

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“DISEÑO DE ESTRUCTURA PARA EL SOPORTE DE UN SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO Y EÓLICO CON BAMBÚ”

Presentado por:

DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima – Perú

2017

DEDICATORIA

A la mujer de mi vida, mi madre Ignacia María Llanos Castillo por su valentía, coraje y apoyo incondicional; te amo mamita.

A mi padre, Antonio Federico Vidal Grimaldo por una educación en valores, por su fortaleza y apoyo incondicional; te extrañaré por siempre viejo, mi querido viejo.

A mi educador por excelencia, mi Tourette; por la lucha día a día y por recordarme que no puedo dejar vencerme ante nada.

A mi hija Camila, porque nunca se le borre esa linda sonrisa.

En memoria de mis abuelos Emiliano Llanos J., Ruperta Castillo I., Emiliano Vidal T., Marialuisa Grimaldo R.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el regalo de la vida.

Al ingeniero Carlos Bravo Aguilar, por su amistad, comprensión, apoyo y confianza depositada en mí para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A toda mi familia, por su comprensión y apoyo incondicional.

A todos amigos, por su apoyo, ánimos y buenos deseos para el término de este proyecto.

RESUMEN

El Bambú es un recurso natural renovable, con excelentes propiedades físico-mecánicas las cuales son aprovechadas para la construcción de estructuras sismorresistentes. En la actualidad, se utilizan materiales convencionales para la construcción de obras civiles e infraestructuras dependiendo de la complejidad del proyecto. En este trabajo de investigación, se plantea el uso del Bambú como material estructural en el diseño de estructuras de soporte para un sistema solar fotovoltaico y eólico. Además, se darán a conocer 5 prototipos de estructuras los cuales fueron diseñadas para soportar cargas de servicio (paneles solares, aerogenerador, viento, etc.) aplicando el método de los esfuerzos admisibles tal y como se explica en la norma E.100 Bambú, que trata de comparar estos valores admisibles propios del material con las cargas que se le aplicaron a nuestras estructuras. Los elementos que componen dichos prototipos se diseñaron bajo fuerza axial, momento flexionante y fuerza cortante. En ninguno de los casos se produjo falla, es decir que los esfuerzos admisibles del material superaron a los esfuerzos producidos en cada elemento producto de aplicarle cargas a la estructura.

ABSTRAC

Bamboo is a renewable natural resource, with excellent physical-mechanical properties which are used for the construction of resistant earthquakes structures. At present, conventional materials are used for the construction of civil works and infrastructures depending on the complexity of the project. In this research work, the use of Bamboo as a structural material in the design of support structures for a photovoltaic and wind solar system is considered. In addition, 5 prototypes of structures which were designed to support service loads (solar panels, wind turbine, wind, etc.) will be announced, applying the method of admissible stresses as explained in the E.100 Bamboo standard. That tries to compare these admissible values of the material with the loads that were applied to our structures. The elements that make up these prototypes were designed under axial force, bending moment and shear force. In none of the cases did failure occur, that is to say that the admissible stresses of the material surpassed the efforts produced in each element product of applying loads to the structure.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Energía solar.....	2
2.1.1. Sistemas solares fotovoltaicos aislados.....	3
2.1.1.1 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.....	4
2.2. La energía eólica.....	5
2.2.1. Aerogenerados.....	5
2.2.1.1 Tipos de turbinas eólicos.....	5
2.2.1.2 Clasificación según el número de palas.....	6
2.2.1.3 Componentes importantes de un aerogenerador.....	7
2.3. Material de construcción.....	8
2.3.1. Bambú.....	8
2.3.2. Corte y almacenamiento.....	10
2.3.3. Comparativa frente a otros materiales.....	10
2.3.4. Aplicaciones del Bambú.....	11
2.3.5. Especies más utilizadas.....	12
2.3.6. Propiedades físico-mecánicas.....	12
2.3.6.1 Peso específico.....	12
2.3.6.2 Comprensión.....	12
2.3.6.3 Tracción.....	12
2.3.6.4 Módulo de elasticidad.....	13
2.3.6.5 Cortante.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Ubicación de la zona del proyecto.....	14
3.2. Materiales.....	15
3.3. Metodología.....	17
3.3.1. Identificación de prototipos y sistemas renovables.....	17
3.3.2. Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador.....	18

