extremos de los pernos. En ambientes con alta salinidad o zonas costeras se recomienda usar elementos metálicos de acero inoxidable, o acero negro estructural utilizando el sistema de pintura de protección de capas indicado a continuación:
- 1era Capa: un imprimante epóxico de dos componentes con endurecedor tipo poliamida de 100 micrones.
 - 2da Capa: pintura epóxica de dos componentes con endurecedor poliamida de 100 micrones.
 - 3ra Capa: pintura anticorrosiva de 100 micrones.
 - 4ta Capa: pintura de acabado tipo automotriz o de aceite de 100 micrones.

* Las capas deben ser medidas en espesores de película seca (EPS).

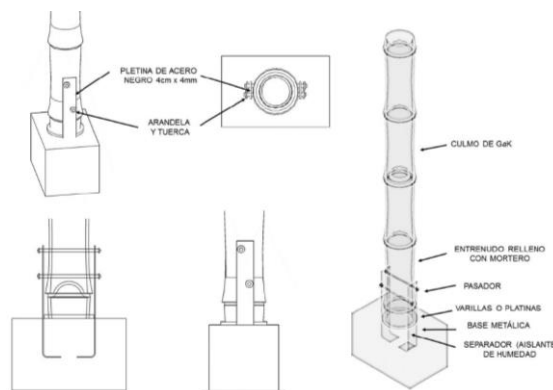


Ilustración 7 Ejemplo de un anclaje con pletinas
Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

Se presenta estudios y ensayos realizados sobre uniones estructurales de elementos de bambú, los cuales sirven para guiarnos en la realización del presente trabajo de investigación.

Yann Barnet y Faozi Jabrane (2019), realizaron estudios para fomentar el uso del bambú en la construcción y así lograr una innovación en el campo de uniones de elementos estructurales para la especie *Guadua Angustifolia*, consiste en conectarse a la parte interna del tallo de bambú ejerciendo una fuerza mecánica en la pared interna, evitando cortes, perforaciones y uso de cemento. Presentando una propuesta de patente de un dispositivo para conectar las extremidades de los bambúes con un sistema de expansión que penetra dentro del tallo y permite regular la dimensión de la pieza.

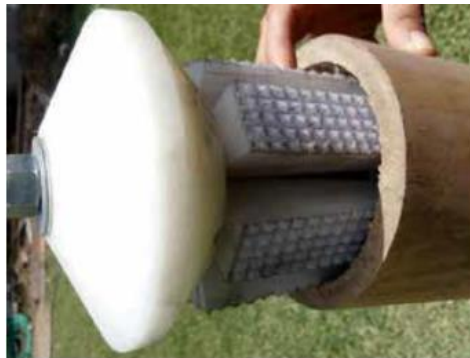


Ilustración 8 Prototipo de conector con disco de compresión cónico.
Fuente: (Yann & Faouzi, 2019)

López (2003) realizó un sistema de uniones a base de tornillos o pernos, la cual incluye una abrazadera metálica en la zona de atornillado, y en la sección de unión de la viga coloca mortero para obtener mayor rigidez.

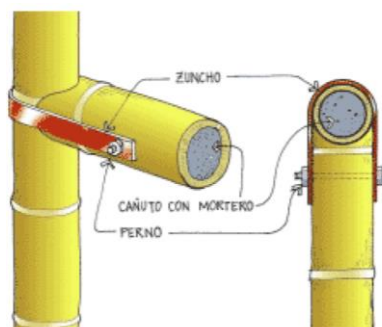


Ilustración 9 Uniones zunchadas
Fuente: (Sanchez García, 2017)

Moran (2019) propuso aplicar abrazaderas de acero la cual consiste en dos anillos con tamaño del bambú, realizando pruebas monotónicas estáticas, arrojando como resultado que su método puede mejorar la rigidez, resistencia al menos 29% para 250% mayor que las otras conexiones convencionales (atornilladas), además tiene un buen desempeño frente a actividades sísmicas.



Ilustración 10 Junta de abrazadera de acero de Moran.

Fuente: (Moran R, 2019)

Masdar (2017), sugiere ayudar a las abrazaderas con dos placas de refuerzo de madera, además para compartir tensiones aplicados sobre el bambú instaló un perno para fortalecer la junta de sujeción. El cual logro soportar un 40% de resistencia de las que no cuentan con abrazadera de madera, debido a que estas pueden compartir el corte que se presenta en el bambú.

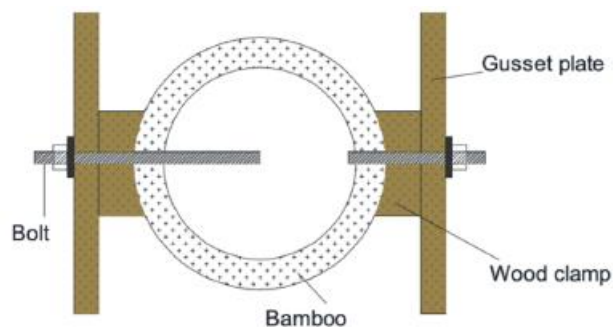


Ilustración 11 Junta de abrazadera de madera de Masdar.

Fuente: (Masdar A, 2017.)

Sánchez García (2017), en su investigación menciona que el nudo está formado por uno o dos semitubos con aletas soldadas que indican las direcciones de las barras concurrentes. Estos semitubos se unen mediante roblonado o soldadura a la barra de

mayor diámetro concurrente en dicho nudo. La fijación de las restantes barras se realiza aplastando sus extremos y uniéndolos, mediante soldadura o pasadores, a las aletas.

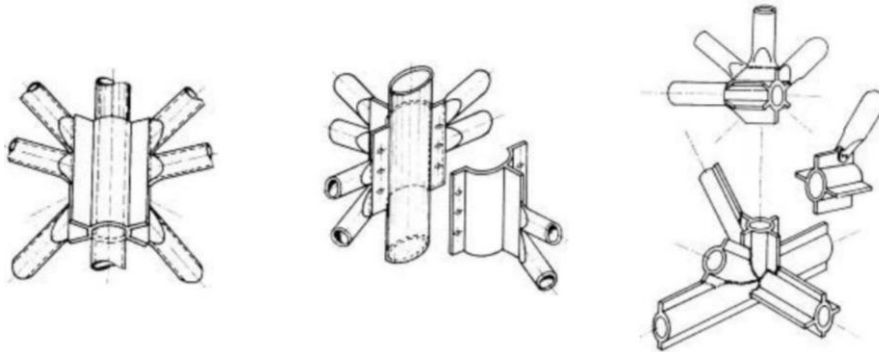


Ilustración 12 *Nudo Delacrix - Glotin - Monier – Sejournet*
Fuente: (Sanchez García, 2017)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

La metodología a implementar para el presente trabajo de titulación es de tipo investigativo y experimental, debido a que se realizará la recopilación de información sobre conexiones entre elementos estructurales desplegables de elementos de bambú y posteriormente se realizará modelaciones de las conexiones diseñadas de las propuestas con la utilización de software Ansys mediante la convergencia de mallado de elementos para el análisis de resultados de esfuerzos y deformaciones de las mismas.

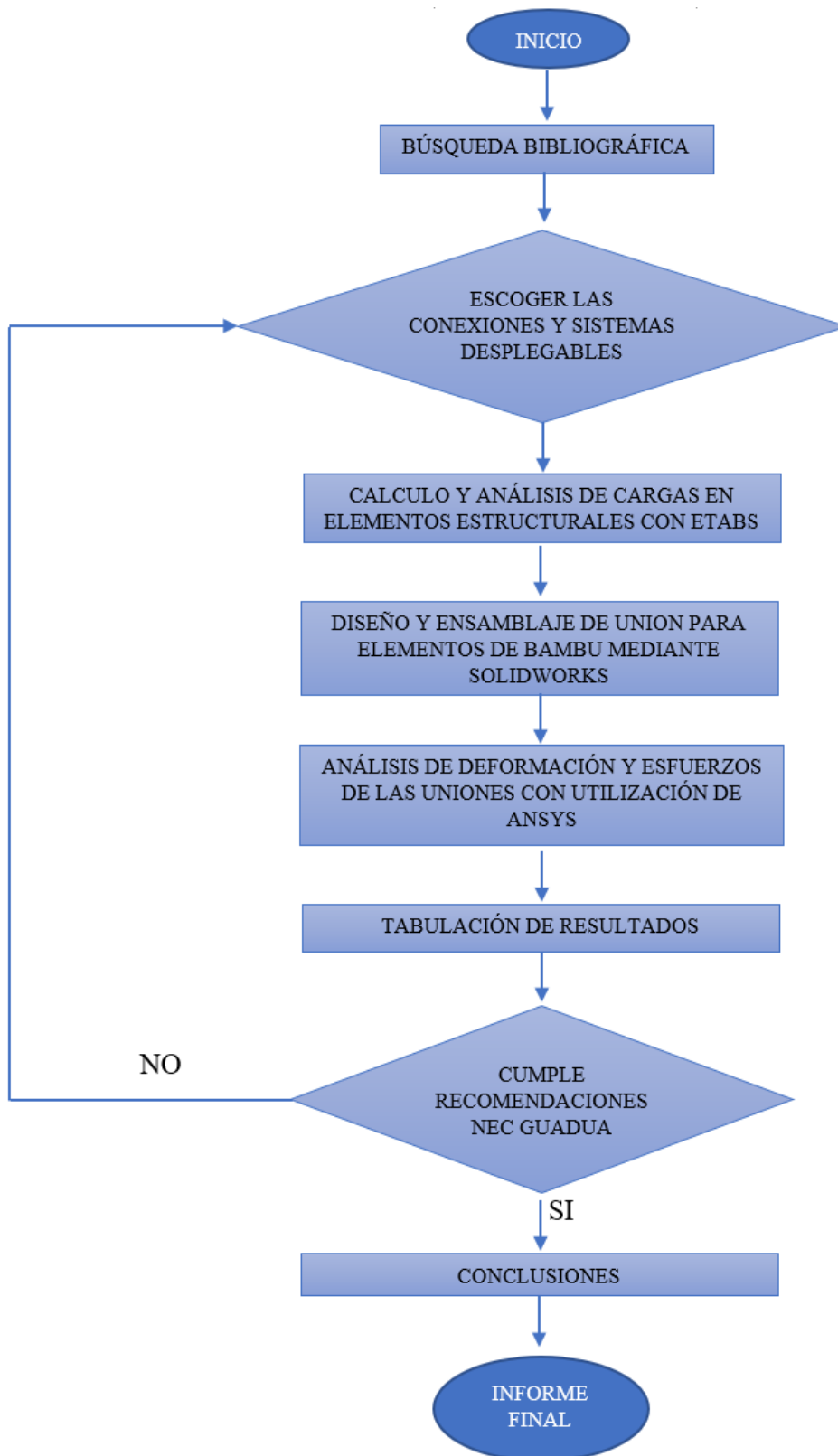


Ilustración 13 *Flujo de trabajo*

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

3.1 Configuración de áreas para la estructura

La Guía Operacional Para La Gestión De Alojamientos Temporales En Ecuador (2017), sección Alojamiento, Asentamientos Humanos Y Artículos No Alimentarios menciona que todas las personas ocupantes del alojamiento temporal disponen de una superficie cubierta mínima de $3,5 \text{ m}^2$ a $4,5 \text{ m}^2$ por persona y la altura del suelo al techo en los alojamientos debe ser por lo menos de dos metros en su punto más alto.



Ilustración 14 Configuración mínima para alojamiento temporal
Fuente: (Alexandra Ocles et al., 2017)

Propuesta rectangular con un área de $3,75 \text{ m}^2$ por persona, la cual se ha tomado en cuenta 4 personas por módulo que da un área total de 15 m^2 , de la siguiente configuración:

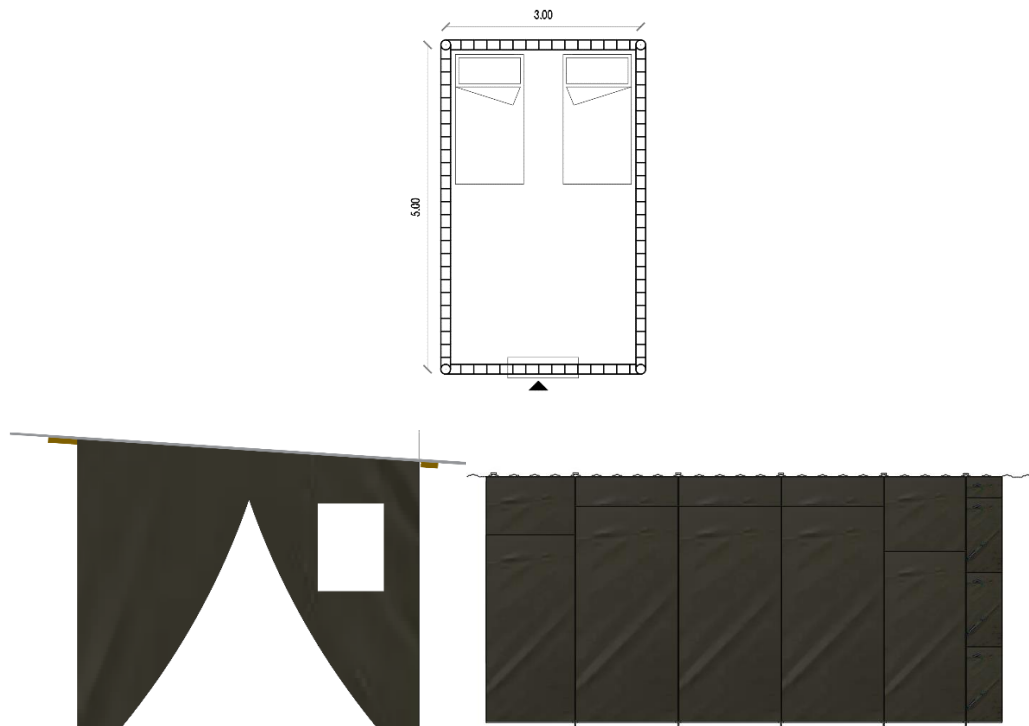


Ilustración 15 Fachadas de propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

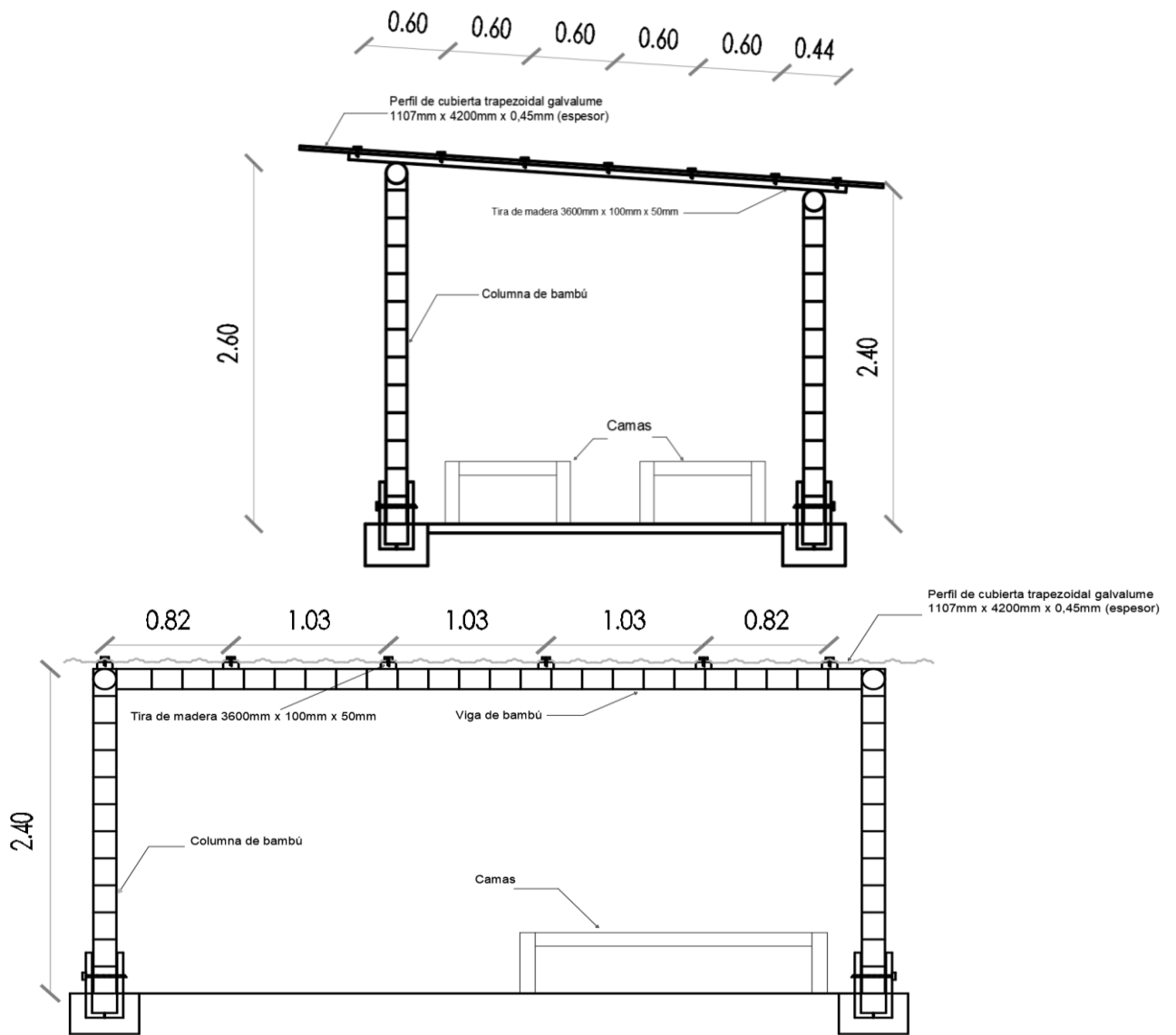
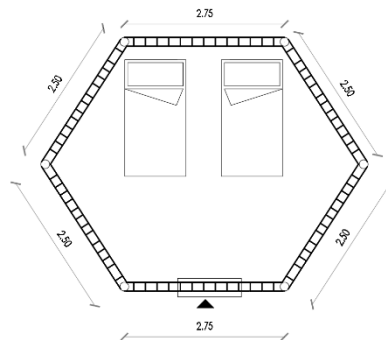


Ilustración 16 Cortes de la propuesta rectangular para análisis
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

Propuesta hexagonal con un área de 4,3116 m² por persona, la cual se ha tomado en cuenta 4 personas por módulo que da un área total de 17,2464 m².



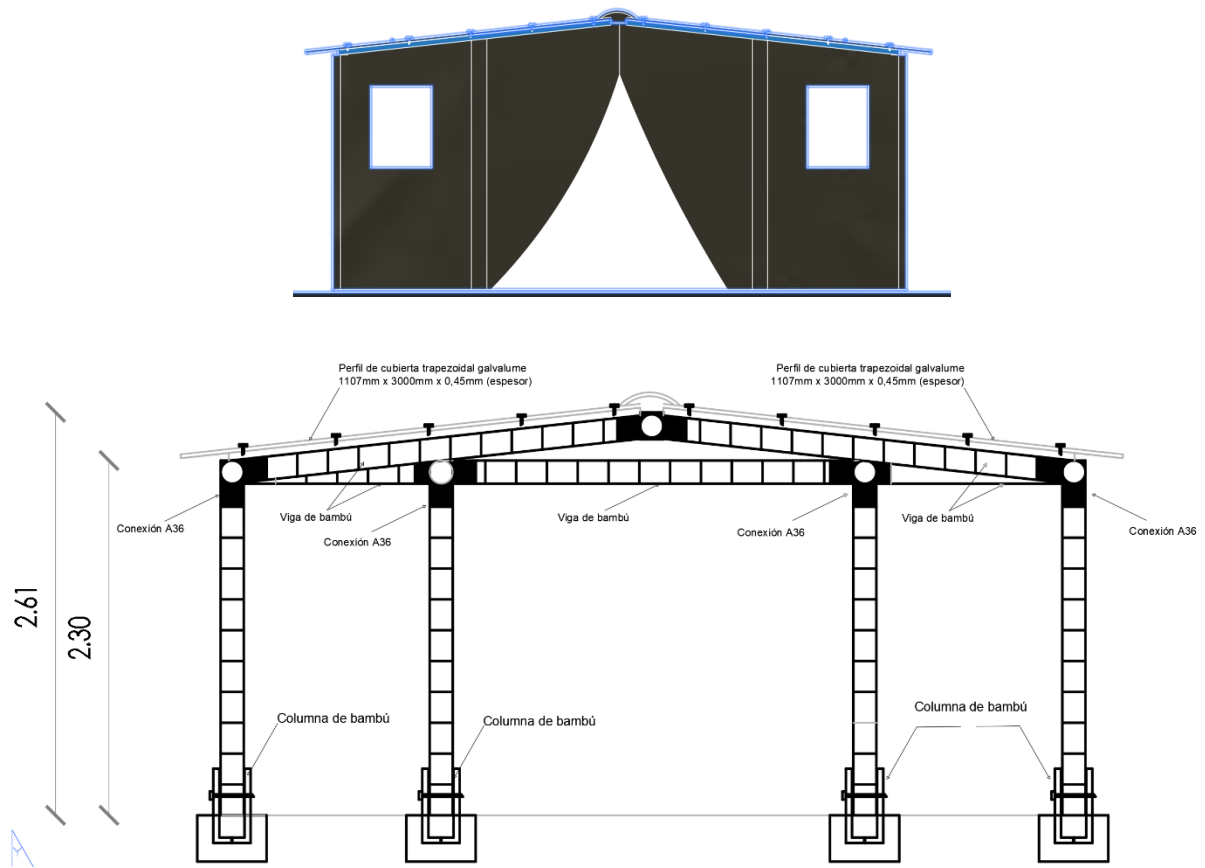


Ilustración 17 Propuesta hexagonal para análisis
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

La agencia de la ONU para los Refugiados (ACNUR) recomienda que para un espacio total para alojamiento temporal es de 30 m² a 45 m² (tomando en cuenta espacio de estar, área de servicios e instalaciones). Por lo cual uniendo dos módulos presentados anteriormente se cumpliría el área designada, cabe recalcar que cada módulo será independiente entre ellos estructuralmente y se analizara por separado.

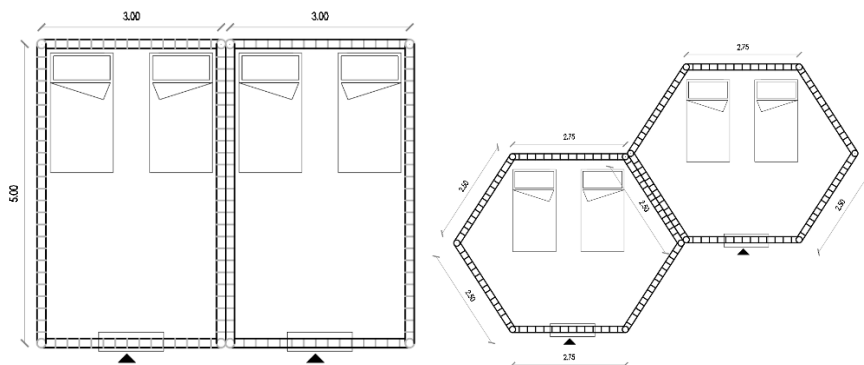


Ilustración 18 Configuración de área asignada por la ACNUR
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

3.2 Obtención de fuerzas actuantes en los elementos estructurales

a) Requisitos de diseño

Todos los elementos de GaK de una estructura deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de las cargas de servicio consignadas en los capítulos de la NEC y estipuladas:

Tabla 5 *Combinaciones de cargas para el diseño*

1	D
2	D+L
3	$D + 0.75 L + 0.525 E_x$
4	$D + 0.75 L - 0.525 E_x$
5	$D + 0.75 L + 0.525 E_y$
6	$D + 0.75 L - 0.525 E_y$
7	$D + 0.7 E_x$
8	$D - 0.7 E_x$
9	$D + 0.7 E_y$
10	$D - 0.7 E_y$
11	$D + 0.75 L + 0.525 EQ_x$
12	$D + 0.75 L - 0.525 EQ_x$
13	$D + 0.75 L + 0.525 EQ_y$
14	$D + 0.75 L - 0.525 EQ_y$
15	$D + 0.7 EQ_x$
16	$D - 0.7 EQ_x$
17	$D + 0.7 EQ_y$
18	$D - 0.7 EQ_y$

Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

b) Propiedades del bambú

Tabla 6 *Propiedades físico - mecánicas*

E0.5	122366,4 kgf/cm ²	Módulo de elasticidad 0.5
E0.05	76479 kgf/cm ²	Módulo de elasticidad 0.05
E _{min}	40788,8 kgf/cm ²	Módulo de elasticidad mínimo
G0.5	4894,656 kgf/cm ²	Módulo de corte 0.5
G0.05	3059,16 kgf/cm ²	Módulo de corte 0.05
G _{min}	1631,552 kgf/cm ²	Módulo de corte mínimo

Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

c) Esfuerzos admisibles

Tabla 7 Esfuerzos admisibles F_i , $CH=12\%$

Fb	152,96	kgf/cm ²	Flexión
Ft	193,75	kgf/cm ²	Tracción
Fc	142,76	kgf/cm ²	Compresión II
Fp*	14,28	kgf/cm ²	Compresión \perp
Fv	12,24	kgf/cm ²	Corte

Fuente: (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

d) Cuantificación de cargas

Tabla 8 Cuantificación de cargas

CARGAS MUERTAS		
		Chapa trapezoidal de acero galvanizado 0,45mm de espesor
Cubierta	11,5	kgf/m ²
Inst.	7	kgf/m ² Instalaciones
CARGAS VIVAS		
L	70	kgf/m ² Cubiertas planas, inclinadas y curvas

Fuente: (NEC_SE_CG: Cargas (No Sísmicas), 2015)

3.3 Software para diseño

a) Modelación de la estructura propuesta

Con ayuda de SAP2000 procederemos a modelar las propuestas anteriormente mencionadas para obtener las fuerzas que se aplicarían en la unión a diseñar, debido a que es un programa que se especializa en permitir que los usuarios realicen modelaciones, análisis y dimensionamiento de estructuras, mediante interfaces graficas en 2D y 3D.

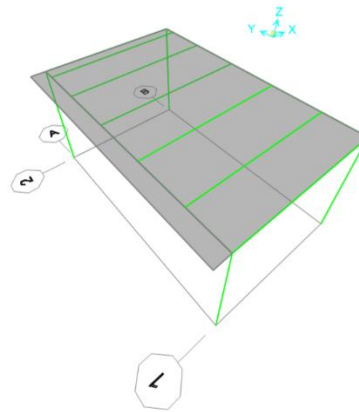


Ilustración 19 Modelación de propuesta rectangular

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

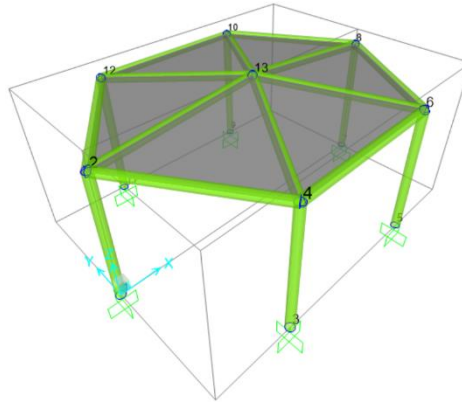


Ilustración 20 Modelación de propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

b) Diseño y ensamblaje

Con ayuda SolidWorks procederemos a realizar el diseño y ensamblaje de las piezas que conformaran la unión para nuestras estructuras, debido a que es un software tipo CAD, de diseño mecánico, que utilizando un entorno gráfico basado en Microsoft Windows permite de manera intuitiva y rápida la creación de Modelos sólidos en 3D.

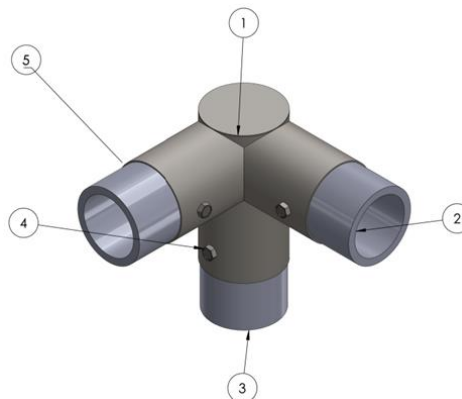


Ilustración 21 Diseño y ensamblaje de unión, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 9 Descripción de elementos y materiales de propuesta rectangular (las dimensiones de cada una de ellas se pueden visualizar en el Anexo 1 y Anexo 13)

N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Material	Observaciones
1	1	Unión	Acero A36	e=3mm
2	2	Elemento tipo viga	Bambú	
3	1	Elemento tipo columna	Bambú	
4	3	Perno	B18.2.3.2M	Hexagonal M16x2.0x 180
5	3	Tuerca	B18.2.2.4M	M16 x 2

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

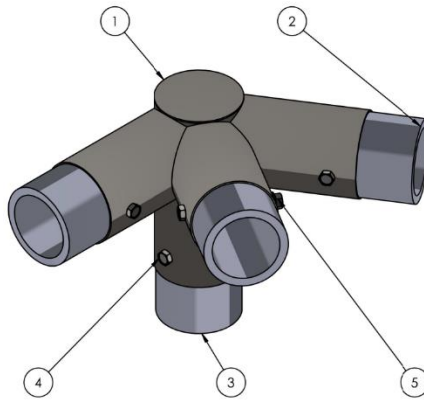


Ilustración 22 Diseño y ensamblaje de unión, propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 10 Descripción de elementos y materiales de propuesta hexagonal (las dimensiones de cada una de ellas se pueden visualizar en el Anexo 2 y Anexo 14)

N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Material	Observaciones
1	1	Unión	Acero A36	e=3mm
2	3	Elemento tipo viga	Bambú	
3	1	Elemento tipo columna	Bambú	
4	4	Perno	B18.2.3.2M	Hexagonal M16x2.0x 180
5	4	Tuerca	B18.2.2.4M	M16 x 2

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

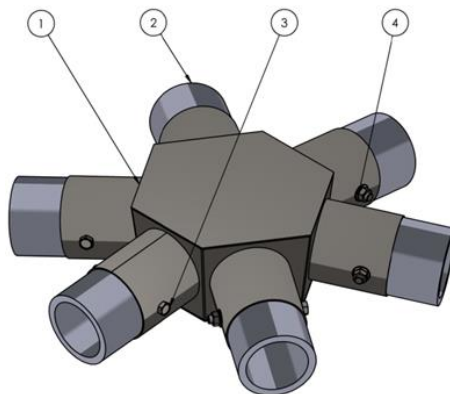


Ilustración 23 Diseño y ensamblaje de unión central, propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 11 Descripción de elementos y materiales de propuesta hexagonal unión central (las dimensiones de cada una de ellas se pueden visualizar en el Anexo 3 y Anexo 14)

N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Material	Observaciones
1	1	Unión	Acero A36	e=3mm
2	6	Elemento tipo viga	Bambú	
3	6	Perno	B18.2.3.2M	M16X 2 X180
4	6	Tuerca	B18.2.2.4M	M16 x 2

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

c) Simulación de uniones diseñadas

Con ayuda de Ansys realizaremos el simulacro de las uniones anteriormente diseñadas con sus respectivas fuerzas obtenidas en SAP2000, debido a que es un software de simulación multifásico para análisis y simulación por elementos finitos.

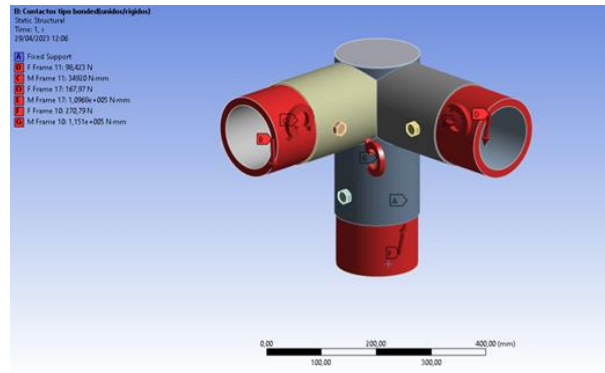


Ilustración 24 Aplicación de cargas a conexión diseñada, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

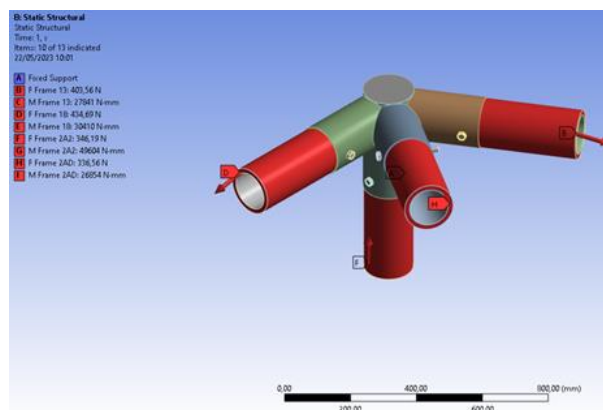


Ilustración 25 Aplicación de cargas obtenidas a conexión diseñada, propuesta hexagonal unión 4
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

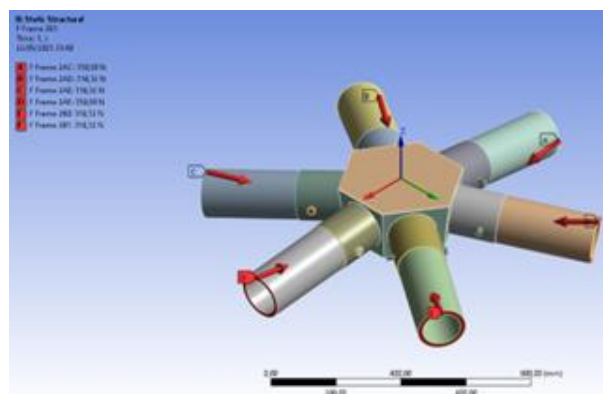


Ilustración 26 Aplicación de cargas a conexión diseñada, propuesta hexagonal unión 13
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Obtención de cargas

Con la definición de materiales, definición de sección del bambú, combinaciones de cargas sugeridas por la NEC-SE-GUADUA (2016), se escoge la combinación más crítica para los elementos estructurales.

Se presenta las cargas actuantes en cada uno de los elementos obtenidas.

Tabla 12 Cargas actuantes en elementos estructurales, propuesta rectangular

Elemento	Punto	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
10	11	2,21	6,93	42,75	-5,47	1,74	-6,67E-16
10	12	-2,21	-6,93	-26,72	-11,18	3,56	0,00
11	12	0,50	0,00	10,02	0,00	-3,56	0,00
17	12	0,00	3,78	16,70	11,18	0,00	0,00
11	13	-0,50	0,00	10,02	0,00	3,56	0,00
12	13	2,21	-6,93	-26,72	-11,18	-3,56	0,00
13	13	0,00	3,78	16,70	11,18	0,00	0,00
12	14	-2,21	6,93	42,75	-5,47	-1,74	0,00
13	15	0,00	-3,78	16,70	-11,18	0,00	0,00
14	15	2,21	6,93	-26,72	11,18	-3,56	0,00
15	15	-0,50	0,00	10,02	0,00	3,56	0,00
14	16	-2,21	-6,93	42,75	5,47	-1,74	0,00
15	17	0,50	0,00	10,02	0,00	-3,56	0,00
16	17	-2,21	6,93	-26,72	11,18	3,56	0,00
17	17	0,00	-3,78	16,70	-11,18	0,00	0,00
16	18	2,21	-6,93	42,75	5,47	1,74	-6,67E-16

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).

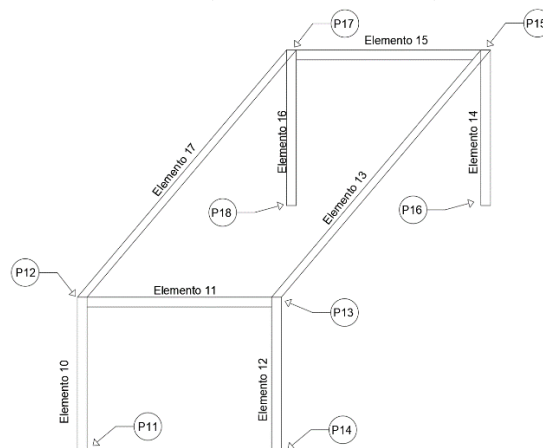
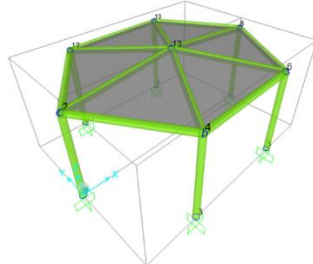


Tabla 13 Cargas actuantes en elementos estructurales, propuesta hexagonal

Elemento	Punto	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
2A1	1	3,25	-5,42E-05	49,01	6,37E-05	2,53	9,45E-06
13	2	-21,78	33,8	8,01	-1,64	-1,14	0,07099
14	2	-21,78	-33,8	8,01	1,64	-1,14	-0,07105
2A1	2	-3,25	5,42E-05	-33,7	6,09E-05	4,95	-9,45E-06
2AC	2	35,38	-5,70E-05	13,1	-9,39E-06	-3,21	-7,21E-05
2A2	3	1,81	2,81	50,49	-2,21	1,42	0,0005056
13	4	21,78	-33,8	8,69	2,35	1,59	0,06971
18	4	-43,35	1,05E-04	9,18	-3,35E-06	-3,1	-0,001088
2A2	4	-1,81	-2,81	-35,1	-4,25	2,74	-0,000506
2AD	4	17,51	26,72	12,51	2,29	-1,5	-0,0144
2A3	5	-1,81	2,81	50,49	-2,21	-1,42	-0,000547
17	6	-21,78	-33,8	8,69	2,35	-1,59	-0,06952
18	6	43,35	-1,05E-04	9,18	3,35E-06	3,1	0,001376
2A3	6	1,81	-2,81	-35,1	-4,25	-2,74	0,0005467
2AE	6	-17,51	26,72	12,51	2,29	1,5	0,01452
2A4	7	-3,25	-4,12E-05	49,01	4,86E-05	-2,53	1,06E-07
16	8	21,78	-33,8	8,01	1,64	1,14	0,07102
17	8	21,78	33,8	8,01	-1,64	1,14	-0,07093
2A4	8	3,25	4,12E-05	-33,7	4,61E-05	-4,95	-1,06E-07
2AF	8	-35,38	2,72E-05	13,1	-2,13E-05	3,21	-2,21E-05
2A5	9	-1,81	-2,81	50,49	2,21	-1,42	0,0005127
15	10	43,34	-6,98E-06	9,18	6,68E-06	3,1	-0,001192
16	10	-21,78	33,8	8,69	-2,35	-1,59	0,0697
2A5	10	1,81	2,81	-35,1	4,25	-2,74	-0,000513
2B0	10	-17,51	-26,72	12,51	-2,29	1,5	-0,0144
2A6	11	1,81	-2,81	50,49	2,21	1,42	-0,000514
14	12	21,78	33,8	8,69	-2,35	1,59	-0,0697
15	12	-43,34	6,98E-06	9,18	-6,68E-06	-3,1	0,001211
2A6	12	-1,81	2,81	-35,1	4,25	2,74	0,0005136
2B1	12	17,51	-26,72	12,51	-2,29	-1,5	0,01438
2AC	13	-35,38	5,70E-05	5,26	2,65E-05	3,13	-8,36E-05
2AD	13	-17,51	-26,72	4,38	-1,77	1,16	-0,01341
2AE	13	17,51	-26,72	4,38	-1,77	-1,16	0,01336
2AF	13	35,38	-2,72E-05	5,26	1,32E-05	-3,13	-5,24E-05
2B0	13	17,51	26,72	4,38	1,77	-1,16	-0,01339
2B1	13	-17,51	26,72	4,38	1,77	1,16	0,0133

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2022).



4.2 Deformación total y esfuerzo equivalente de la unión

Con las cargas actuantes obtenidas en cada uno de los casos se procede a identificar las cargas críticas para realizar el análisis en Ansys, posteriormente mediante el equilibrio de nodos y convenio de signos se identificará las direcciones de cada una de las cargas a aplicar en el nodo de análisis. También se realizó el análisis de resistencia a fractura de las placas circulares y rectangulares que se utilizan en la modelación ver Anexo 17.

a) Análisis de nodo N. °12 propuesta rectangular

Tabla 14 Cargas críticas aplicadas en elementos estructurales, propuesta rectangular

Frame	Nodo	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
10	12	-2,21	-6,93	-26,72	-11,18	3,56	0,00
11	12	0,50	0,00	10,02	0,00	-3,56	0,00
17	12	0,00	3,78	16,70	11,18	0,00	0,00

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 15 Conversión de signos de las cargas críticas para aplicación en el nodo 12, propuesta rectangular

Frame	Nodo	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
10	12	2,21	6,93	26,72	11,18	-3,56	0,00
11	12	-0,50	0,00	-10,02	0,00	3,56	0,00
17	12	0,00	-3,78	-16,70	-11,18	0,00	0,00

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Para resultados aceptables en la calidad de mallado se acepta del 0,8 a 1 y la tasa de convergencia menor al 10%.

Tabla 16 Análisis de convergencia de malla, propuesta rectangular

Calidad de malla	N° de nodos	N° de solución	Esfuerzo Máximo [MPa]	Tasa de convergencia
0,625	59592	1	113,9	N/A
0,65	71003	2	44,316	61,09%
0,767	272913	3	19,012	57,10%
0,80614	554541	4	16,761	11,84%
0,827	810004	5	18,013	7,47%

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

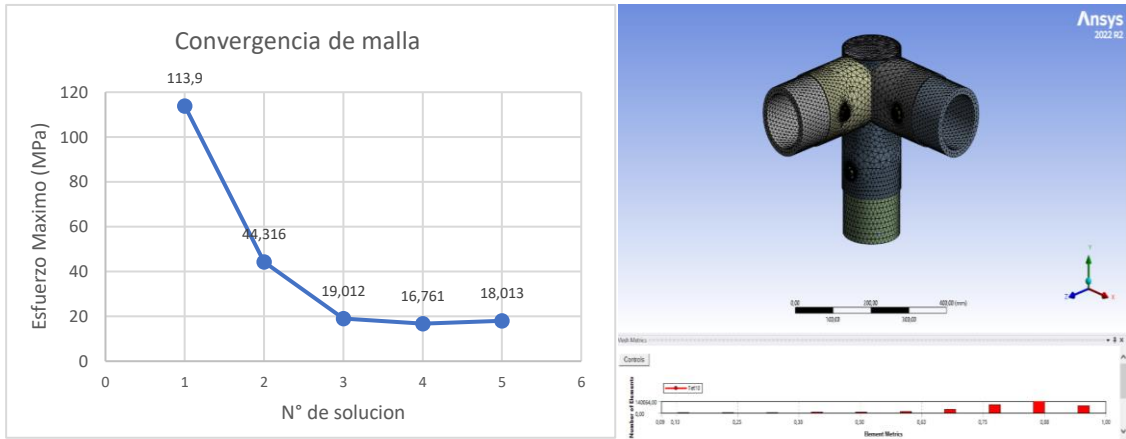


Ilustración 27 Convergencia de malla, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

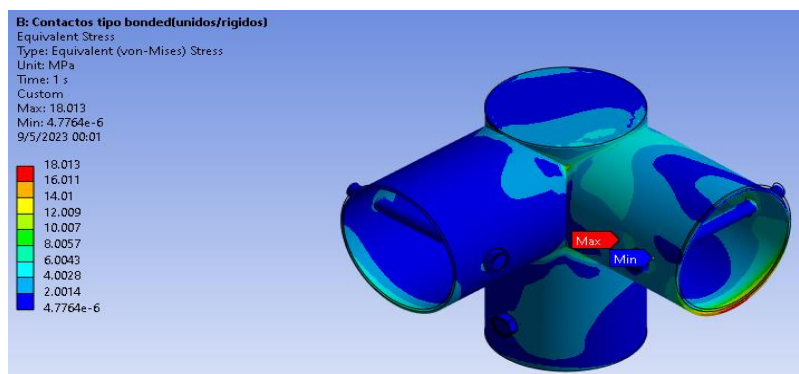


Ilustración 28 Esfuerzo calculado (E_c) de unión de acero A36, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

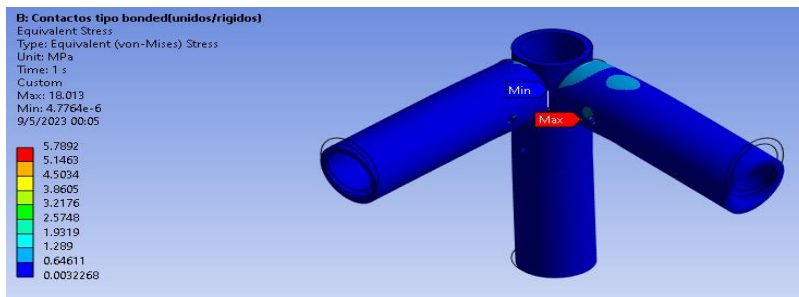


Ilustración 29 Esfuerzo calculado (E_c) de elemento estructural de bambú, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

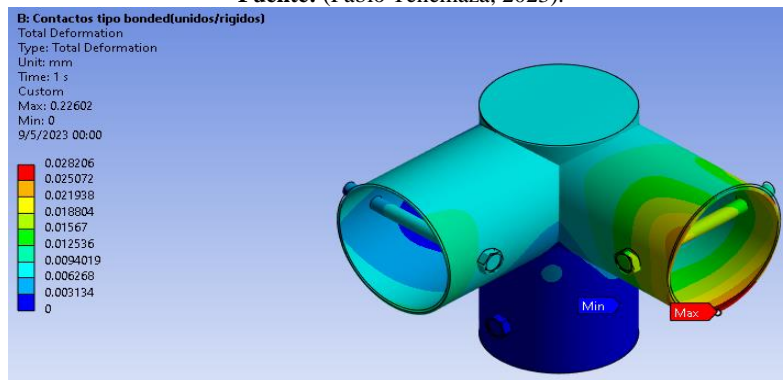


Ilustración 30 Deformación de unión de acero A36, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

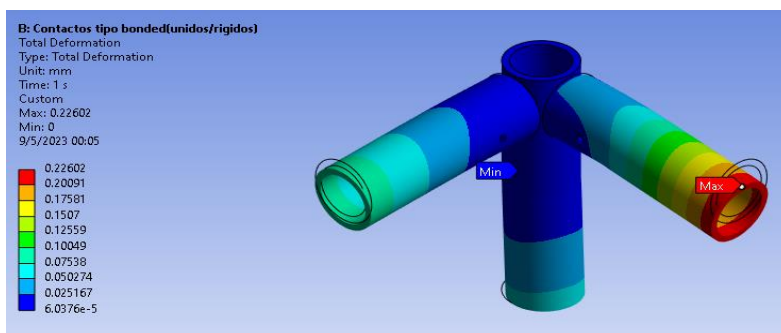


Ilustración 31 Deformación de elemento estructural de bambú, propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 17 Análisis de resultados obtenidos de Ansys, propuesta rectangular

Elemento	Material	Esfuerzo Calculado (Ec) [MPa]	Esfuerzo de fluencia (Ef) [MPa]	Ec < Ef	D/C	Deformación (mm)	
Unión	Acero A36	18,013	250	OK resiste	0,072	0,028206	OK
Viga y columna	Bambú	5,7892	15	OK resiste	0,3859	0,22602	OK

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023)

b) Análisis de nodo N. °4 propuesta hexagonal

Tabla 18 Cargas críticas aplicadas en elementos estructurales, propuesta hexagonal (nodo 4)

Frame	Nodo	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
13	4	21,78	-33,80	8,69	2,35	1,59	0,07
18	4	-43,35	0,00	9,18	0,00	-3,10	0,00
2A2	4	-1,81	-2,81	-35,13	-4,25	2,74	0,00
2AD	4	17,51	26,72	12,51	2,29	-1,50	-0,01

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 19 Conversión de signos de las cargas críticas para aplicación en el nodo 4, propuesta hexagonal

Frame	Nodo	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
13	4	-21,78	33,80	-8,69	-2,35	-1,59	-0,07
18	4	43,35	0,00	-9,18	0,00	3,10	0,00
2A2	4	1,81	2,81	35,13	4,25	-2,74	0,00
2AD	4	-17,51	-26,72	-12,51	-2,29	1,50	0,01

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Para resultados aceptables en la calidad de mallado se acepta del 0,8 a 1 y la tasa de convergencia menor al 10%.