3.3.3.	Caracterización del material	19
3.3.3.1	Características técnicas del bambú estructural según Norma E.100.....	19
3.3.3.2	Corte y uniones del bambú según Norma E.100.....	20
3.3.3.3	Uniones entre piezas de bambú según Norma E.100.....	22
3.3.4.	Características técnicas de los equipos renovables.....	27
3.3.5.	Estimación de sobrecargas de servicio y cargas de viento según la Norma E.020.....	30
3.3.5.1.	Estimación de cargas aplicadas al bambú.....	30
3.3.5.2.	Carga muerta.....	31
3.3.5.3.	Carga viva.....	31
3.3.5.4.	Cargas debidas al viento.....	31
3.3.5.5.	Distribución de cargas.....	32
3.3.5.6	Estabilidad.....	33
3.3.6.	Método de análisis.....	33
3.3.6.1.	Método de diseño.....	34
3.3.6.2.	Esfuerzos admisibles.....	34
3.3.6.3.	Módulo de elasticidad.....	34
3.3.6.4.	Diseño de elementos solicitados por fuerza axial según Norma E.100 Bambú.....	35
3.3.6.5	Diseño de elementos solicitados por flexión.....	39
3.3.6.6	Diseño de elementos sometidos por a esfuerzo constante.....	40
3.3.7.	Importe de modelos de AutoCAD al Sap2000 versión educativa.....	40
3.3.8.	Diseños en Sap2000 versión educativa.....	41
3.3.9.	Planos.....	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1.	Estructuras de soporte.....	50
4.2.	Combinaciones de cargas que se utilizaron en el diseño de las estructuras de soporte.....	53
4.3.	Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador.....	54
4.4.	Carga admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1).....	54

4.5.	Carga admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1-3).....	57
4.6.	Carga admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1-7)	60
4.7.	Carga admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S2-5)	65
4.8.	Carga admisible de elementos solicitados a fuerza axial (E1)	68
4.9.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a flexión (S1)	72
4.10.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a flexión (S1-3).....	74
4.11.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a flexión (S1-7).....	76
4.12.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a flexión (S2-5).....	78
4.13.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a flexión (E1).....	80
4.14.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S1)	82
4.15.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S1-3)	84
4.16.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S1-7)	86
4.17.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S2-5)	88
4.18.	Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (E1)	90
4.19.	Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador	92
V.	CONCLUSIONES	94
VI.	RECOMENDACIONES	95
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
<i>ANEXO 1</i>	Carga admisible de los elementos solicitados a fuerza axial (S1).....	98
<i>ANEXO 2</i>	Carga admisible de los elementos solicitados a fuerza axial (S1-3)	99
<i>ANEXO 3</i>	Carga admisible de los elementos solicitados a fuerza axial (S1-7)	101
<i>ANEXO 4</i>	Carga admisible de los elementos solicitados a fuerza axial (S2-5)	105
<i>ANEXO 5</i>	Carga admisible de los elementos solicitados a fuerza axial (E1)	107
<i>ANEXO 6</i>	Diseño de elementos solicitados a tensión axial.....	111
<i>ANEXO 7</i>	Diseño de elementos solicitados a compresión axial y clasificación de columnas (corta).....	112
<i>ANEXO 8</i>	Diseño de elementos solicitados a compresión axial y clasificación de columnas (intermedia).....	113
<i>ANEXO 9</i>	Diseño de elementos solicitados a compresión axial y clasificación de columnas (larga).....	114
<i>ANEXO 10</i>	Diseño de elementos solicitados a flexión.....	115

<i>ANEXO 11</i> Diseño de elementos solicitados a corte.....	116
<i>ANEXO 12</i> Velocidad de diseño y carga exterior de viento.....	117
<i>ANEXO 13</i> Variación de fuerza axial y carga admisible para diferente diámetro deBambú.....	118
<i>ANEXO 14</i> Cálculo de la fuerza producida por impacto del viento al generador.....	119
<i>ANEXO 15</i> Fotos.....	120
<i>ANEXO 16</i> Norma E.100 Bambú.....	121
<i>ANEXO 17</i> Planos.....	179