Tabla 20 Análisis de convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 4

Calidad de malla	N° de nodos	N° de solución	Esfuerzo Máximo [MPa]	Tasa de convergencia
0,7607	354268	1	38,23	N/A
0,78	438141	2	10,908	71,47%
0,805	742335	3	17,92	64,28%
0,813	958669	4	15,73	12,22%
0,814	1112958	5	14,214	9,64%
0,822	1319890	6	14,268	0,38%

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

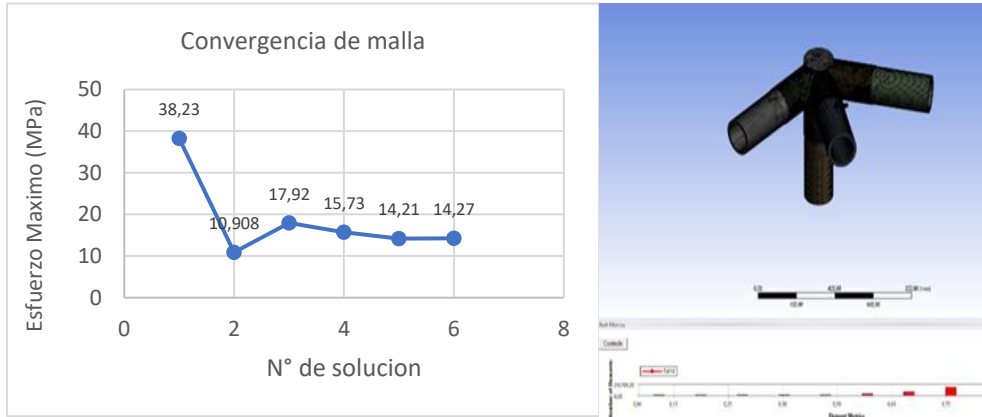


Ilustración 32 Convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 4
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

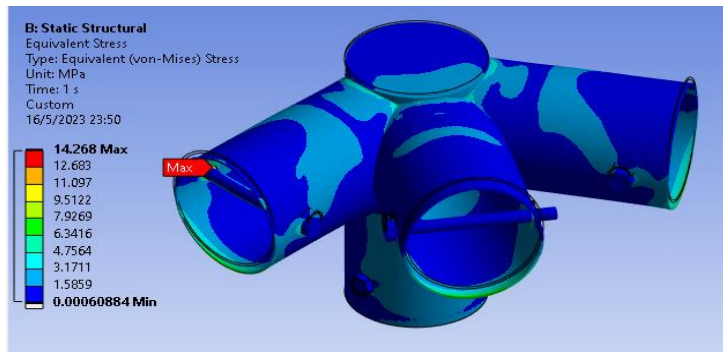


Ilustración 33 Esfuerzo calculado (E_c) de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 4
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

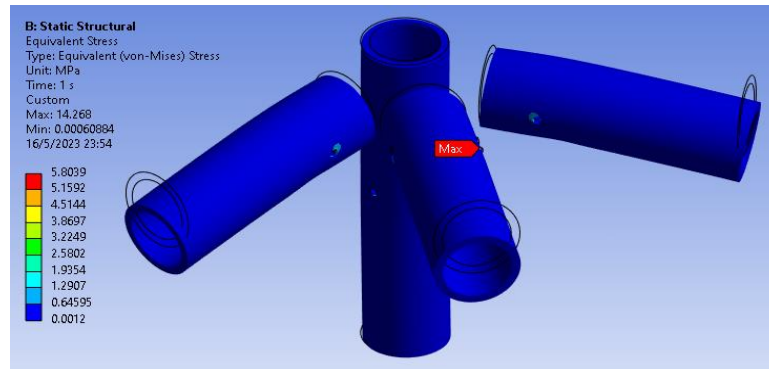


Ilustración 34 Esfuerzo calculado (E_c) de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 4
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

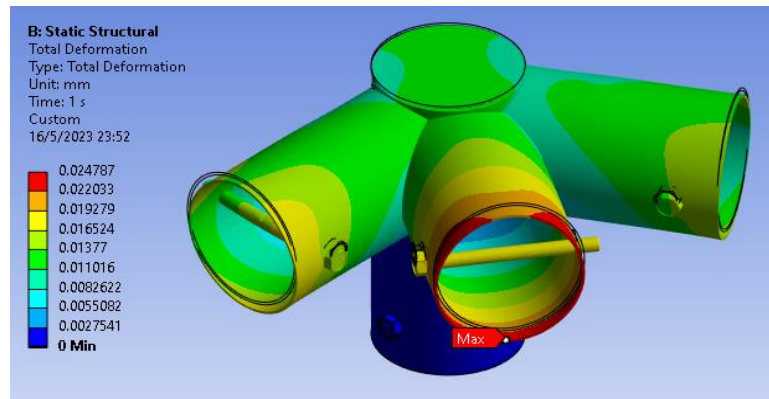


Ilustración 35 Deformación de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 4
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

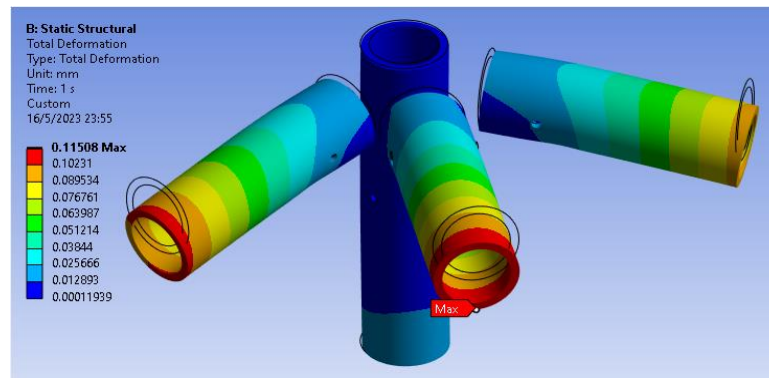


Ilustración 36 Deformación de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 4
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 21 Análisis de resultados obtenidos de Ansys, propuesta hexagonal nodo 4

Elemento	Material	Esfuerzo Calculado (Ec) [MPa]	Esfuerzo de fluencia (Ef) [MPa]	Ec < Ef	D/C	Deformación (mm)	
Unión	Acero A36	14,268	250	OK resiste	0,057	0,0248	OK
Viga y columna	Bambú	5,8039	15	OK resiste	0,3869	0,1151	OK

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

c) Análisis de nodo N. °13 propuesta hexagonal

Tabla 22 Cargas críticas aplicadas en elementos estructurales, propuesta hexagonal (nodo 13)

Frame	Nodo	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
2AC	13	-35,38	0,00	5,26	0,00	3,13	0,00
2AD	13	-17,51	-26,72	4,38	-1,77	1,16	-0,01
2AE	13	17,51	-26,72	4,38	-1,77	-1,16	0,01
2AF	13	35,38	0,00	5,26	0,00	-3,13	0,00
2B0	13	17,51	26,72	4,38	1,77	-1,16	-0,01
2B1	13	-17,51	26,72	4,38	1,77	1,16	0,01

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 23 Conversión de signos de las cargas críticas para aplicación en el nodo 13, propuesta hexagonal

Frame	Nodo	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
2AC	13	35,38	0,00	-5,26	0,00	-3,13	0,00
2AD	13	17,51	26,72	-4,38	1,77	-1,16	0,01
2AE	13	-17,51	26,72	-4,38	1,77	1,16	-0,01
2AF	13	-35,38	0,00	-5,26	0,00	3,13	0,00
2B0	13	-17,51	-26,72	-4,38	-1,77	1,16	0,01
2B1	13	17,51	-26,72	-4,38	-1,77	-1,16	-0,01

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Para resultados aceptables en la calidad de mallado se acepta del 0,8 a 1 y la tasa de convergencia menor al 10%.

Tabla 24 Análisis de convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 13

Calidad de malla	Nº de nodos	Nº de solución	Esfuerzo Máximo [MPa]	Tasa de convergencia
0,734	426440	1	20,103	N/A
0,756	566670	2	30,581	52,12%
0,775	638066	3	26,25	14,16%
0,792	1107143	4	28,42	8,27%
0,793	1026570	5	28,438	0,06%

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

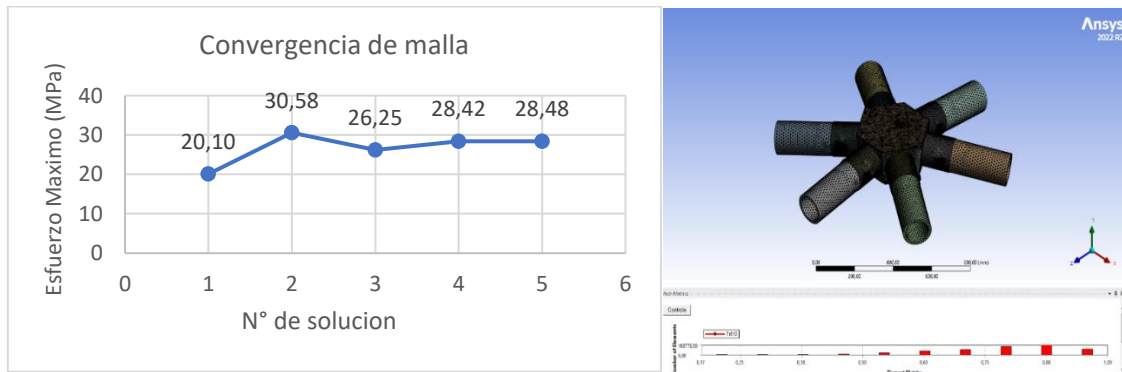


Ilustración 37 Convergencia de malla, propuesta hexagonal nodo 13

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

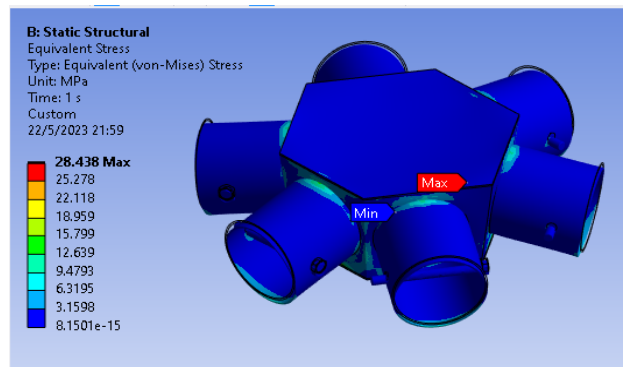


Ilustración 38 Esfuerzo calculado (E_c) de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 13

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

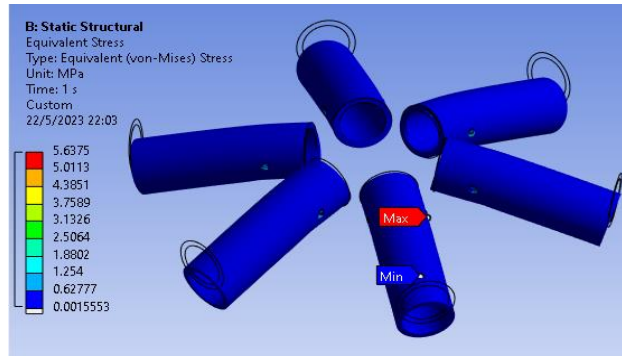


Ilustración 39 Esfuerzo calculado (E_c) de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 13
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

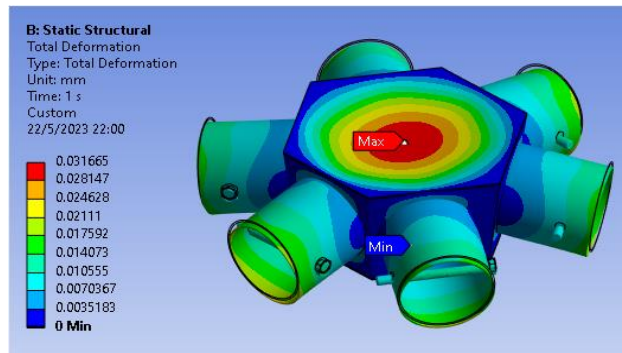


Ilustración 40 Deformación de unión de acero A36, propuesta hexagonal nodo 13
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

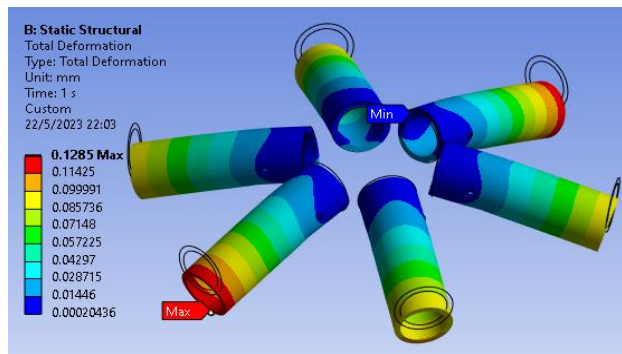


Ilustración 41 Deformación de elemento estructural de bambú, propuesta hexagonal nodo 13
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Tabla 25 Análisis de resultados obtenidos de Ansys, propuesta hexagonal nodo 13

Elemento	Material	Esfuerzo Calculado (E_c) [MPa]	Esfuerzo de fluencia (E_f) [MPa]	$E_c < E_f$	D/C	Deformación (mm)	
Unión	Acero A36	28,438	250	OK resiste	0,1138	0,031665	OK
Viga y columna	Bambú	5,6375	15	OK resiste	0,3758	0,1285	OK

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

4.3 DISCUSIÓN

Se sabe que la caña *Guadua angustifolia* Kunth o bambú, es una planta que se caracteriza por ser hueco y nudoso en su totalidad, consta de las siguientes partes: nodos, entrenudo y culmo (Ilustración 3) (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

El programa SAP2000 es un programa de análisis y diseño, este software ofrece herramientas de modelado y visualización de estructuras 3D, rendimiento de análisis lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento exigente y cubre una amplia gama de materiales, además el programa Ansys es un complemento muy importante el cual ayuda en el análisis de esfuerzos y deformaciones existentes en las uniones a diseñar y posteriormente a modelar.

Para establecer los parámetros de propiedades físicas, mecánicas del bambú (*guadua angustifolia*), estas se encuentran especificadas en la NEC-SE-GUADÚA 2016, además las propiedades geométricas se consideró un diámetro externo de 15cm y un espesor de pared de 1,5cm para elementos de vigas y columnas. Para el espesor del acero A36 a utilizar en la modelación es de 3mm, la normativa ANSI/AISC 360-16 sección J2. WELDS (soldaduras), menciona que la garganta efectiva mínima de soldadura en penetración parcial de la uniones y soldadura tipo filete se debe tener un mínimo de 3mm., la garganta efectiva de la soldadura es el espesor de la parte más delgada de la unión.

Para la configuración geométrica de la estructura se basó en las recomendaciones establecidas de área ocupacional por persona para alojamientos temporales en Ecuador.

Por lo cual se presenta dos propuestas: Propuesta rectangular tiene un área de 15 m² y una altura de 2,4 m. Propuesta hexagonal tiene un área de 17,2464 m², una altura intermedia de 2,3 m y una altura en su punto más alto de 2,6 m. Las dos propuestas están asignadas para el alojamiento de 4 personas. Las propuestas serán estructuras

desplegables el cual facilitara el transporte y armado de las mismas, las uniones tienen la posibilidad de tener grados de inclinación mediante la colocación de una bisagra en la parte inferior de la unión de las vigas y una placa con pernos en la parte superior de la misma el cual ayuda a fijar la unión en la posición en la que se aplicaran las cargas finales, ver Anexo 15 y Anexo 16.

Con respecto al primer objetivo específico de la investigación, el cual es analizar el comportamiento estructural de forma experimental de las conexiones entre elementos estructurales, se procedió a realizar el análisis de convergencia de malla de cada una de las uniones de las propuestas anteriormente mencionadas con ayuda del programa Ansys, la convergencia de malla consiste en generar nodos en los elementos de bambú y uniones de acero, para que el resultado sea aceptable se requiere aumentar los números de nodos y con ellos se aumenta la calidad de mallado y se reduce la tasa de convergencia, estas deben estar entre un rango de calidad de malla del 0,8 a 1 y tasa de convergencia menor al 10%. Si la calidad de malla llega a 1 y la tasa de convergencia de malla es mayor al 10% se procede a modificar dichas uniones de acero.

El esfuerzo obtenido mediante la modelación en Ansys tanto de las uniones de acero y elementos estructurales de bambú deben ser menor al esfuerzo de fluencia de los mismos.

La deformación máxima obtenida en las uniones de acero A36 para la propuesta rectangular y propuesta hexagonal son: 0,028206 mm y 0,031665 mm respectivamente, la normativa no especifica deformaciones admisibles, sin embargo, deben mantenerse dentro del rango admisible para los elementos de bambú que conforman la estructura, por lo tanto, al no tener una deformación excesiva se consideran aceptables.

La deformación máxima obtenida en los elementos estructurales de bambú para la propuesta rectangular y hexagonal son: 0,22602 mm y 0,1285 mm respectivamente, en lo cual la normativa NEC-SE-GUADÚA 2016 nos recomienda deflexiones admisibles, entonces se obtiene unas deformaciones admisibles para la propuesta rectangular de 2,0833 mm y para la propuesta hexagonal de 1,145833 mm, por lo tanto, las deformaciones obtenidas mediante el modelado en Ansys están dentro de las deformaciones admisibles.

Con respecto al segundo objetivo específico de la investigación, el cual es proponer un sistema de armado desplegable de los elementos estructurales para estructuras de bambú cumpliendo las recomendaciones de la NEC-GUADUA 2016, se hizo uso del programa SolidWorks con el cual se modela cada una de las piezas y posteriormente se ensamblará para así formar las uniones de acero de cada una de las propuestas anteriormente mencionadas, ver Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3.

Las uniones de acero y elementos estructurales de bambú al ser modeladas en Ansys requieren restricciones en cada uno de ellas, los cuales simulan el efecto de contacto rígido entre la unión de acero, elementos de bambú y pernos a utilizar, los cuales se pueden visualizar en el Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11 y Anexo 12, debido a que el análisis de las uniones deben ser en la posición donde se aplicara las cargas definitivas.

Con respecto al objetivo general de la investigación, el cual es determinar las conexiones más óptimas entre los miembros estructurales desplegables, se realiza el análisis de esfuerzos de cada una de las propuestas, la propuesta rectangular tiene un esfuerzo máximo de 18,013 MPa en la unión de acero y la propuesta hexagonal tiene un esfuerzo máximo de 28,438 MPa en la unión de acero, la diferencia de los esfuerzos

máximos en las uniones de acero de las propuestas es debido a la cantidad de elementos que forman la unión. Por lo cual las conexiones más óptimas para los miembros estructurales es la unión de la propuesta rectangular, a la vez la unión es mas sencilla de elaborar a diferencia de las uniones de la propuesta hexagonal. Debido a que la estructura esta enfocada a brindar alojamiento a personas afectadas por catástrofes inesperadas, la propuesta rectangular es más fácil su armado y no requiere mano de obra calificada.



Ilustración 42 *Propuesta rectangular final*
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

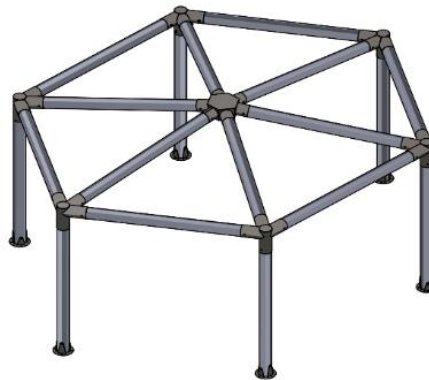


Ilustración 43 *Propuesta hexagonal final*
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- a) La convergencia de malla de la propuesta rectangular se logró cumplir en la solución número 5, obteniendo una calidad de mallado de 0,827 y una tasa de convergencia de 7,47%, con el cual se obtuvieron los esfuerzos calculados del acero de 18,013 MPa y del bambú de 5,7892 MPa, los cuales están por debajo de los esfuerzos de fluencia de los materiales, de la misma forma se obtuvieron la deformación del acero con 0,0282 mm y del bambú con 0,2260 mm los cuales están dentro del rango permitido. De la misma forma la relación demanda capacidad del acero es de 0,072 y del bambú es de 0,3859, cumpliendo así las resistencias, deformaciones y factores de seguridad normados.
- b) La convergencia de malla de la propuesta hexagonal del Nodo 4 se logró cumplir en la solución número 6, obteniendo una calidad de mallado de 0,822 y una tasa de convergencia de 0,38%, con el cual se obtuvieron los esfuerzos calculados del acero de 14,268 MPa y del bambú de 5,804 MPa, los cuales están por debajo de los esfuerzos de fluencia de los materiales, de la misma forma se obtuvieron la deformación del acero con 0,0248 mm y del bambú con 0,115 mm los cuales están dentro del rango permitido. De la misma forma la relación demanda capacidad del acero es de 0,057 y del bambú es de 0,3869, cumpliendo así las resistencias, deformaciones y factores de seguridad normados.
- c) La convergencia de malla de la propuesta hexagonal del Nodo 13 se logró cumplir en la solución número 5, obteniendo una calidad de mallado de 0,793 y una tasa de convergencia de 0,06%, con el cual se obtuvieron los esfuerzos calculados del acero de 28,438 MPa y del bambú de 5,6375 MPa, los cuales están por debajo de

los esfuerzos de fluencia de los materiales, de la misma forma se obtuvieron la deformación del acero con 0,032 mm y del bambú con 0,129 mm los cuales están dentro del rango permitido. De la misma forma la relación demanda capacidad del acero es de 0,1138 y del bambú es de 0,3758, cumpliendo así las resistencias, deformaciones y factores de seguridad normados.

Para la propuesta rectangular se presenta una unión tipo debido a que la estructura es regular, para la propuesta hexagonal se presenta una unión tipo para uniones esquineras y una unión central, dichas uniones cumplen con las recomendaciones de la NEC-GUADUA 2016, en el cual se detalla los materiales, elementos a utilizar y detalle de las secciones.

Tanto la propuesta rectangular como la propuesta hexagonal están cumpliendo con los requisitos de la normativa, se llega a la conclusión de que la propuesta rectangular es óptima para poder utilizar como estructura temporal, debido a que su unión de acero es rápida de fabricar, económica, el armado es más sencillo y no se requiere de mano de obra calificada, al tener uniones que hacen a la estructura desplegable facilite el transporte debido a que las uniones pueden tener grados de inclinación.

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar pruebas de laboratorio con los elementos estructurales de bambú que tengan las mismas o similares propiedades y secciones del presente estudio, también realizar un muestreo de diversas distribuidoras de bambú debido a que las propiedades del bambú varían al lugar que es cosechado.

Se recomienda que, en el momento de realizar las perforaciones al bambú para el anclaje de unión de acero con el elemento, se realice mediante las indicaciones de la NEC-GUADUA 2016.

Realizar un estudio y simulación de esfuerzos y deformaciones de los pernos a utilizar en las propuesta rectangular y hexagonal.

Es de suma importancia que los elementos de bambú que se utilizara para los alojamientos temporales cumplan con las recomendaciones de almacenamiento y cuidado del bambú.

Se recomienda realizar un análisis de esfuerzos y deformaciones de las uniones en diferentes ángulos de aplicación para obtener su factibilidad en diferentes configuraciones de las mismas.

REFERENCIAS

Alexandra Ocles, M., Peñaherrera, R., Rivera Analista, A., Zulima Castañeda, S. P., Isabel Jácome Villalva, A., Thuriaux Jefe de Misión en Ecuador Manuel Hoff Oficial de Programa Patricia Schiavinato Oficial de Proyecto Jaime Paredes Oficial de Programa OIM, D., Vergara Representante auxiliar Lola Valladares, M., & Guayasamín, S. (2017). Guía operacional para la gestión de alojamientos temporales secretaria de gestión de riesgos asistencia técnica organización internacional para las migraciones.

Avellaneda López, O. F. (2020). Diseño paramétrico de las estructuras desplegadas. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*, 230.

Bonilla, D., & Merino, J. (2017). *Estudio de las propiedades físicas de la caña guadúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe.*

Carmioli Umaña, V. (2009). Bambú Guadua: un recurso ecológico. *Tecnología En Marcha*, 22(3), 3–9.

Cedeño, J., Torres, N., & Gallo, M. (2020). *Análisis de las conexiones estructurales de una vivienda de carácter social prediseñada con caña guadúa. 1*, 14–26.

Culcas Cueva, D. R. (2020). *Estructuras desplegadas aplicadas al diseño de arquitectura efímera para las ferias desarrolladas en explanada de la plaza Huamanmarca, Huancayo - 2018*. 218.

Duque, L. (2017). Diseño de un refugio multifunción para campamentos. In *Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, UPC*.

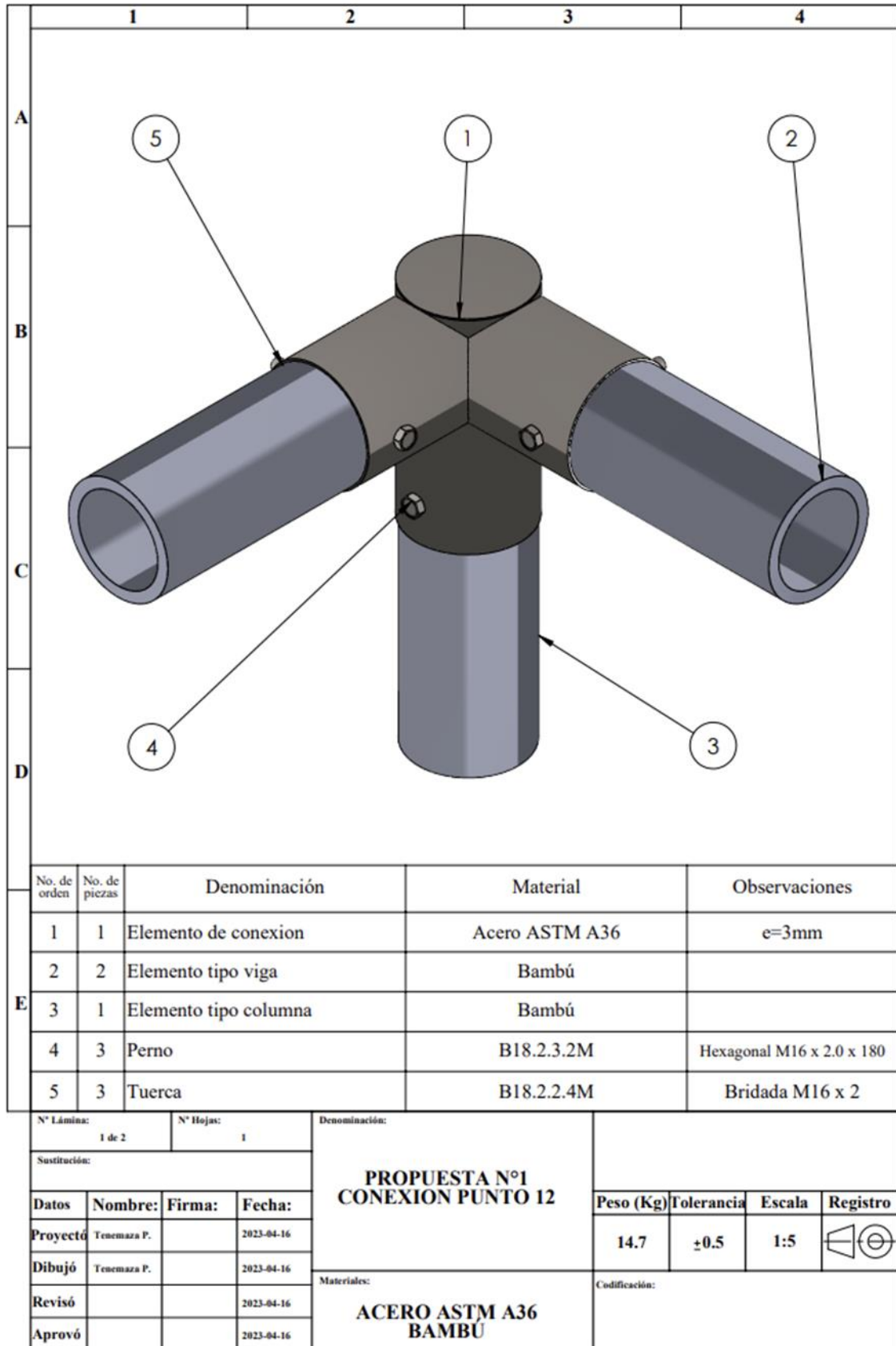
Díaz Valcárcel, P. A. (2016). Análisis comparativo: uso de bambú vs perfiles de acero

- para cobertura liviana. In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
- Encalada, J. (2016). *Modelo de panel prefabricado en guadúa, aplicado a la industrialización de la construcción, para divisiones verticales*.
- Fernández Jara, S. D. (2018). *Estudio estructural de una vivienda hecha de bambú caña guadua*.
- García, G. (2018). *Aplicación de estructuras y cerramientos desplegables a vivienda-prototipo para familia de refugiados*.
- Hidalgo López, Óscar (2003) *BAMBOO: The gift of the gods*. Colombia: Oscar Hidalgo-López Editor.
- Luna, P., Lozano, J., & Takeuchi, C. (2014). *Determinación experimental de valores característicos de resistencia para guadua angustifolia*. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 16(1), 77–92.
- Masdar A., Suhendro B., Siswosukarto S., Sulisty D. (2017) Influence of Bolt Tightening's Force to the Strength of Connection System of Bamboo Truss Structure with Wooden Clamp. *Procedia Engineering*. 171:1370-1376.
- Moran R., García J. (2019) Bamboo joints with steel clamps capable of transmitting moment. *Construction and Building Materials*. 216:249-260.
- NEC_SE_CG: Cargas (No Sísmicas). (2015). *CARGAS (NO SÍSMICAS)*.
- NEC-SE-GUADÚA. (2016). Estructuras de guadúa (GaK). *NEC Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 108.

- Nolivos, J., & Yacelga, J. (2010). *Estudio de conexiones entre elementos estructurales de caña guadua sometidos a carga axial*.
- Peyró, M. (2019). *Componentes de una yurta mongol*. 1–11.
- Rodríguez Romo, J. C. (2006). El bambú como material de construcción. *Conciencia Tecnológica*, 4.
- Samayoa, J. (2006). *Criterios par ala selección del sistema estructural y su aplicación al diseño arquitectónico*. 15(2), 1–190.
- Sanchez García, D. (2017). *Estudio de las uniones en estructuras de caña*. 1–205.
- Takeuchi, C. (2004). *Comportamiento estructural de la guadua angustifolia . Uniones en guadua*. 24(55), 3–7.
- Vásquez Carrillo, J. E. (2018). *Análisis y diseño estructural de una “cubierta tipo” de bambú, para canchas de uso multiple mediante el uso de los programas revit, robot y etabs*.
- Yann, B., & Faouzi, J. (2019). Conectores de extremidades de bambú para estructuras exploración de un sistema de incrustación en la pared interna del tallo. *Campus*, 24(27), 53–65.

ANEXOS

Anexo 1



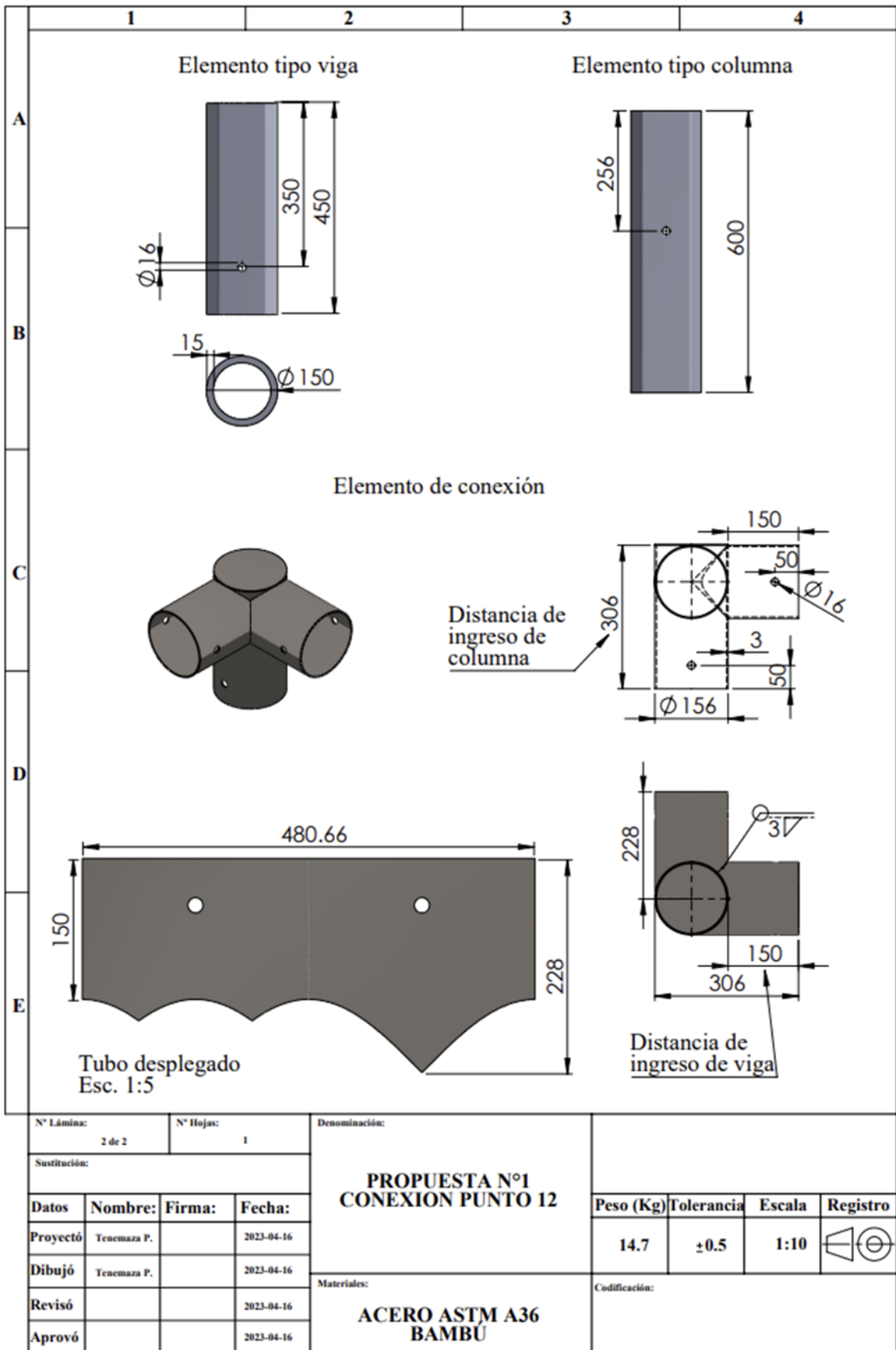
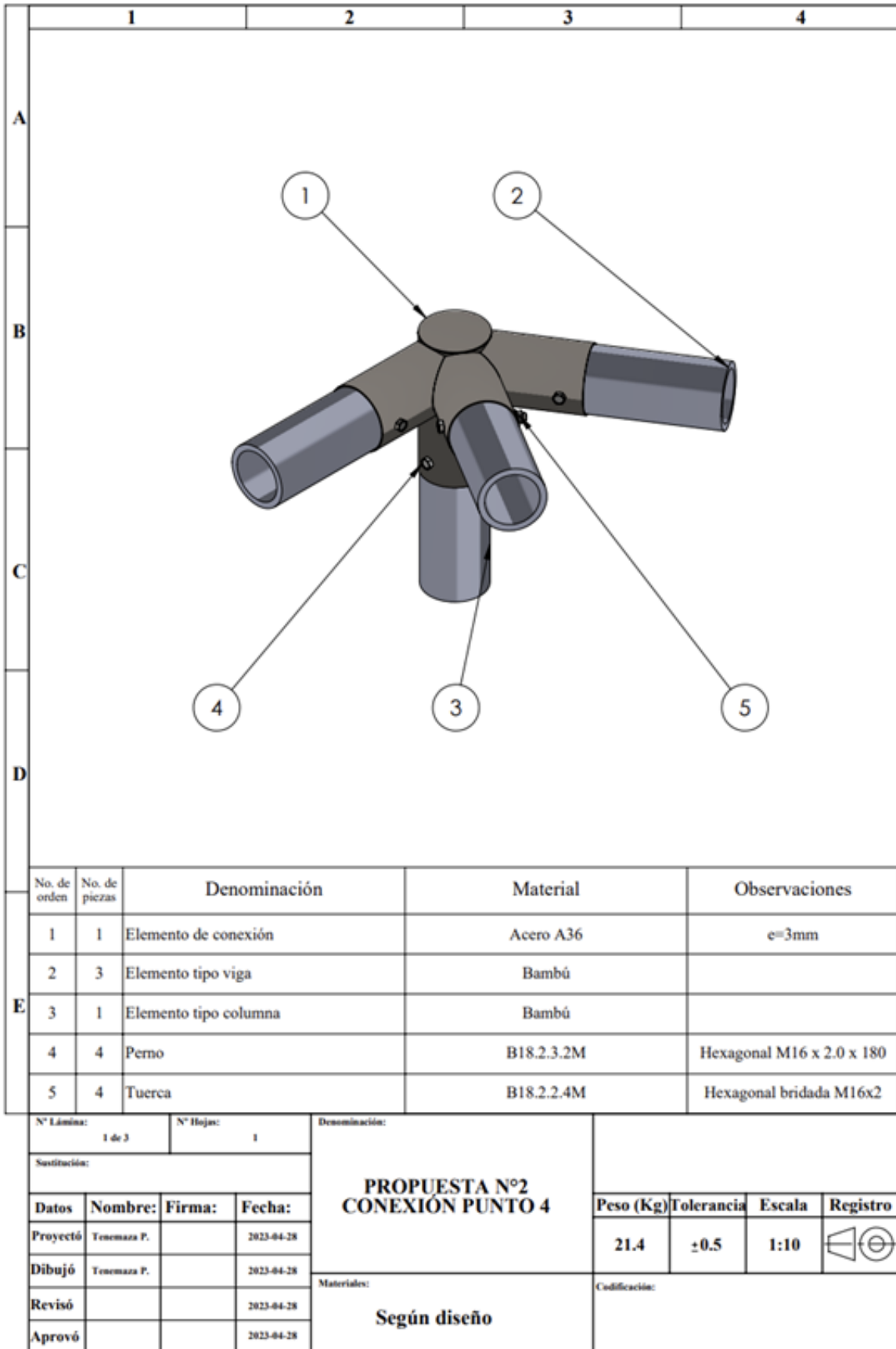
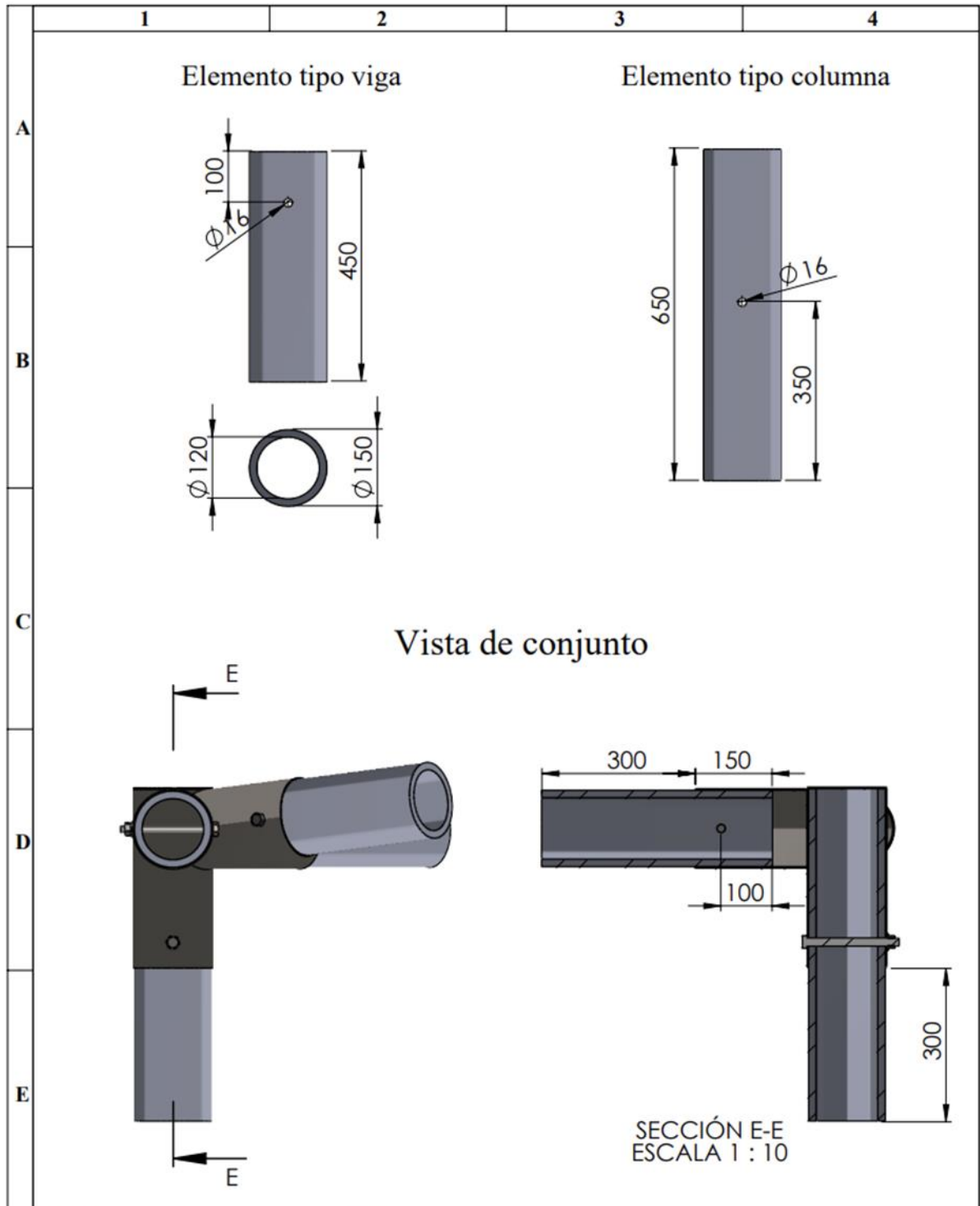


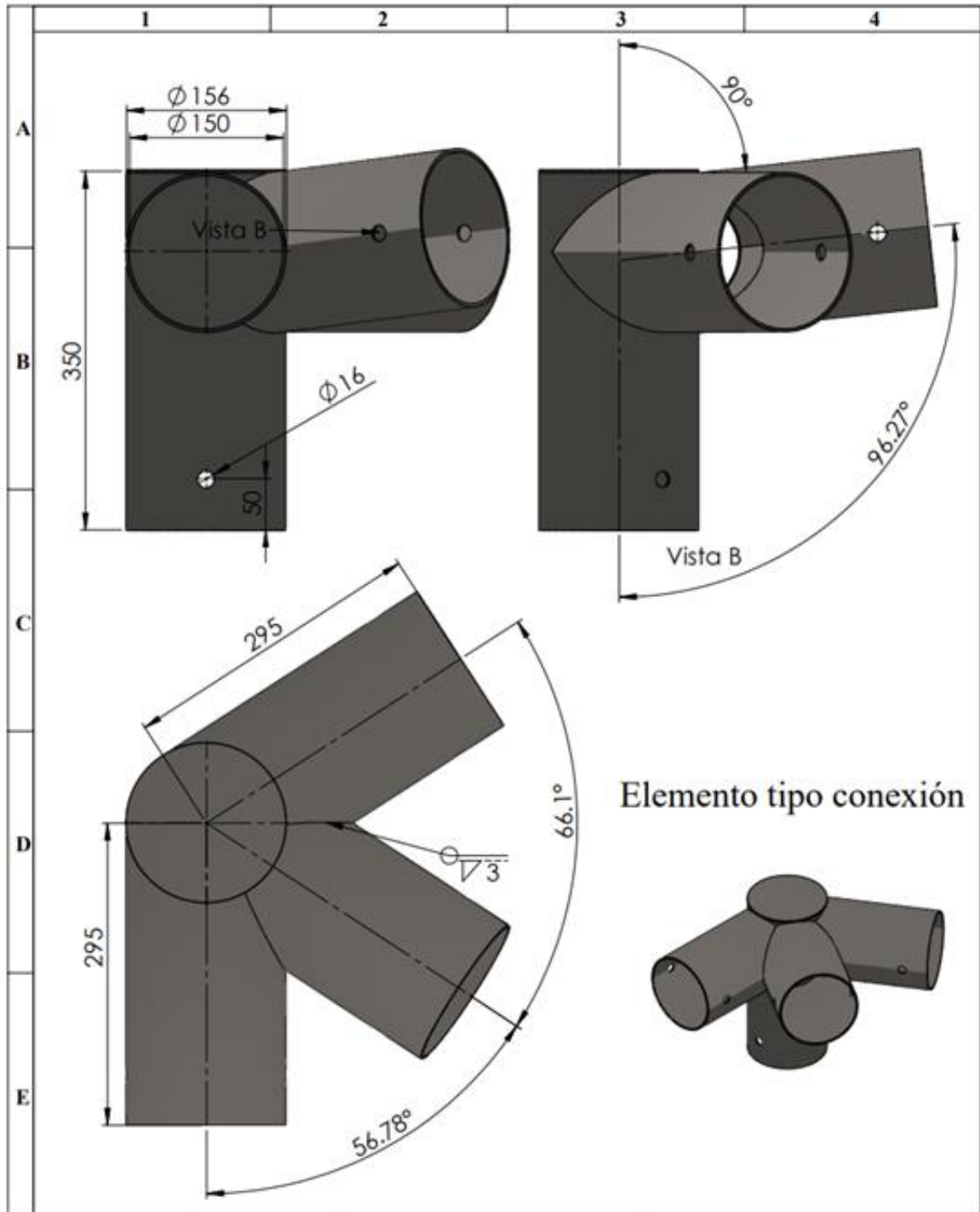
Ilustración 44 Anexo 1. Detalle estructural de la conexión tipo para propuesta rectangular.
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Anexo 2