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Esfuerzos admisibles.....	34
Cuadro 2: Módulo de elasticidad.....	34
Cuadro 3: Coeficientes de longitud efectiva.....	36
Cuadro 4: Clasificación de columna según su esbeltez.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Distribución del bambú a nivel global	9
Figura 2: Evolución y partes del bambú.....	10
Figura 3: Usos del bambú en crudo dependiendo de la madurez a la que se tala	12
Figura 4: Mapa de ubicación del distrito de Lima	14
Figura 5: Mapa de ubicación de la zona del proyecto.....	15
Figura 6: Corte recto	21
Figura 7: Corte a bisel.....	21
Figura 8: Corte boca de pescado.....	21
Figura 9: Corte pico de flauta.....	22
Figura 10: Uniones con tarugos o pernos	22
Figura 11: Unión zunchada	23
Figura 12: Unión amarrada.....	23
Figura 13: Unión con mortero	24
Figura 14: Unión longitudinal co pieza de madera y pernos.....	24
Figura 15: Unión perpendicular con perno y Unión diagonal simple	25
Figura 16: Unión con anclaje interno.....	27
Figura 17: Importe del archivo CAD desde SAP2000.....	41
Figura 18: Elección del archivo a importar.....	41
Figura 19: Restricción conjunta.....	42
Figura 20: Definición del material.....	42
Figura 21: Datos de propiedades del material.....	44
Figura 22: Combinación de carga.....	45
Figura 23: Ejecución del software.....	46
Figura 24: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para un módulo solar (S1).....	46
Figura 25: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para un módulo solar (S1-3).....	47
Figura 26: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para un módulo solar (S1-7).....	47

Figura 27: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para un módulo solar (S2-5)	48
Figura 28: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para un módulo solar (E1)	48
Figura 29: Plano de las estructuras de soporte.....	49
Figura 30: Plano de detalles de uniones de las estructuras de soporte.	49
Figura 31: Estructura de soporte para un módulo solar (S1)	50
Figura 32: Estructura de soporte para un módulo solar (S1-3).....	51
Figura 33: Estructura de soporte para un módulo solar (S1-7).....	51
Figura 34: Estructura de soporte para un módulo solar (S2-5).....	52
Figura 35: Estructura de soporte para un módulo solar (E1).....	52

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Géneros y características del bambú	12
Tabla 2: : Datos meteorológicos (Resumen) de velocidades de viento de julio de 2016 a mayo de 2017	15
Tabla 3: Datos de Insolación incidente promedio mensual (UNALM) en una superficie horizontal (kwh/m ² /día).....	15
Tabla 4: Ángulo de inclinación para el mes desfavorable.....	16
Tabla 5: Peso específico de la guadua.....	16
Tabla 6: Diámetro y espesor promedio	17
Tabla 7: Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador	18
Tabla 8: Características del material	19
Tabla 8: Características del panel fotovoltaico.....	27
Tabla 9: Características de la batería	28
Tabla 10: Características del regulador	28
Tabla 11: Potencia nominal	29
Tabla 12: Especificaciones del regulador.....	29
Tabla 13: Características eléctricas.....	29
Tabla 14: Dimensiones físicas	30
Tabla 15: Velocidad de viento.....	30
Tabla 16: Combinación de cargas (Resultante 1) para la estructura de soporte del sistema solar fotovoltaico.....	53
Tabla 17: Combinación de cargas (Resultante 2) para la estructura de soporte del sistema solar fotovoltaico.....	53
Tabla 18: Combinación de cargas (Resultante 1) para la estructura de soporte del aerogenerador...53	
Tabla 19: Combinación de cargas (Resultante 2) para la estructura de soporte del aerogenerador...54	
Tabla 20: Velocidad de viento en el mes crítico expresado como fuerza	54
Tabla 21: Resumen de la carga aplicada a la estructura S1, carga admisible del material y clasificación de columnas según λ	56