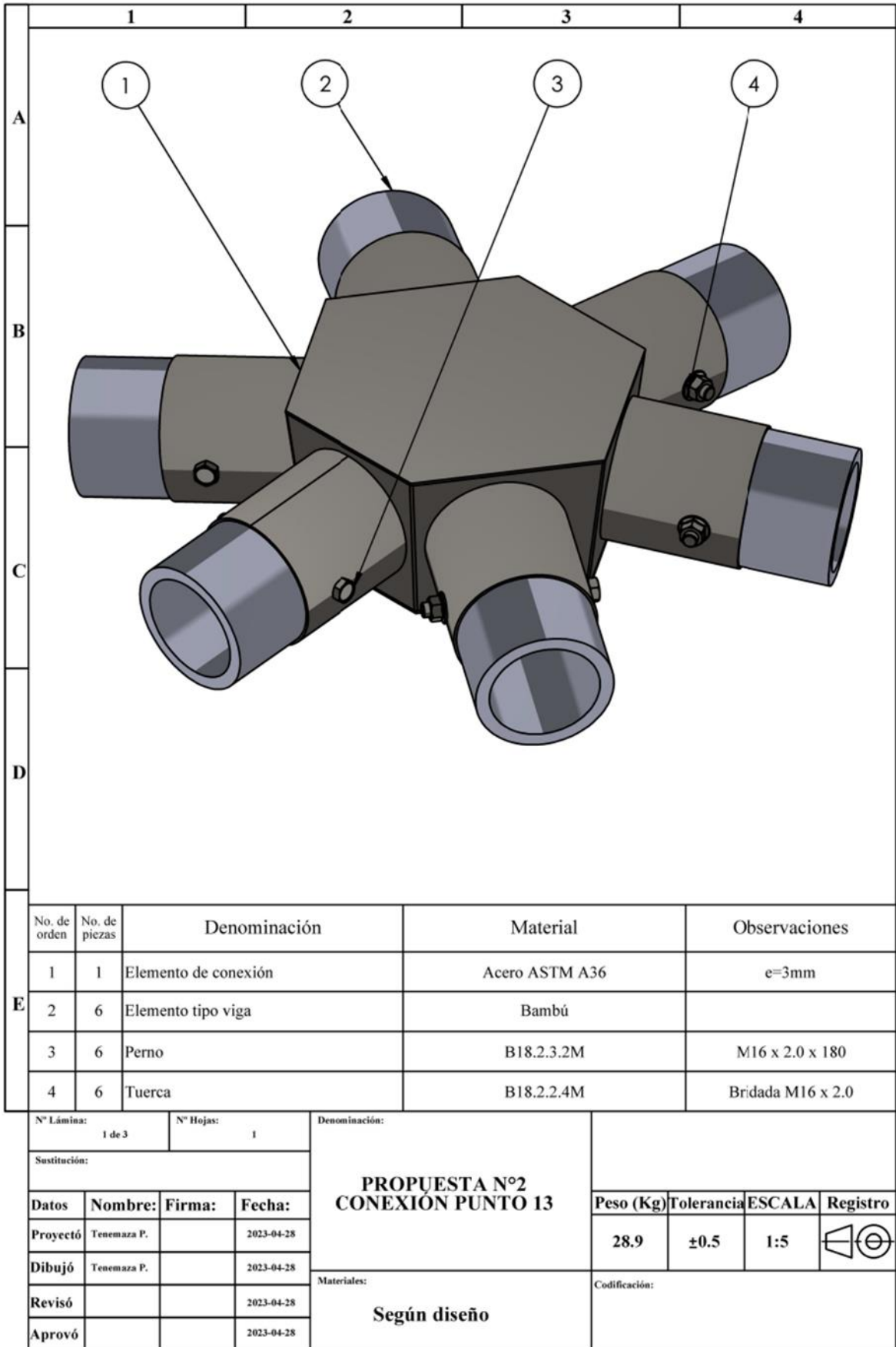
N° Lámina: 2 de 3		N° Hojas: 1		Denominación:			
Sustitución:				PROPUESTA N°2 CONEXIÓN PUNTO 4			
Datos	Nombre:	Firma:	Fecha:				
Proyectó	Tenemaza P.		2023-04-28	21.4	±0.5	1:10	
Dibujó	Tenemaza P.		2023-04-28	Materiales: ACERO ASTM A36 BAMBU			
Revisó			2023-04-28				
Aprovó			2023-04-28				
				Codificación:			

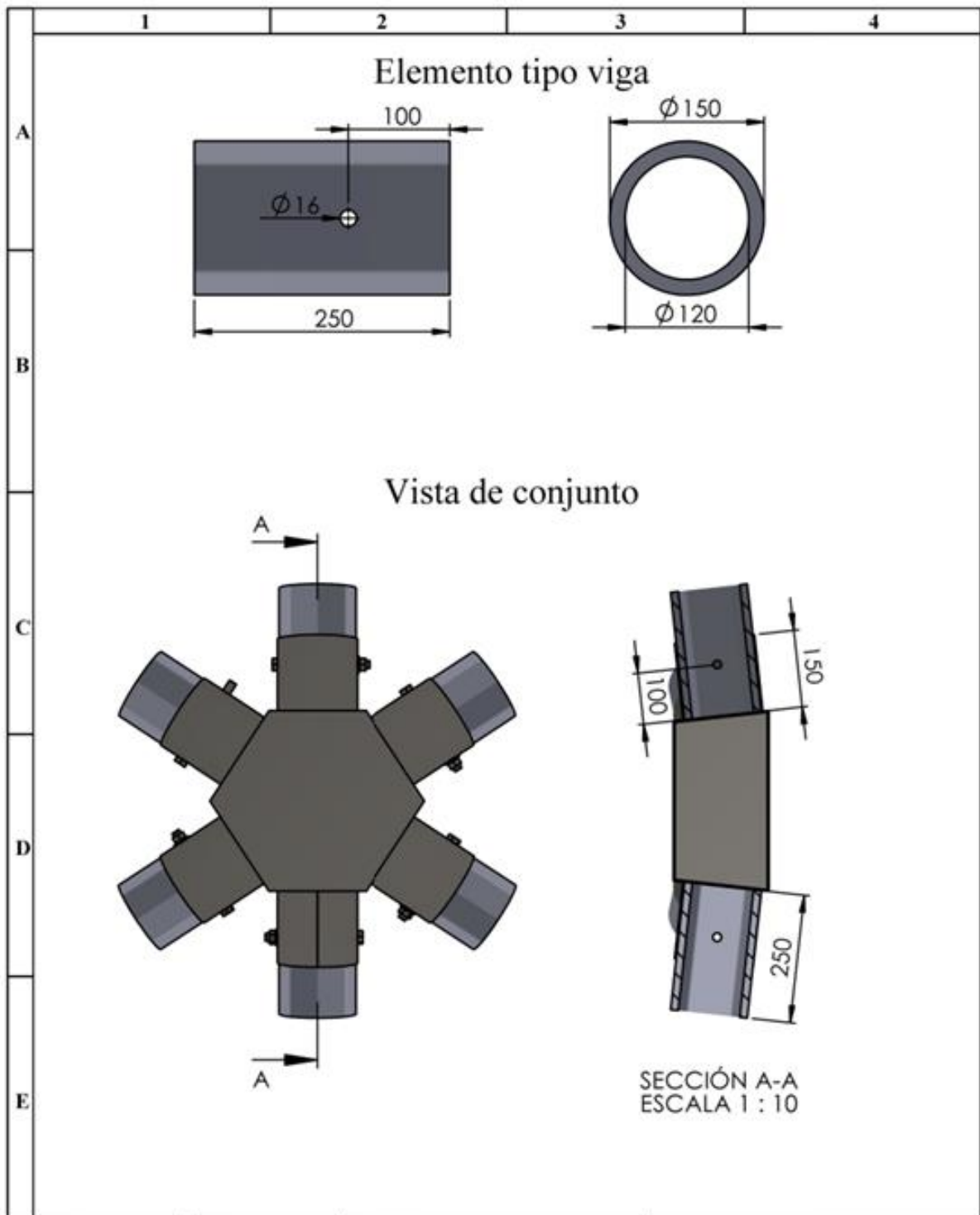


N° Lámina: 3 de 3		N° Hojas: 1		Denominación:			
Sustitución:				PROPUESTA N°2 CONEXIÓN PUNTO 4			
Datos	Nombre:	Firma:	Fecha:				
Proyectó	Tenemaza P.		2023-04-28	21.4	±0.5	1:5	
Dibujó	Tenemaza P.		2023-04-28	Codificación:			
Revisó			2023-04-28				
Aprovó			2023-04-28				
Materiales:				ACERO ASTM A36			

Ilustración 45 Anexo 2. Detalle estructural de la conexión tipo para propuesta hexagonal, unión esquinera.
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Anexo 3





N° Lámina: 2 de 3		N° Hojas: 1		Denominación:			
Sustitución:				PROPUESTA N°2 CONEXIÓN PUNTO 13			
Datos	Nombre:	Firma:	Fecha:				
Proyectó	Teófilo P.		2023-04-28	28.9	±0.5	1:5	
Dibujó	Teófilo P.		2023-04-28	Materiales:			
Revisó			2023-04-28	Acero ASTM A36 Bambú			Codificación:
Aprovó			2023-04-28				

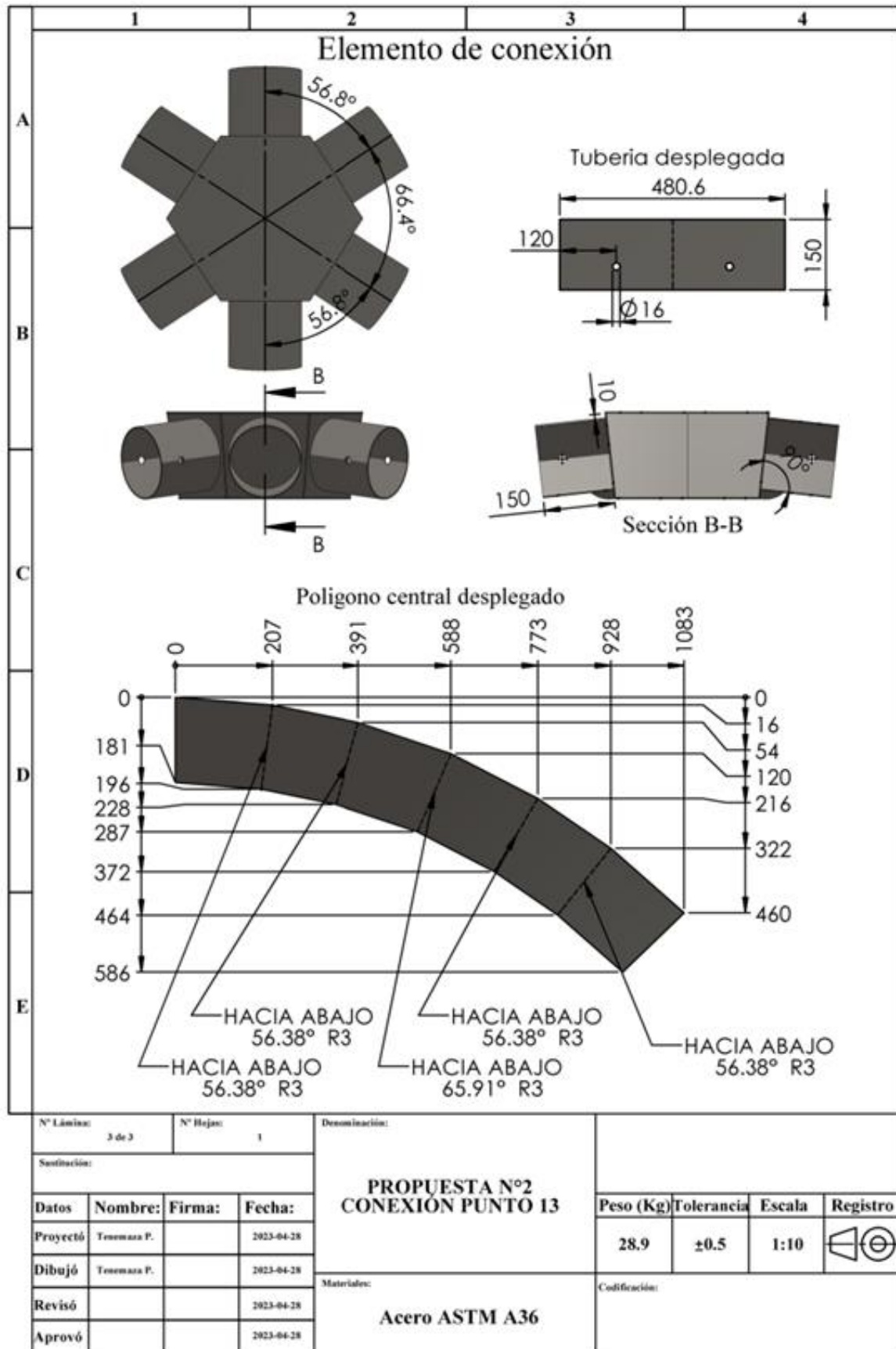


Ilustración 46 Anexo 3. Detalle estructural de la conexión tipo para propuesta hexagonal, unión central.
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

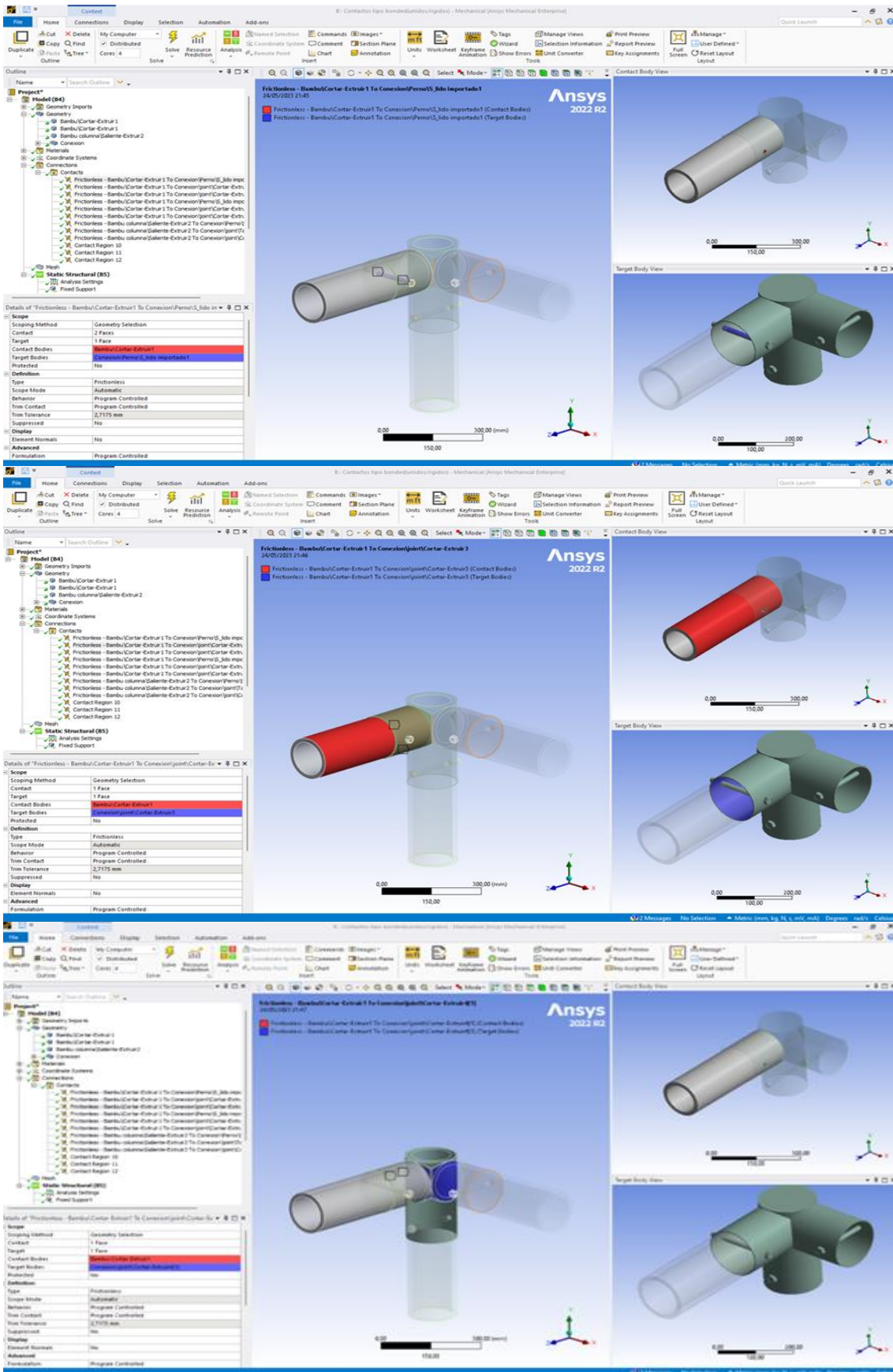


Ilustración 47 Anexo 4. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, lado corto nodo N° 12 propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

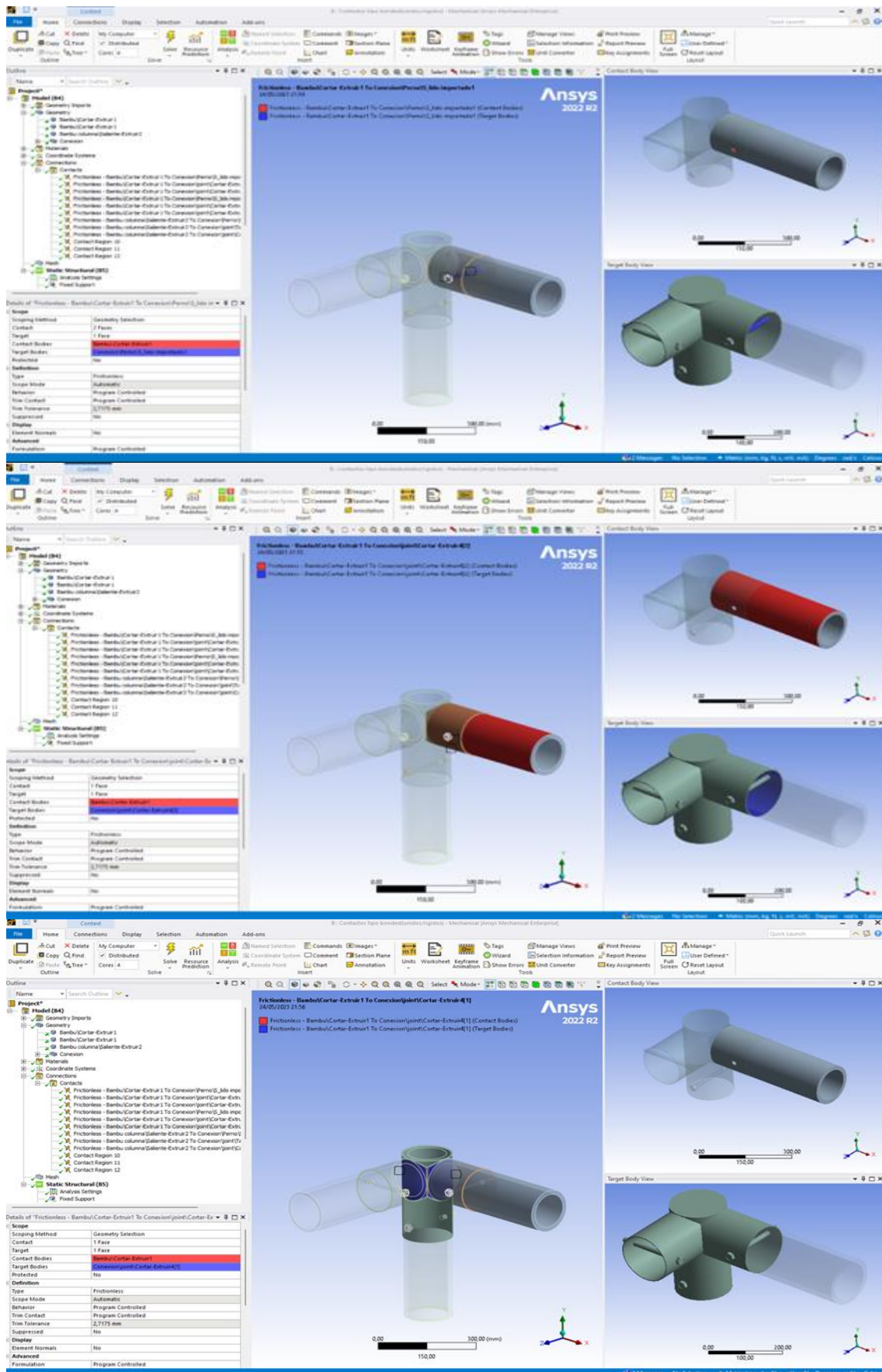


Ilustración 48 Anexo 5. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, lado largo nodo N° 12 propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

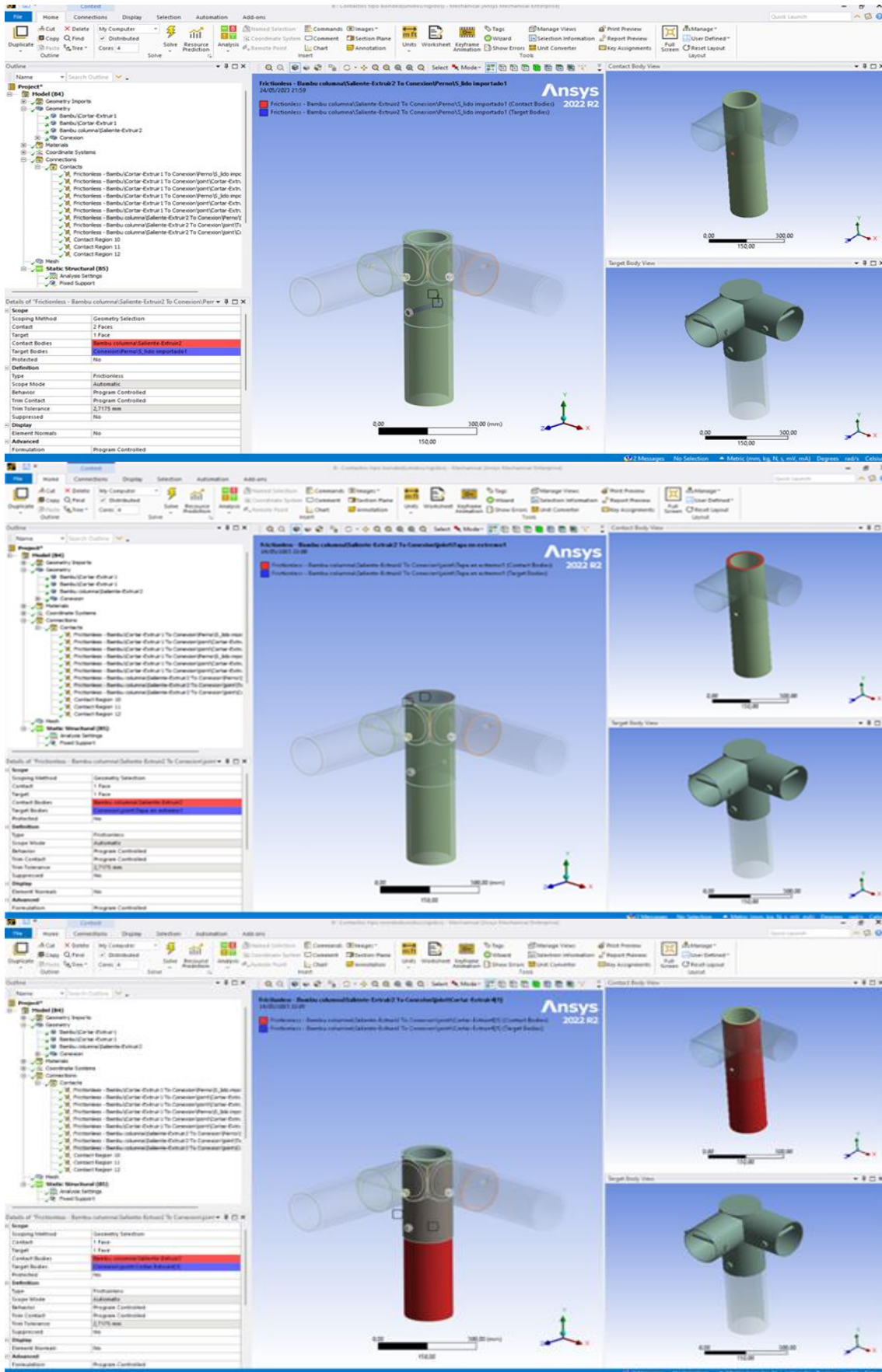


Ilustración 49 Anexo 6. Punto de contacto para elemento columna de bambú con conexión de acero, nodo N° 12 propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

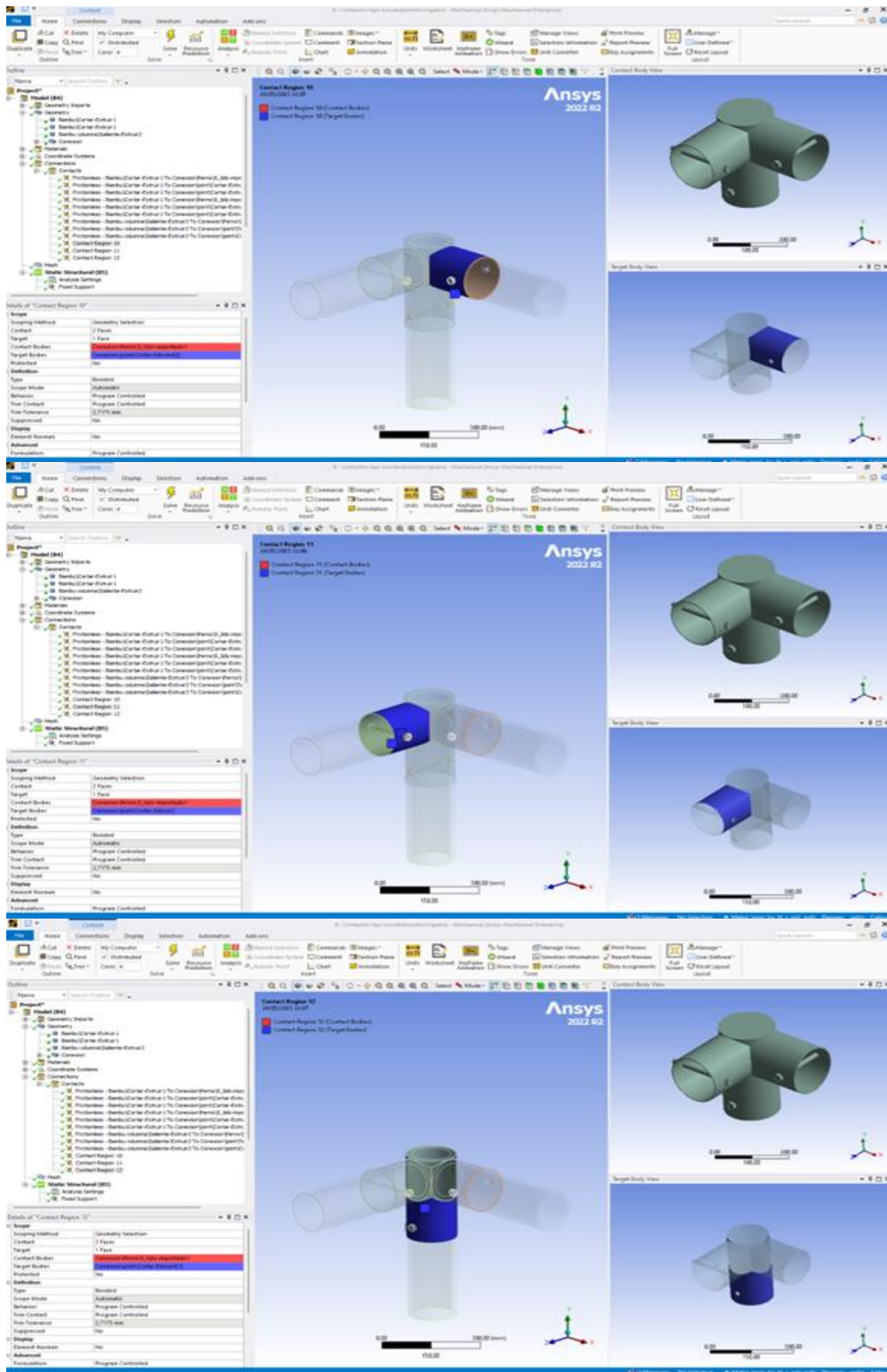
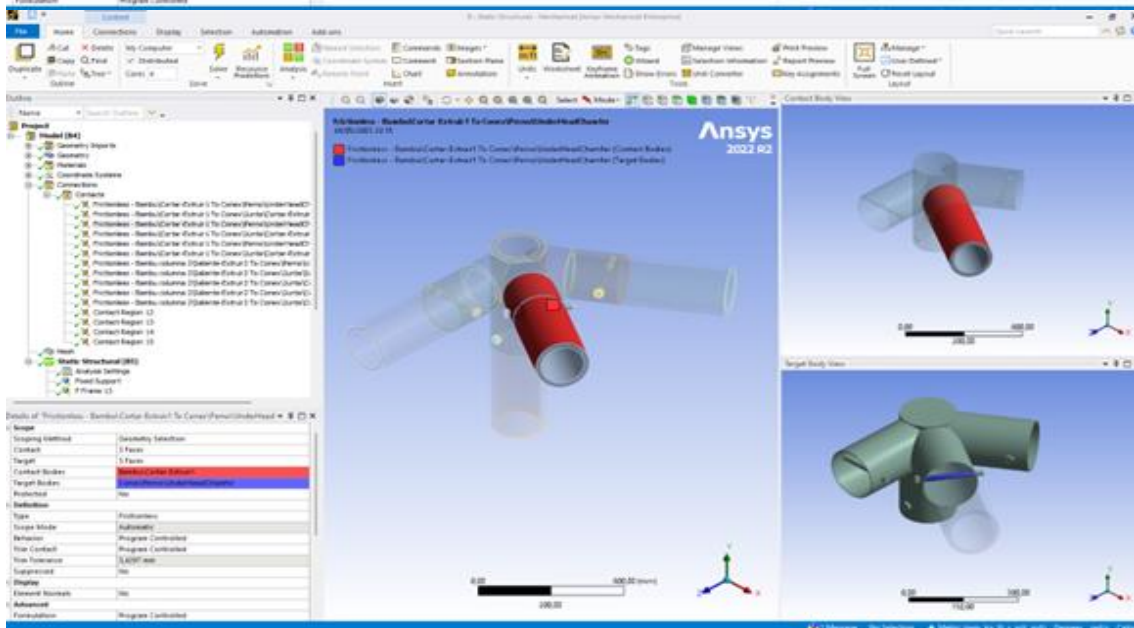
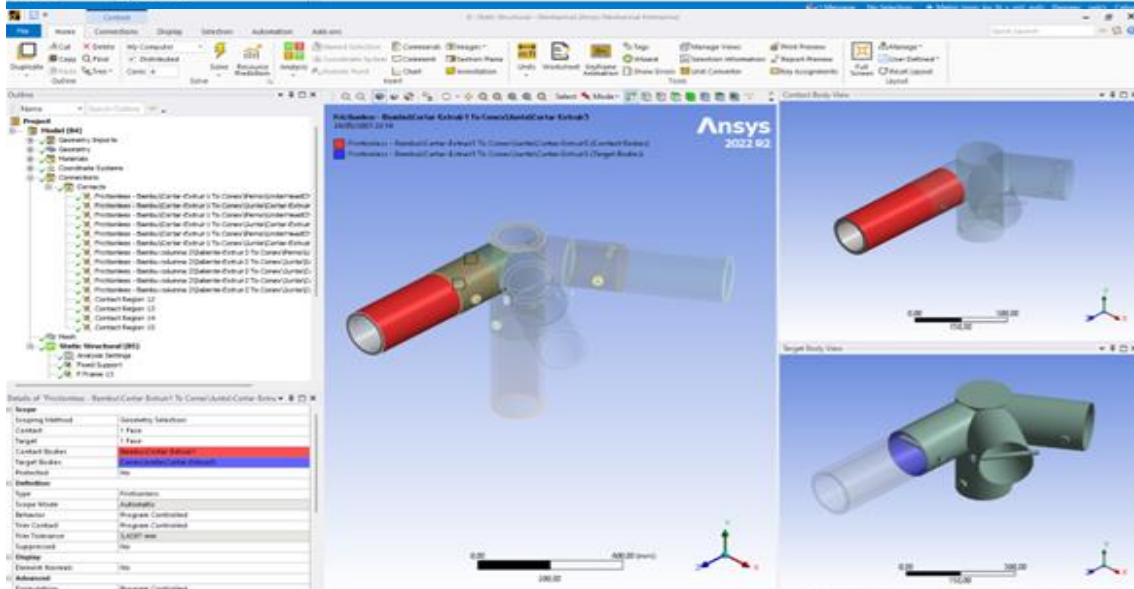
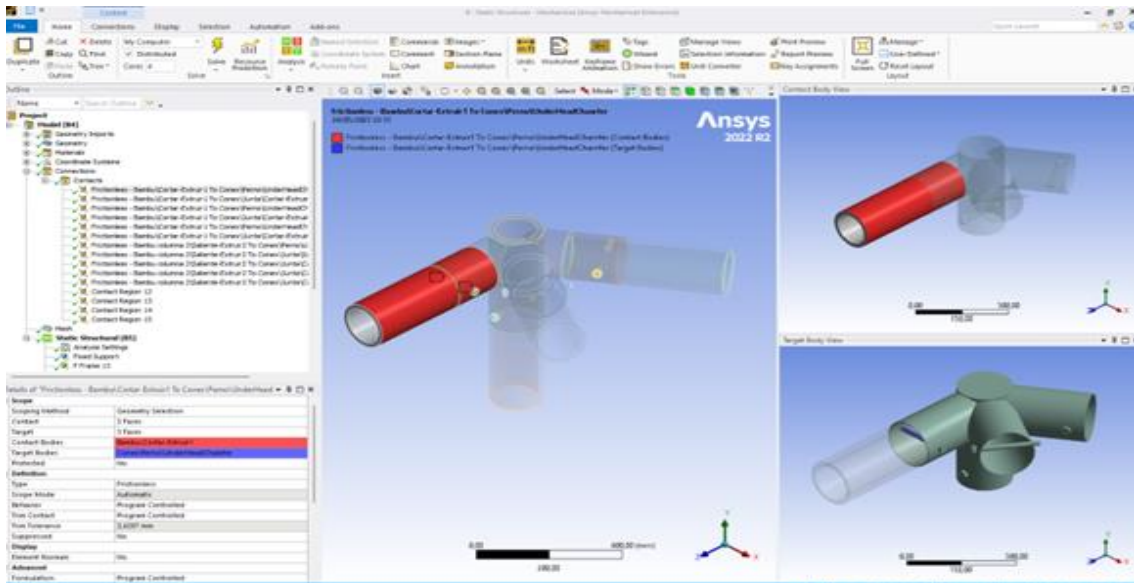


Ilustración 50 Anexo 7. Punto de contacto para conexión de acero, nodo N° 12 propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



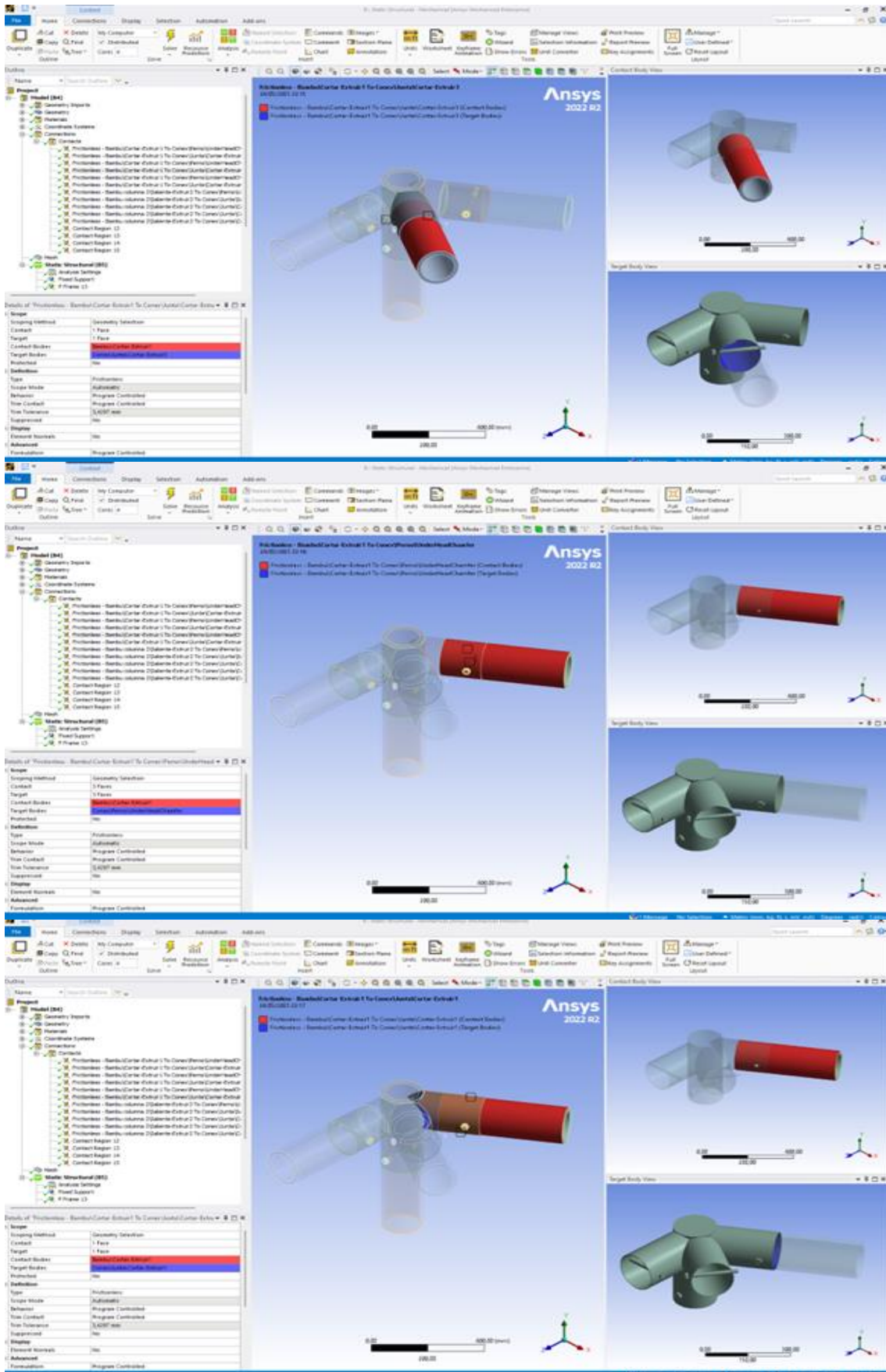
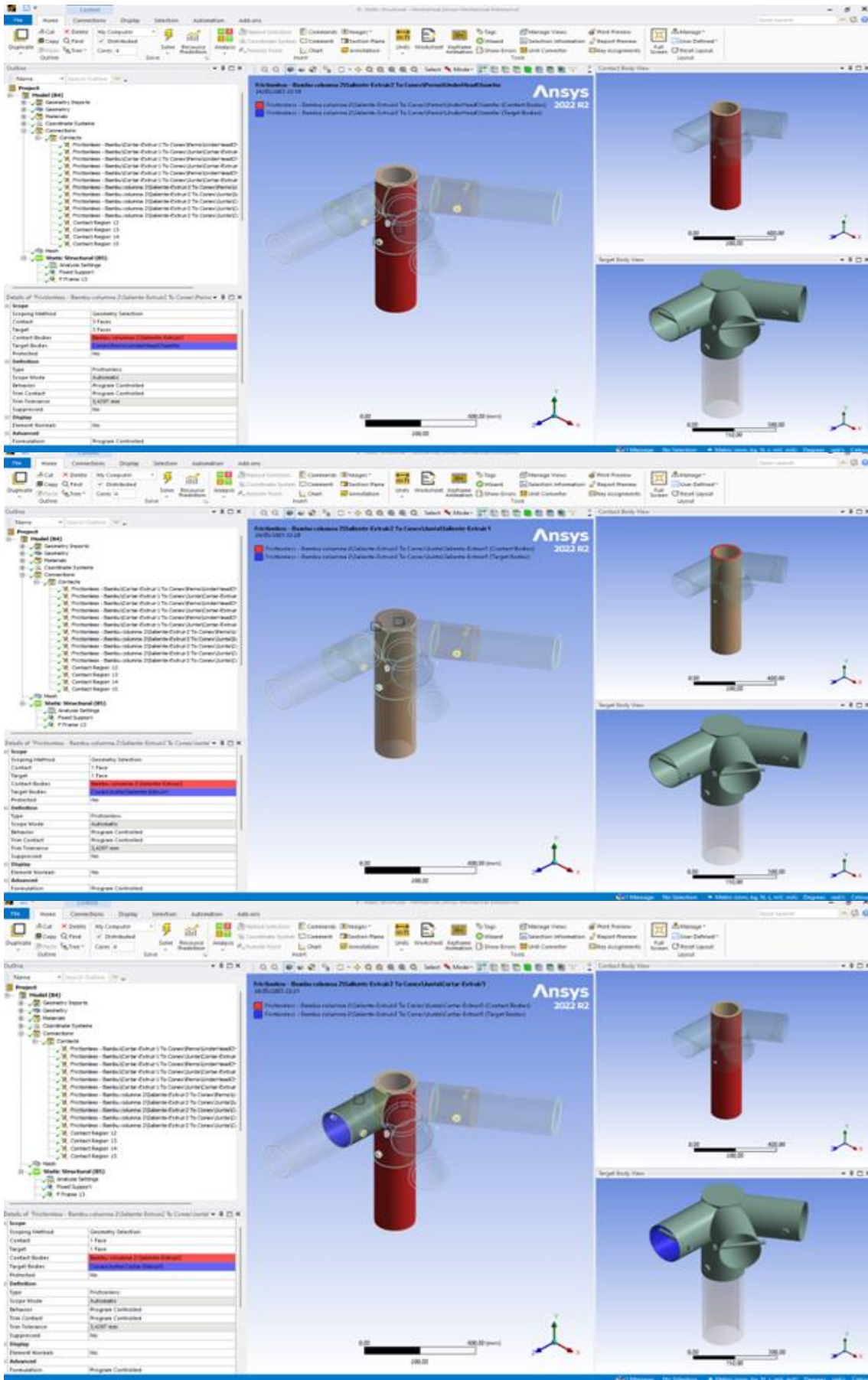


Ilustración 51 Anexo 8. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, nodo N° 4 propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



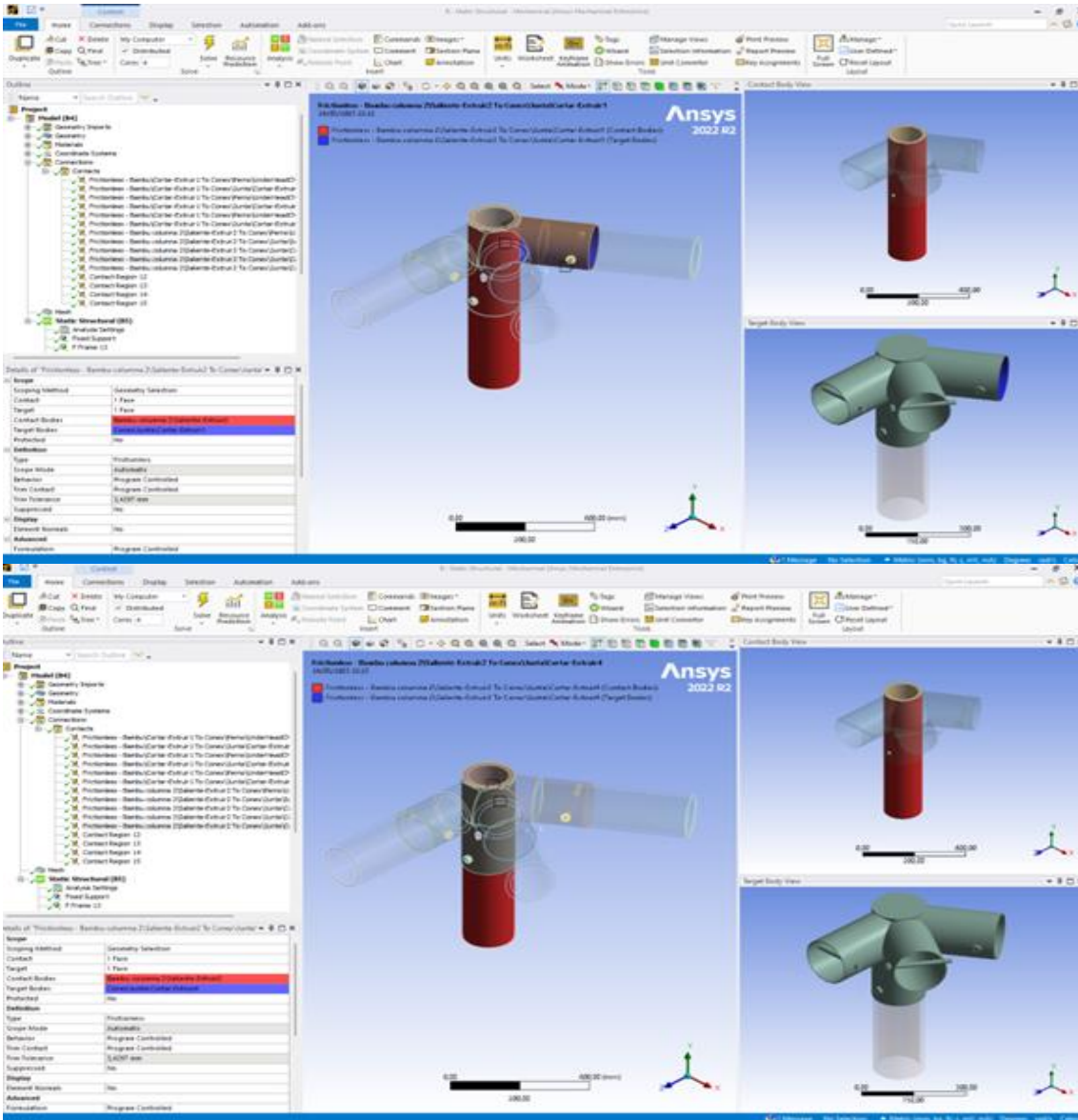
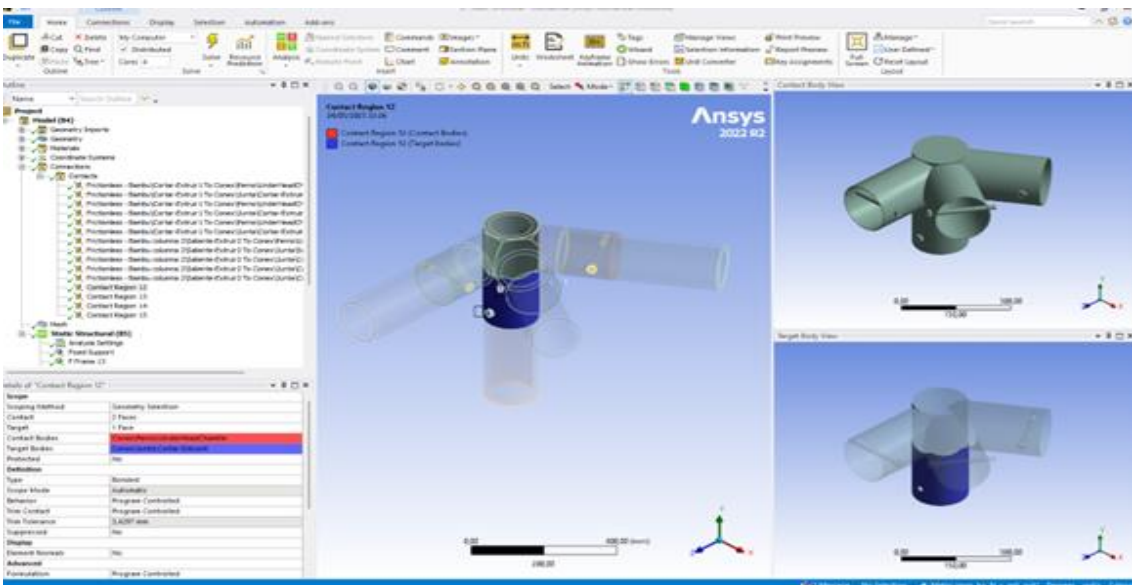