Tabla 22: Resumen de la carga aplicada a la estructura S1-3, carga admisible del material y clasificacion de columnas según λ	58
Tabla 23: Resumen de la carga aplicada a la estructura S1-7, carga admisible del material y clasificacion de columnas según λ	61
Tabla 24: Resumen de la carga aplicada a la estructura S2-5, carga admisible del material y clasificacion de columnas según λ	66
Tabla 25: Resumen de la carga aplicada a la estructura E1, carga admisible del material y clasificacion de columnas según λ	69
Tabla 26: Momentos actuantes en la estructura S1 y esfuerzo admisible del material.....	73
Tabla 27: Momentos actuantes en la estructura S1-3 y esfuerzo admisible del material	75
Tabla 28: Momentos actuantes en la estructura S1-7 y esfuerzo admisible del material	77
Tabla 29: Momentos actuantes en la estructura S2-5 y esfuerzo admisible del material	79
Tabla 30: Momentos actuantes en la estructura E1 y esfuerzo admisible del material	81
Tabla 31: Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S1).....	83
Tabla 32: Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S1-3).....	85
Tabla 33: Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S1-7).....	87
Tabla 34: Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (S2-5).....	89
Tabla 35: Esfuerzo admisible de elementos solicitados a corte (E1).....	91
Tabla 36: Velocidad de viento expresado como fuerza cuando esta en funcionamiento el aerogenerador.....	92
Tabla 37: Fuerza producida por impacto del viento.....	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Velocidad de diseño.....	32
Ecuación 2: Carga exterior de viento.....	32
Ecuación 3: Esfuerzo a tensión.....	35
Ecuación 4: Longitud efectiva.....	36
Ecuación 5: Esbeltez.....	36
Ecuación 6: Esbeltez límite.....	37
Ecuación 7: Carga admisible para columnas cortas.....	38
Ecuación 8: Carga admisible para columnas intermedias.....	38
Ecuación 9: Carga admisible para columnas largas.....	38
Ecuación 10: Esfuerzo a flexión actuante.....	39
Ecuación 11: Módulo de sección.....	39
Ecuación 12: Esfuerzo cortante.....	40

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1: Variación Fuerza -Velocidad	93

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se usan distintos recursos naturales para la producción de energía eléctrica. Algunas de estas energías renovables son: solar, biomasa, eólica, hidráulica, maremotriz, entre otras. Dependiendo del tamaño de la instalación, las obras civiles e infraestructura tendrán distintos tamaños. Para el caso de sistemas de baja potencia y aislados, el tipo de estructura utilizado suele ser de fierro, aluminio y madera.

Tanto un sistema solar fotovoltaico como un aerogenerador necesitan de un soporte estructural con capacidad de soportar la carga neta del equipo y de los accesorios de la instalación.

Hoy en día no se cuenta con un ordenamiento o normatividad que regule el diseño de estructuras con Bambú que soporten un sistema solar fotovoltaico y un aerogenerador cuya energía alimentará las necesidades de electricidad en una vivienda. Usualmente, estas estructuras y el tipo de material dependerán del peso y las dimensiones de los equipos. Comercialmente suelen ofrecerse soluciones en fierro y aluminio, cuyos costos por material y transporte deben sumarse al proyecto de instalación.

En el presente trabajo de investigación, se presenta el diseño de 5 estructuras de soporte en base a un material local, de bajo costo y que puede utilizar mano de obra local para su construcción e instalación.

Se plantea el uso del Bambú-guadua como material estructural que hace que sea una alternativa novedosa ya que es un material renovable y amigable con el ambiente, que se puede usar directamente sin la necesidad de procesamientos complicado y de ensamblaje sencillo para el diseño de estructuras de soporte de estos sistemas renovables.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Diseñar la estructura de soporte para un sistema solar fotovoltaico modular utilizando el Bambú-guadua como material estructural, para una instalación de pequeña potencia.
- Diseñar la estructura de soporte para un aerogenerador utilizando el Bambú-guadua como material estructural, para una instalación de media potencia.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ENERGÍA SOLAR

En el sol se producen reacciones de fusión nuclear produciendo liberación de energía a través de fotones los que atraviesan la atmósfera hasta llegar a la superficie terrestre en forma de rayos solares y dando como resultado de este proceso energía radiante (Orbegoso *et. al.*, 2010a).

2.1.1. Sistemas solares fotovoltaicos aislados

Es un sistema autónomo que auto suministra energía eléctrica a una instalación a partir de la transformación de la irradiación solar en corriente eléctrica. El responsable de transformar la energía producida por el sol en energía eléctrica es el módulo fotovoltaico. El módulo fotovoltaico produce corriente continua con un voltaje de 12 V, 24 V y 48 V (Voltios) según corresponda la configuración que dicho sistema. El módulo fotovoltaico acumula en las baterías la energía eléctrica producida durante todo el día para poder ser aprovechada en cualquier instante. Debe de medirse la cantidad de energía que se almacenará en la batería para que se garantice el buen funcionamiento del sistema en casos en que sea baja la radiación solar o no se disponga de ella y sea continuo el suministro de energía. Es de gran utilidad, instaurar estos sistemas para abastecer de energía zonas de difícil acceso; ya que por la distancia y la geografía accidentada de nuestro país dificulta el poder conectarse a una red eléctrica (Pareja, M. 2010).

2.1.1.1. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

- Módulos fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico es un panel solar que tiene por característica la de aprovechar el efecto fotoeléctrico que se genera a partir de la incidencia de los rayos solares sobre este sistema; el cual tiene como función transformar esta energía en corriente eléctrica (Pareja, M. 2010).

Según Pareja (2010), dicho módulo está compuesto por células solares, elaboradas con silicio cristalizado las cuales están conectadas entre sí. Entre los principales modelos de células tenemos:

- Monocristalino: Estructura cristalina ordenada.
- Policristalino: Estructuras ordena por regiones.
- Amorfo: Grado alto de desorden y defectos estructurales.

- Regulador de carga

Tiene como función principal evitar sobrecargas eludiendo la generación de gases e impedir sobre descargas en periodos de insuficiente radiación solar el cual eleva la vida de la batería y ratifica el buen funcionamiento del sistema. (Pareja, M. 2010)

- Acumulador o batería

El acumulador es el elemento que proporciona al sistema energía eléctrica independientemente de si sea o no favorable la cantidad de radiación emitida por sol; el cual estabiliza la tensión y brinda altos puntos de intensidad que son aceptables para el consumo doméstico (Pareja, M. 2010).

- Convertidor

El convertidor es el elemento que modifica las características de la corriente eléctrica producida por el módulo fotovoltaico con la finalidad de convertirla en la apropiada para cada necesidad de uso.

Los convertidores o inversores más solicitados para estos sistemas fotovoltaicos son los del tipo cc/ac los cuales transforman la tensión presente en la batería de corriente continua a corriente alterna (Pareja, M. 2010).

2.2. LA ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica o del viento es una expresión de la energía solar, pues el viento es producto del calentamiento desigual de la corteza terrestre ya que las masas de aire al poseer diferentes densidades hacen que descendan las más densas y que suban las más livianas; es decir que el aire caliente sube y el aire frío lo reemplaza inmediatamente generando así corrientes de aire (viento).

2.2.1. Aerogeneradores

El aerogenerador o llamado también turbina eólica, es el elemento responsable de generar energía eléctrica por medio de la transformación de la energía del viento a través de un sistema de palas. Según el funcionamiento existen diferentes tipos, pero los más utilizados y eficientes son los tripala de eje horizontal (ABB, 2012).

2.2.1.1. Tipos de turbinas eólicas

Según el tipo de rotor y disposición de su eje de giro se clasifican en:

- Aerogeneradores de eje vertical

Es una máquina cuyo eje de rotación se encuentra perpendicular a la superficie de la tierra el cual puede albergar elementos como el generador, multiplicador, etc. en dicha superficie. Por la disposición de sus elementos el rotor no requiere de un sistema que lo oriente en sentido opuesto al viento (Gálvez, 2005).

Esta máquina por encontrarse a un nivel muy cercano al suelo percibe velocidades del viento muy bajas haciendo que la eficiencia media de esta no sea la más óptima. Entre los más destacados tenemos los rotores de tipo Darrieus y Savonius (Gálvez, 2005).

- Aerogeneradores de eje horizontal

En la actualidad estos aerogeneradores son los más utilizados teniendo por función la de hacer girar este mecanismo de palas en sentido perpendicular a la velocidad del viento cuyo objetivo es el de convertir el movimiento lineal del viento en energía rotacional el cual se utilizará para el funcionamiento del generador (Gálvez, 2005).

2.2.1.2. Clasificación según el número de palas

- Aerogeneradores tripala

Estos diseños de aerogeneradores son los más utilizados en la actualidad ya que presentan una mejor estabilidad estructural, rotor a barlovento y motores eléctricos en su dispositivo de posición. Este modelo reduce el ruido considerablemente y aumenta la productividad de la energía en comparación a otros (Gálvez, 2005).

- Aerogeneradores bipala

Presentan un gran inconveniente para posicionarse en el mercado ya que sus características opacan las ventajas que este modelo podría presentar. Este diseño presenta una pala menos que el resto de modelos, el cual aminora el peso y reduce el costo. Por otro lado, necesitan de una mayor velocidad de rotación para poder generar una energía que sea equivalente a la de salida (Gálvez, 2005).