Ilustración 52 Anexo 9. Punto de contacto para elemento columna de bambú con conexión de acero, nodo N° 4 propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



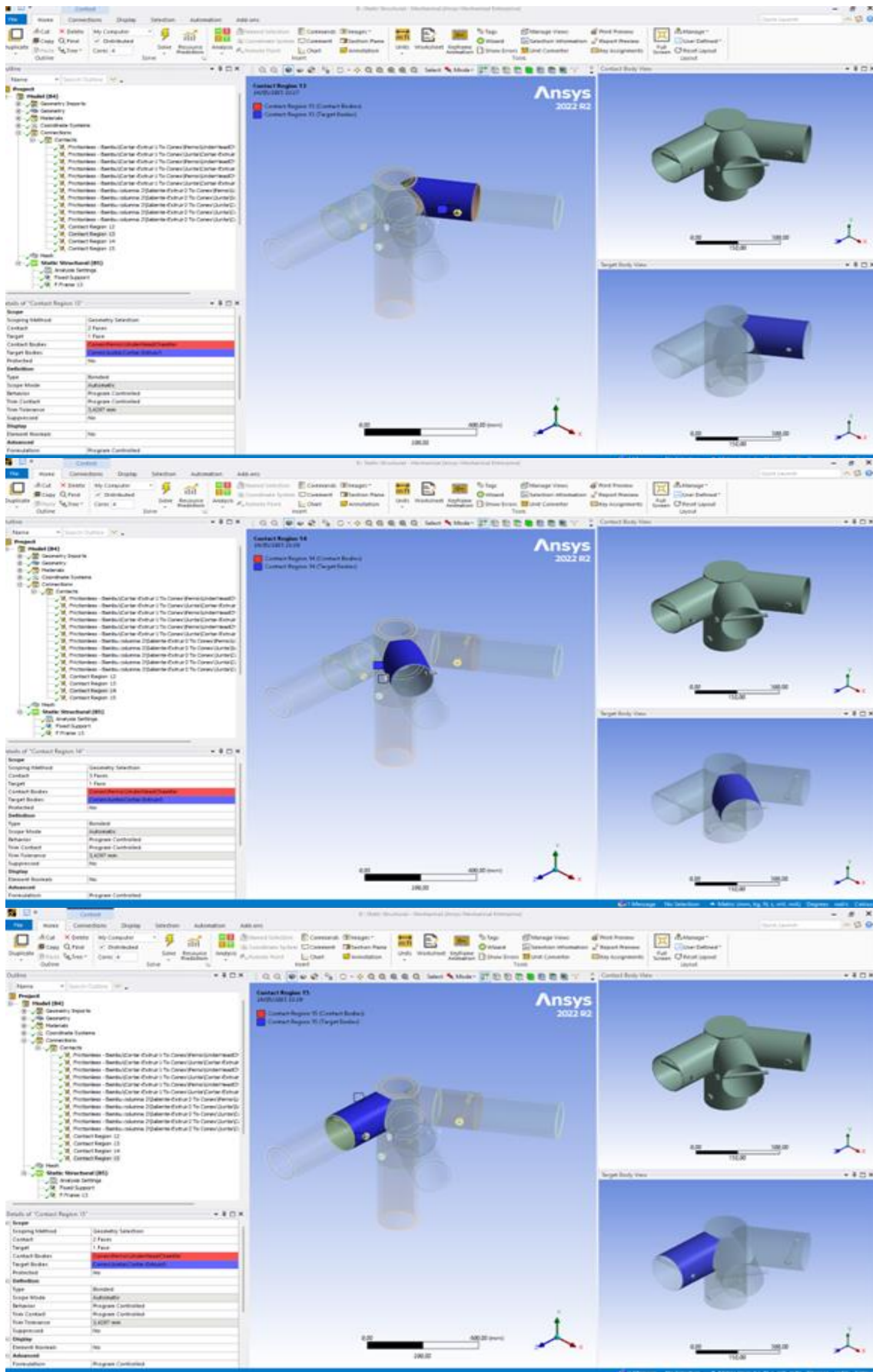
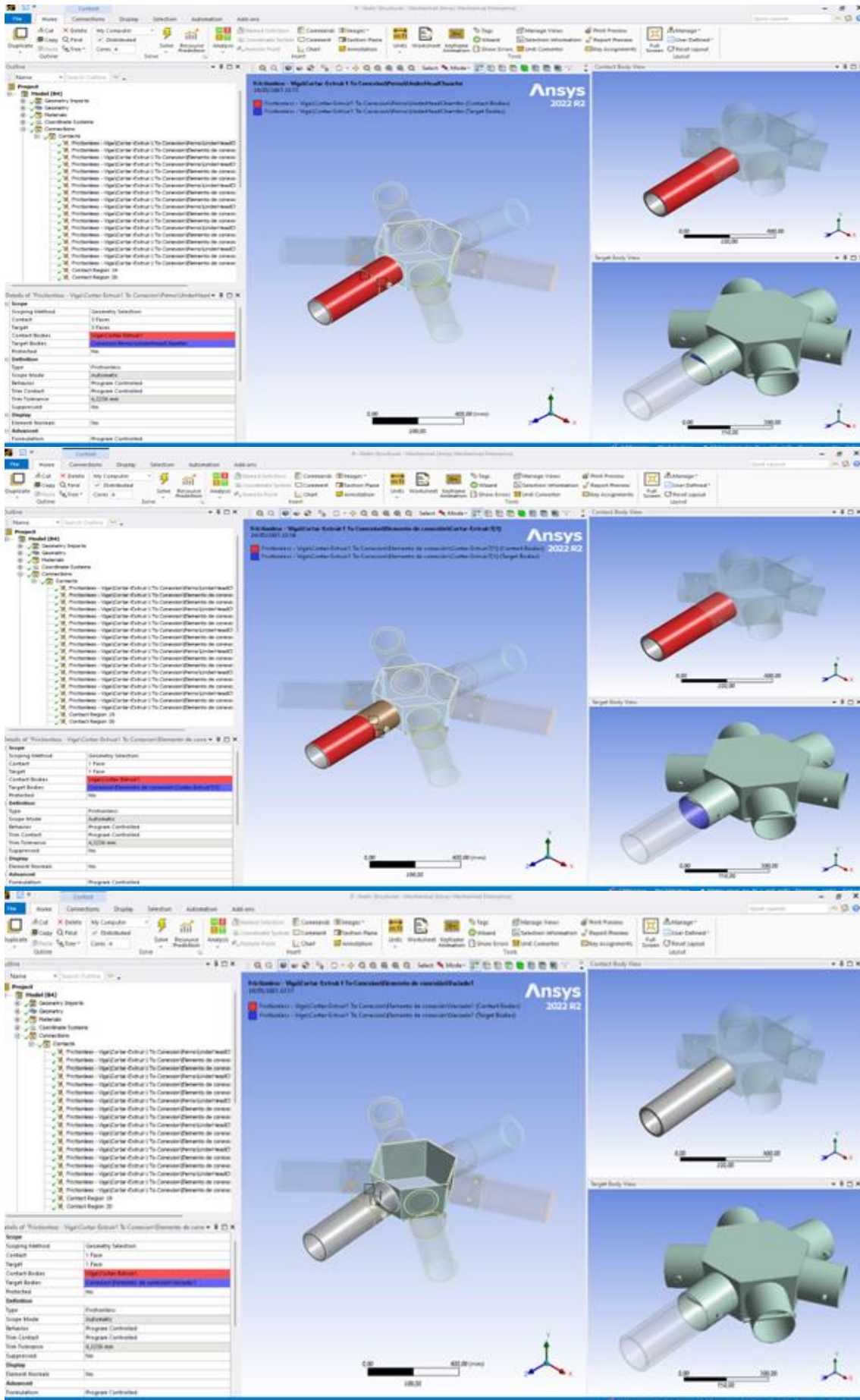
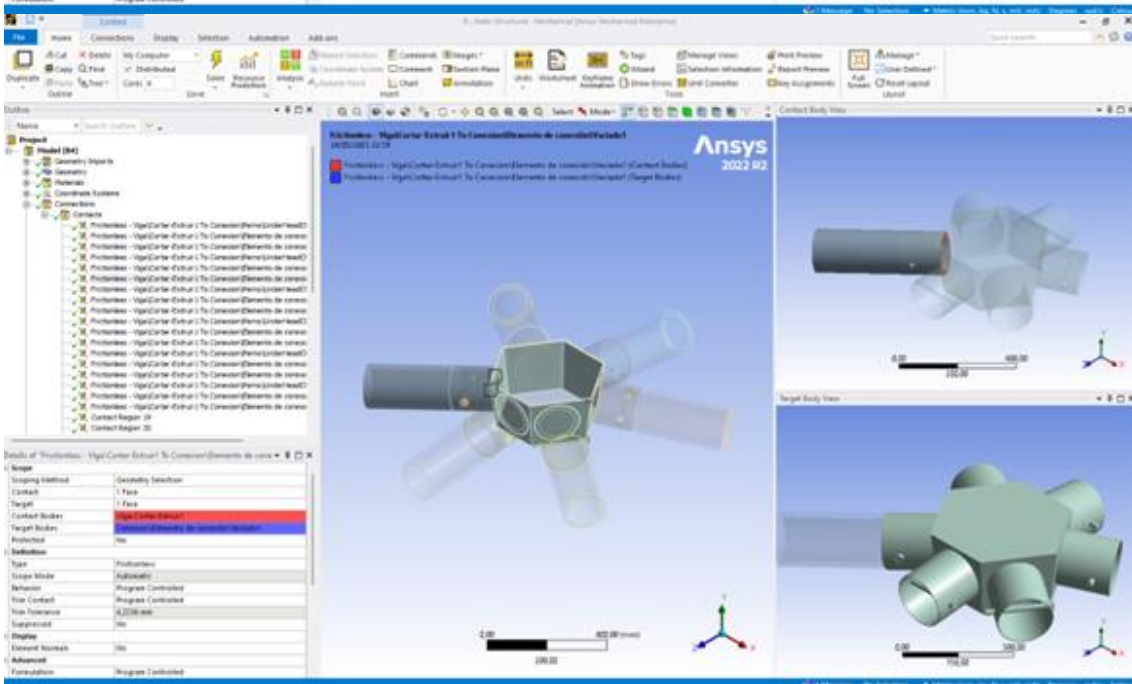
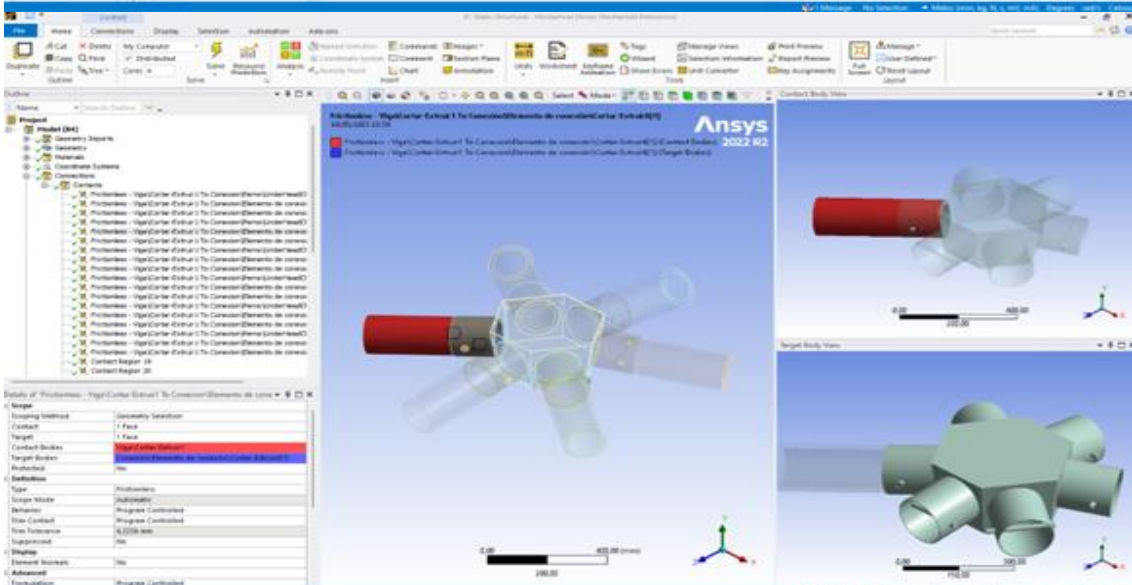
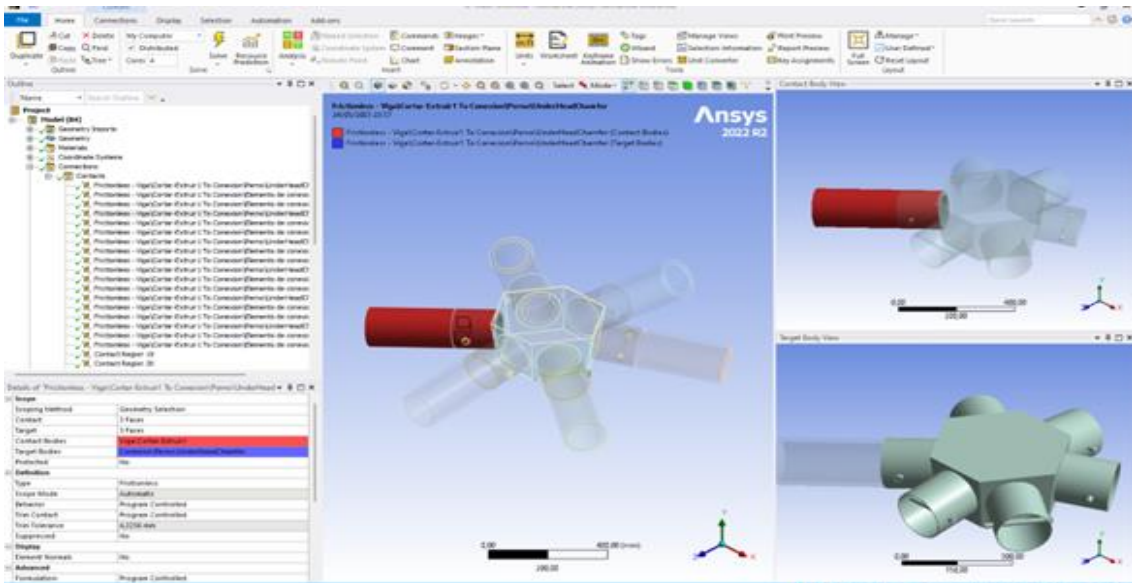
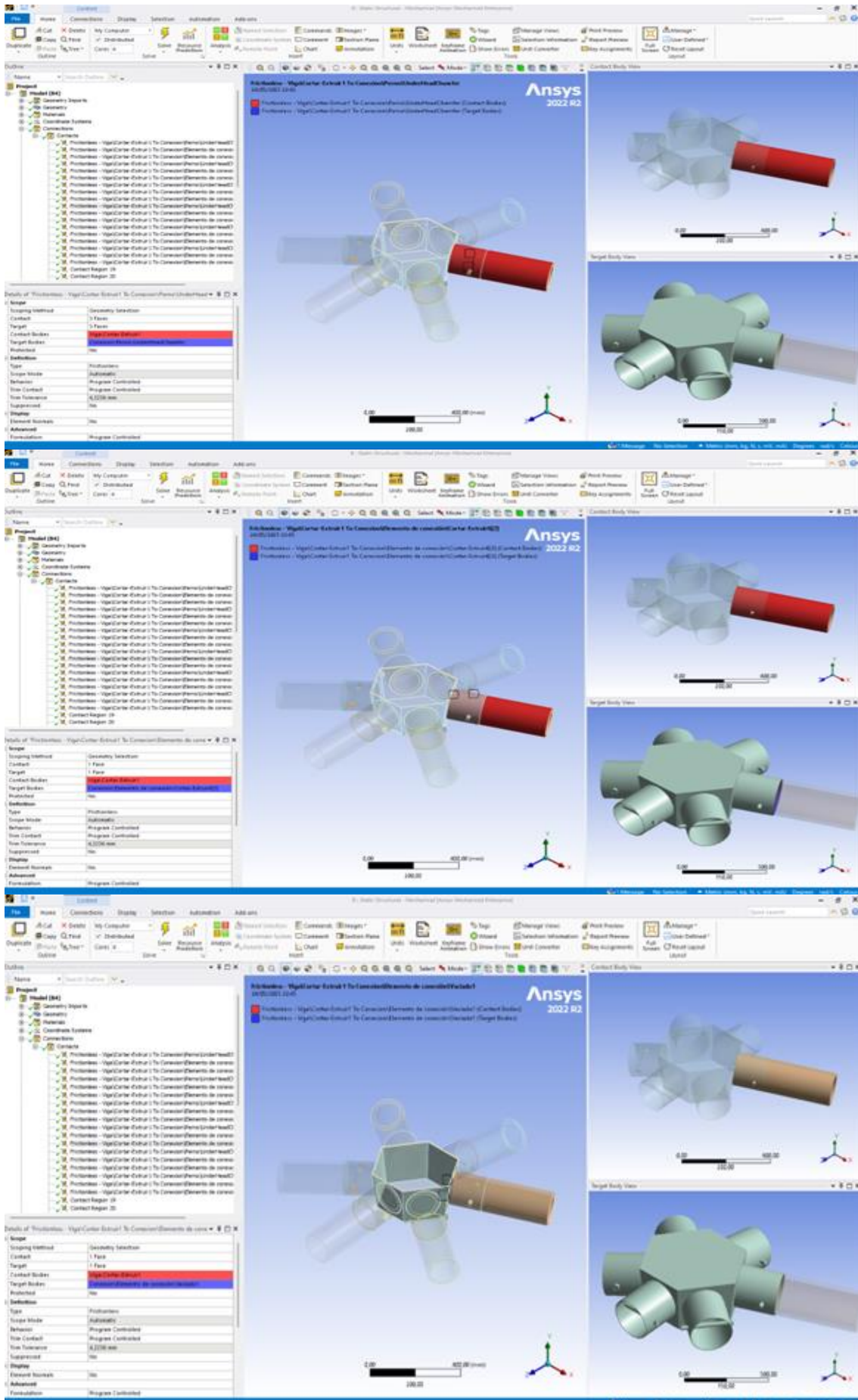
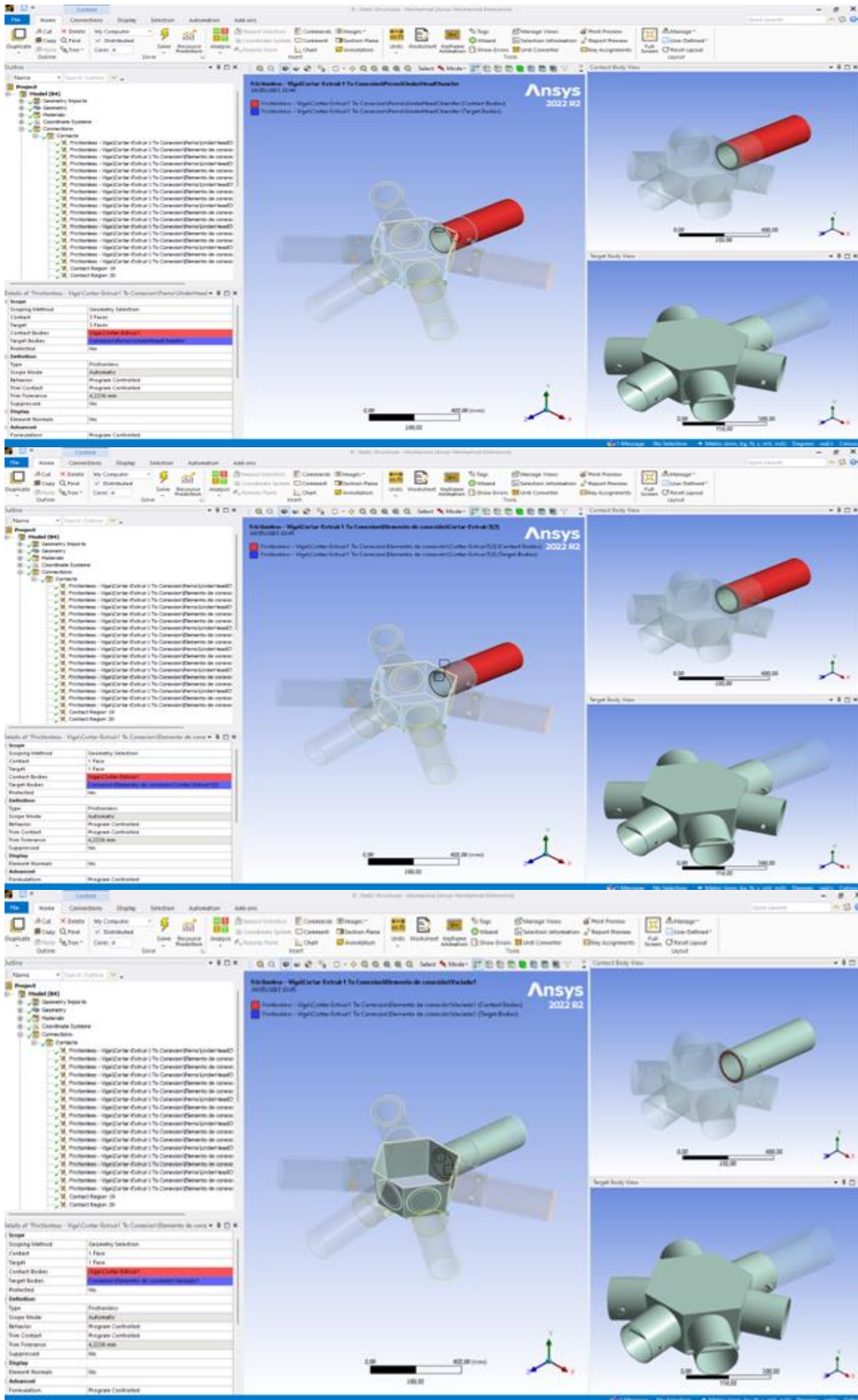


Ilustración 53 Anexo 10. Punto de contacto para conexión de acero, nodo N° 4 propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).









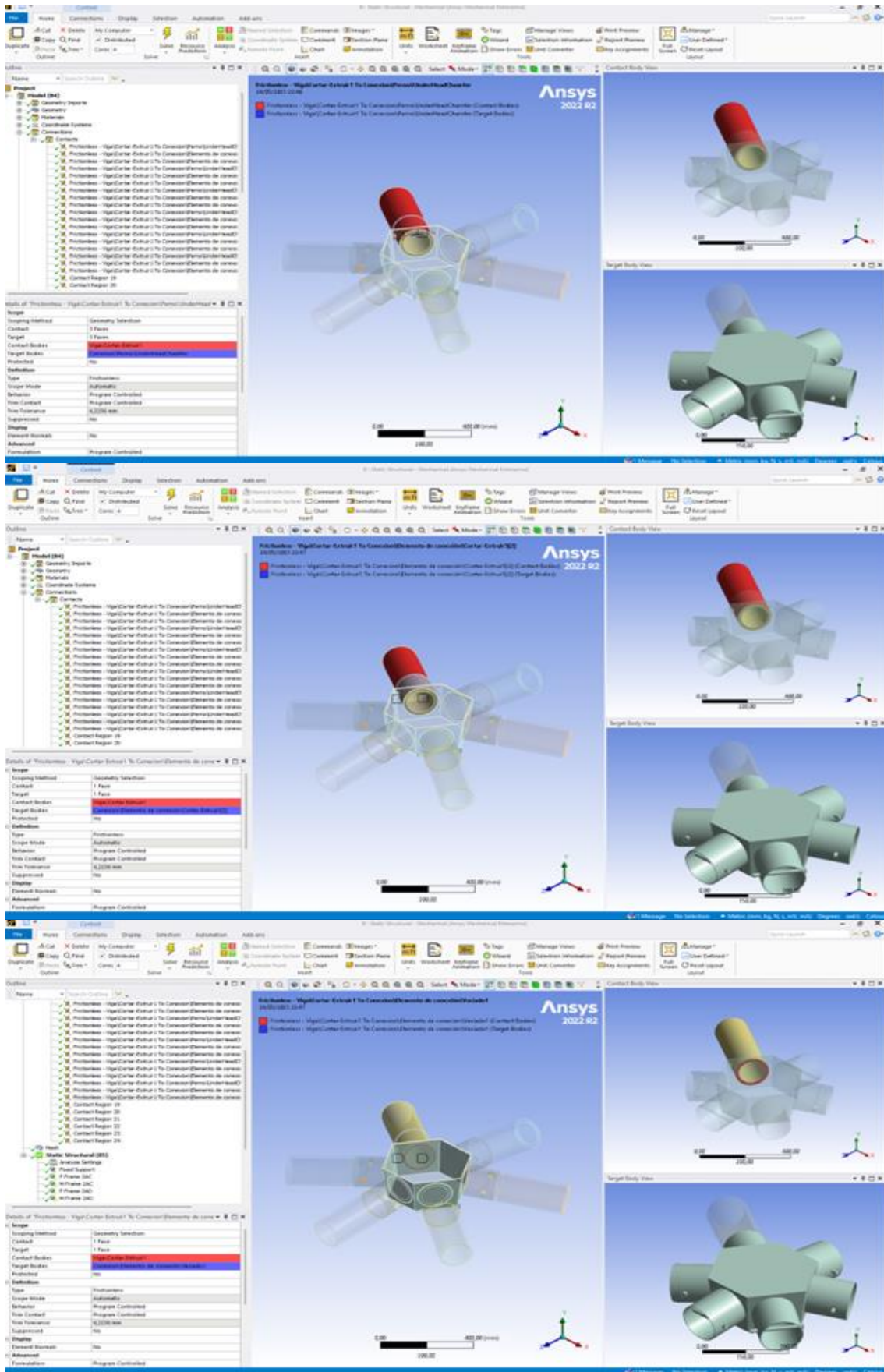
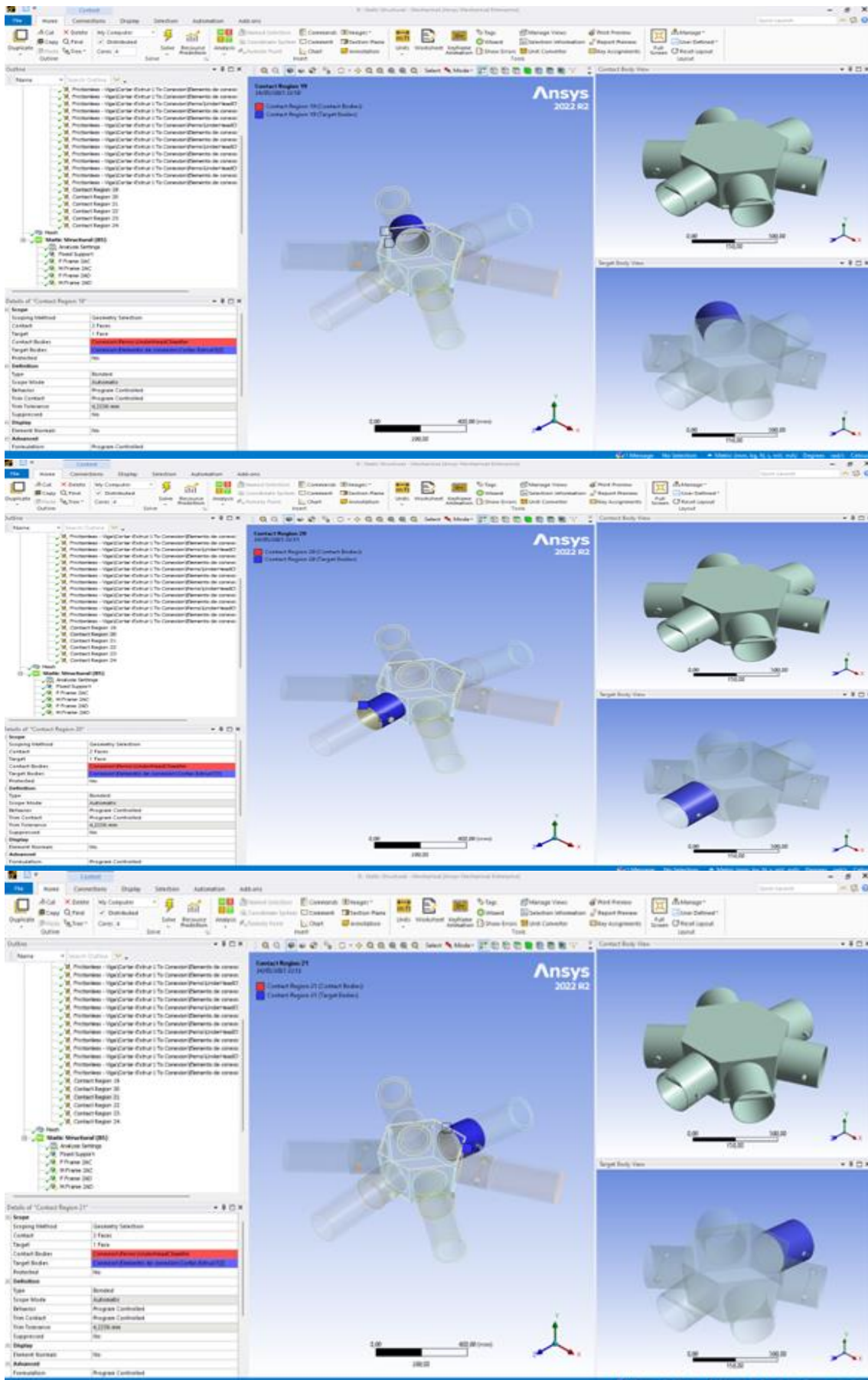


Ilustración 54 Anexo 11. Punto de contacto para elemento viga de bambú con conexión de acero, nodo N° 13 propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



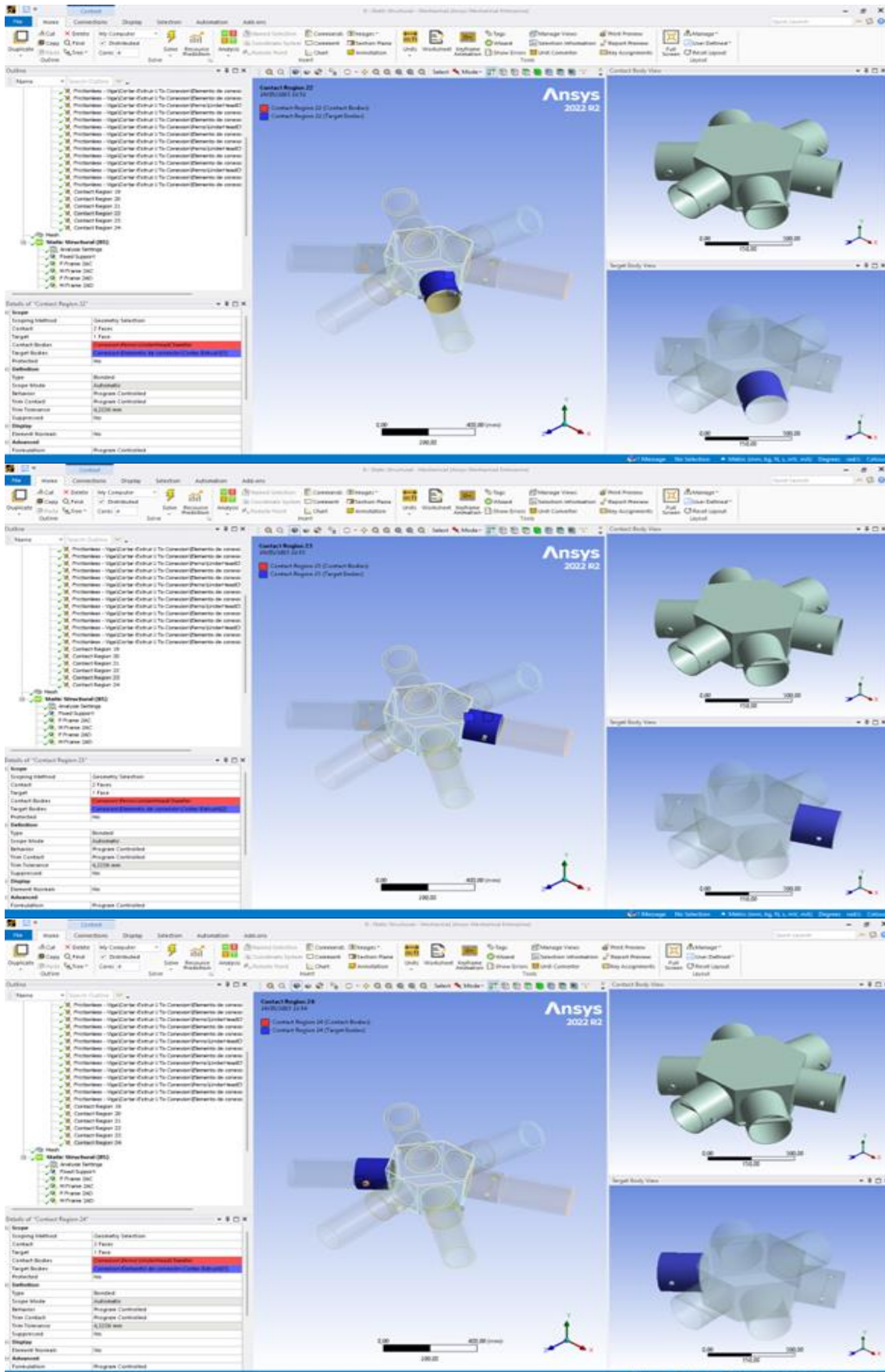


Ilustración 55 Anexo 12. Punto de contacto para conexión de acero, nodo N° 13 propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Anexo 13

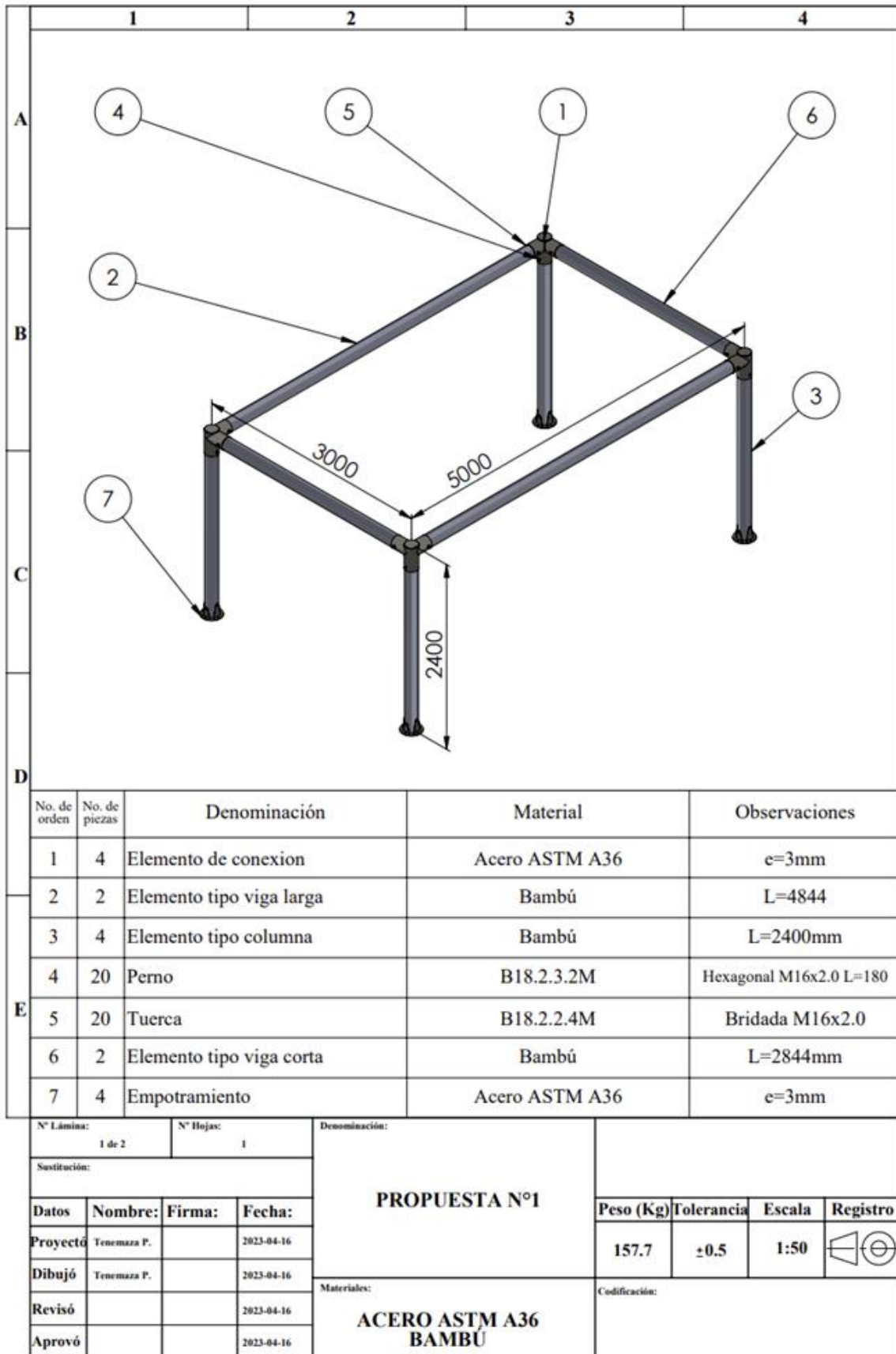


Ilustración 56 Dimensiones de propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Anexo 14

		1	2	3	4			
A								
						B		
							C	
								D
		No. de orden	No. de piezas	Denominación	Material	Observaciones		
		1	2	Elemento de conexión P4	Acero A36	e=3mm		
		2	2	Elemento tipo viga externa larga	Bambú	L=2460mm		
		3	6	Elemento tipo columna	Bambú	L=2300mm		
D			4	42	Perno	B18.2.3.2M	Hexagonal M16x2 L=180mm	
			5	42	Tuerca	B18.2.2.4M	Hexagonal bridada M16x2	
			6	4	Elemento tipo viga externa corta	Bambú	L=2210mm	
			7	6	Empotramiento	Acero A36	e=3mm	
E			8	2	Elemento de conexión P2	Acero A36	e=3mm	
			9	2	Elemento de conexión P6	Acero A36	e=3mm	
			10	1	Elemento de conexión central	Acero A36	e=3mm	
			11	4	Elemento tipo viga interna corta	Bambú	L=2207mm	
			12	2	Elemento tipo viga interna larga	Bambú	L=2429mm	
N° Lámina:		1 de 2		N° Hojas:	1		Denominación:	
Sustitución:						PROPUESTA N°2 Peso (Kg) Tolerancia Escala Registro 298.8 ±0.5 1:50		
Datos	Nombre:	Firma:	Fecha:	Materiales:				Codificación:
Proyectó	Tenemaza P.		2023-04-28					
Dibujó	Tenemaza P.		2023-04-28					
Revisó			2023-04-28					
Aprovo			2023-04-28					
				Según diseño				

Ilustración 57 Dimensiones de propuesta hexagonal
 Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



Ilustración 58 Anexo 15. Sistema desplegable para propuesta rectangular
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



Ilustración 59 Anexo 16. Sistema desplegable para propuesta hexagonal
Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).

Anexo 17

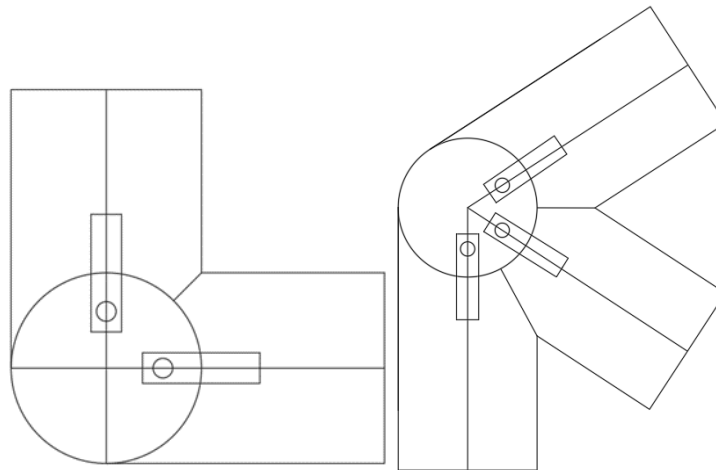
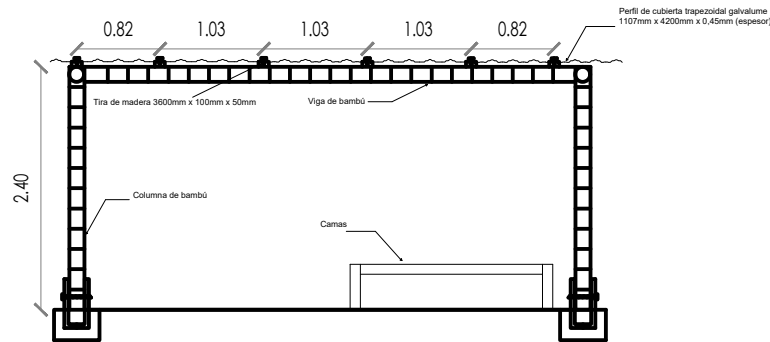
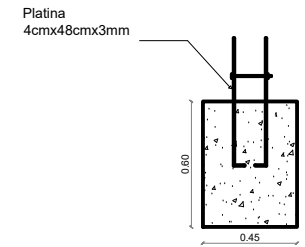
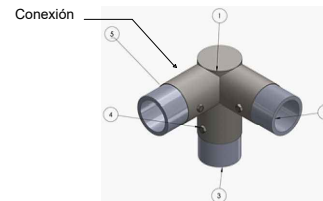
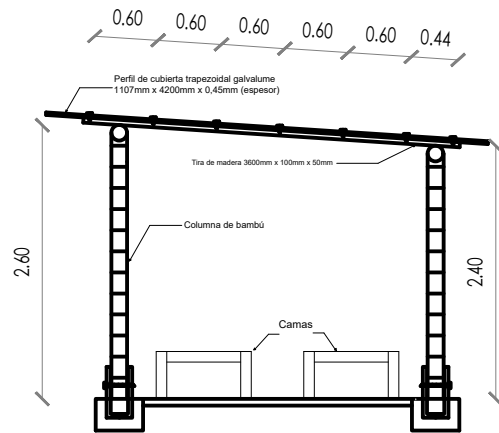
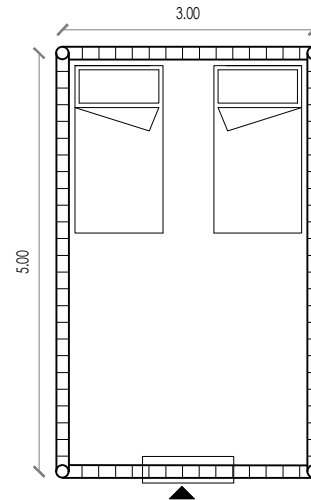


Tabla 26 Resistencia a fractura de placas circulares y rectangulares de las propuestas

Elemento	Material	Resistencia a Fractura (Rc) [MPa]	Esfuerzo Aplicado (Ea) [MPa]	Ea < Rc	Propuesta
Placa Circular	Acero A36	5,55	2,7712	OK resiste	Rectangular
Placa Rectangular	Acero A36	15,18	2,7712	OK resiste	Rectangular
Placa Circular	Acero A36	3,37	2,3785	OK resiste	Hexagonal
Placa Rectangular	Acero A36	15,18	2,3785	OK resiste	Hexagonal

Fuente: (Pablo Tenemaza, 2023).



No. De Piezas	Denominación	Material	Observaciones
4	Conexión	Acero A36	espesor 3mm
2	Elemento tipo viga larga	Bambú	L=4,85 metros
2	Elemento tipo viga corta	Bambú	L=2,86 metros
2	Elemento tipo columna larga	Bambú	L=2,60 metros
2	Elemento tipo columna corta	Bambú	L=2,40 metros
16	Perno	B18.2.3.2M	Hexagonal M16x2, L=180mm
16	Tuerca	B18.2.2.4M	Hexagonal M16x2
8	Platina	Acero A36	4cmx48cmx3mm
4	Dado de apoyo	Hormigón Simple	30cmx45cmx30cm
6	Tiras para apoyo	Madera	3,6mx0,10mx0,05m
6	Cubierta trapezoidal dalvalume	Aluzinc	1107mmx4200mmx0,45mm