- Aerogeneradores monopala

Al igual que el bipala, este aerogenerador presenta una gran disminución en el costo y peso, pero esta ventaja se ve disminuida por los problemas de ruido que se genera al incrementar la velocidad de giro y al incluir esfuerzos cambiantes al eje reducen el tiempo de vida de este sistema (Gálvez, 2005).

2.2.1.3. Componentes importantes de un aerogenerador

- Palas

Son elementos muy importantes ya que serán diseñados de tal forma que al estar en contacto con el viento tendrán que maximizar su capacidad aerodinámica. Es considerable que el extremo de la pala sea diseñado para que garantice una correcta sustentación y una disminución de la potencia aerodinámica.

Las cargas y fuerzas variables que ejerce el viento según como cambie su velocidad con relación a la altura en la que se encuentren serán soportadas por las palas ya que tienen un segmento transversal de tamaño considerable el indispensable para esta función. El material que se suele emplear en las palas son la fibra de vidrio o aluminio, aunque según aumente el tamaño de estas, se usaran las de fibra de carbono (ABB, 2012).

- Rotor

El rotor en un aerogenerador reduce las cargas de fatiga al disminuir el efecto de la torre cuando esta se localiza a barlovento en la mayoría casos (Gálvez, 2005).

- Góndola

La góndola o sistema de orientación y rotación es el responsable de que el rotor se encuentre transversalmente en sentido del flujo de aire. Los sensores son los encargados de supervisar la velocidad y sentido del viento los cuales son localizados en el envoltorio de la góndola (ABB, 2012).

- Transformador

Es el encargado de transformar la corriente de baja tensión a corriente de tensión media puesto que al conectarse a la red de distribución media mengua las pérdidas de energía por distribución. Puede ubicarse en la góndola o en al pie de la torre, siendo la conexión entre góndola y torre de tal forma que el cableado no interfiera con el sistema de orientación y permita el correcto funcionamiento del aerogenerador (ABB, 2012).

- Generador

Es un elemento del aerogenerador donde se transforma el movimiento mecánico en energía eléctrica. Suele ser un generador asíncrono o de inducción (Gálvez, 2005).

2.3 MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

2.3.1. Bambú

El bambú es una gramínea primitiva cuyas características de crecimiento son ideales tanto en selvas con climas cálidos como los bosques tropicales lluviosos. Son plantas que necesitan climas húmedos, zonas oscuras y una temperatura templada para su prospero crecimiento. Solo, en determinadas variedades sí necesitan de temperaturas bajas. Los bambúes que se encuentran a una altitud de 4000 m aproximadamente son los que se utilizan como material estructural (Martínez ,2015).

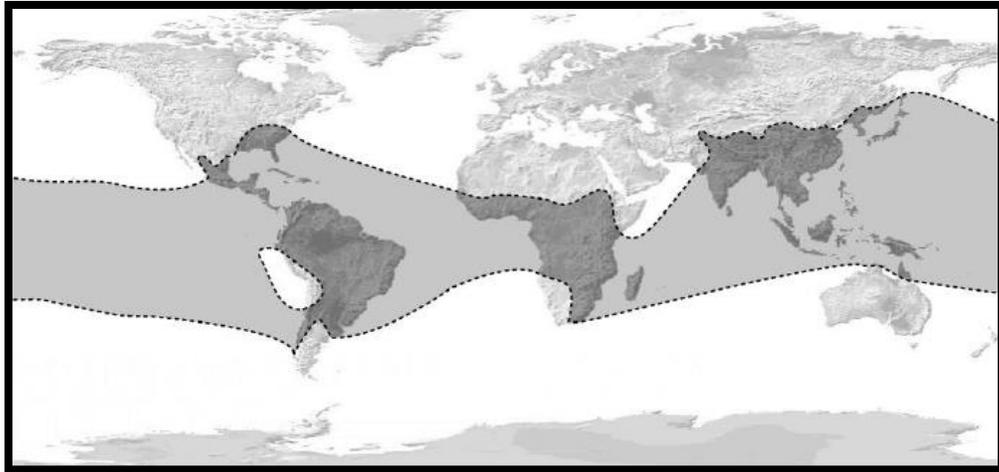


Figura 1: Distribución del bambú a nivel global

FUENTE: Tomado de Martínez 2015:4.

Esta gramínea posee raíces que se adhieren fuertemente al suelo pudiendo atravesar superficies duras; además receptionan y almacenan nutrientes. Podemos asegurar la continuación de la especie ya que esta crece aceleradamente y retallece cada vez que la cortan, siendo estas características muy ventajosas el cual le permiten su aprovechamiento al máximo.

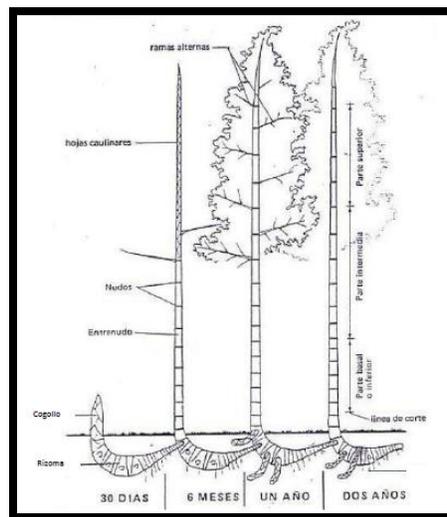


Figura 2: Evolución y partes del bambú

FUENTE: Tomado de Martínez 2015:5.

2.3.2. Corte y almacenamiento

La guadua se recolecta de forma sostenible y se obtiene cortando las cañas maduras. En especies que forman matas, esta recolección se realiza entre 2 - 4 años cortando como máximo un 30 por ciento del total del cultivo. Las estaciones más óptimas para recolectar la guadua son el otoño y el invierno (Martínez, 2015).

Las cañas de bambú se deben cortar con machete para acelerar el proceso de putrefacción de la raíz favoreciendo al crecimiento de nuevos brotes, para esto lo recomendable es quebrar el muñon con un corte en cruz el cual permita que el agua ingrese de una forma sencilla. La tala del bambú se debe realizar de manera cuidadosa y controlada facilitando el crecimiento natural del mismo. Además, se debe de asegurar una producción continua en base a la producción de un año sobre el promedio resultante de los últimos 15 años (Martínez, 2015).

Con el fin de no perjudicar las guaduas obtenidas de la tala, se tiene que realizar el retiro de ramas muy cuidadosamente para no deteriorar la parte externa de la caña el cual la preserva de agentes externos como hongos, insectos, etc. Posteriormente, las guaduas se tienen que situar de forma horizontal sobre apoyos a lo largo de su longitud para impedir que estas se pandeen (Martínez, 2015).

Para el secado, se puede realizar al aire libre por un tiempo de 6 a 12 semanas o por medio de brazas por un lapso de 3 semanas teniendo en cuenta la especie de bambú con la que se cuente. Y por último, debe de almacenarse en estantes superiores a los 50 cm de la superficie del terreno garantizando una ventilación y circulación del aire dando la oportunidad de un mejor control e inspección de cada una de las cañas (Martínez, 2015).

2.3.3. Comparativa frente a otros materiales

El bambú es un material con excelentes propiedades mecánicas referidas a la resistencia, rigidez, facilidad de uso, etc. el cual compite de forma propicia con materiales convencionales como el acero y concreto. Debido a su anatomía y morfología presenta una gran versatilidad y ventaja estructural en comparación con otros materiales de sección completa o no huacas (Martínez, 2015).

El bambú soporta grandes cantidades de carga vertical, "requiere solo un 40 por ciento de su masa cuando es empleado como columna y solo un 57 por ciento cuando es utilizado como viga" (Janssen, 1988).

2.3.4. Aplicaciones del bambú

El bambú tiene distintas aplicaciones de uso en base a las dimensiones y el tiempo que tienen cuando este brota sobre la tierra. Al nacer la nueva caña, mantendrá su diámetro y espesor hasta ser adulta por ende es sencillo definir la edad de corte y aplicación de cada vara a utilizarse (Martínez, 2015).



Figura 3: Usos del bambú en crudo dependiendo de la madurez a la que se tala
FUENTE: Tomado de Martínez 2015:8.

2.3.5. Especies más utilizadas

Tabla 1: Géneros y características del bambú.

GÉNERO	ALTURA (m)	DIAMETRO (m)	ORIGEN
BAMBUSA	6 a 30	3 a 18	China, India, Birmania y Taiwán
CHUSQUEA	4 a 6	2 a 4	Chile y Argentina
DENDROCALAMUS	20 a 35	20 a 30	India, Birmania, Sri Lanka y Taiwan
GIGANTOCHLA	10 a 16	8 a 15	Malasia, Indonesia y Filipinas
GUADUA	10 a 30	5 a 15	Colombia, Ecuador, México, Bolivia, Panamá y Perú
PHYLLOSTACHYS	5 a 22	2 a 17	China y Japón

FUENTE: Adaptación de Martínez 2015.

2.3.6. Propiedades físico-mecánicas

2.3.6.1. Peso específico

Esta propiedad depende del contenido de humedad y de la porción de caña a utilizarse en un determinado estudio (Barbaro, 1997).

2.3.6.2. Compresión.

Según Martínez (2015) el esfuerzo de compresión paralelo a la fibra comprime y acorta un miembro a través de su longitud. La gran mayoría de elementos estructurales de bambú en una edificación están sujetos a compresión paralela como es el caso de vigas, columnas, etc. El bambú tiene una gran resistencia ante este esfuerzo. Por tal motivo se considera tener en cuenta todas las variables implicantes el cálculo de este; siendo el valor de la esbeltez muy importante para clasificarlas en columna corta, columna larga y columna intermedia.

2.3.6.3. Tracción

Las estructuras compuestas de elementos de bambú le hacen frente al esfuerzo más complicado de todos, siendo este el caso del esfuerzo a tracción (Martínez, 2015).

Debido a las uniones entre estos elementos, la presencia de la tracción puede hacer que estos elementos se rajen; haciendo difícil el poder hallar valores de resistencia del material cuando se le aplica este tipo de cargas (Martínez, 2015).

2.3.6.4. Módulo de elasticidad

Es un coeficiente que relaciona el esfuerzo y la deformación en un material determinado por la ley de Hooke. Además dependerá del tipo de fibra y del esfuerzo al cual ha sido sometido (Martínez, 2015).

2.3.6.5. Cortante

La cortante es un esfuerzo que mide la capacidad de un material a poder tolerar fuerzas que pretendan provocar deslizamiento de una porción del material a utilizar con respecto a otra. Esta fuerza se ejerce paralelamente a un plano, mientras que las axiales son perpendiculares al área en mención (Martínez, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

El presente proyecto se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú. La zona de estudio se localiza dentro del campus de la UNALM.



Figura 4: Mapa de ubicación del departamento de Lima

FUENTE: Adaptado de Google Earth 2017.



Figura 5: Mapa de ubicación de la zona del proyecto

FUENTE: Adaptado de Google Earth 2017.

3.2. MATERIALES

Los materiales utilizados en la elaboración de esta investigación son los siguientes:

Tabla 2: Datos meteorológicos (Resumen) de velocidades de viento de julio de 2016 a mayo de 2017 (UNALM)

Lat. -12.079 Lon. -76.948	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
Incl. 0	6.48	6.6	6.73	6.16	5.04	3.86	3.75	4.1	4.84	5.82	6.31	6.51	5.51
Incl. 12	6.58	6.57	6.77	6.51	5.51	4.23	4.05	4.31	4.92	5.71	6.37	6.65	5.68
Incl. 27	6.42	6.24	6.51	6.63	5.85	4.5	4.26	4.38	4.81	5.34	6.17	6.53	5.63
Incl. 90	2.72	2.11	2.31	3.52	3.92	3.22	2.92	2.62	2.26	1.75	2.52	2.89	2.73

FUENTE: Tomado de Castañeda 2015:100.

Tabla 3: Datos de Insolación incidente promedio mensual (UNALM) en una superficie horizontal (kWh/m²/día)

Mes	Velocidad de viento en (km/h)	Velocidad de viento (m/s)
jul-16	17.7	4.92
ago-16	16.3	4.53
sep-16	17.3	4.81
oct-16	17.6	4.89
nov-16	18.7	5.19
dic-16	19.7	5.47
ene-17	23.6	6.56
feb-17	23.1	6.42
mar-17	23.4	6.50
abr-17	21.7	6.03
may-17	19.6	5.44

FUENTE: Tomado de Laboratorio de Recursos Hídricos de la UNALM 2017.

Tabla 4: Ángulo de inclinación para el mes desfavorable

Ángulo	HPS _{min} (kWh/m ² día)	Cociente (m ²)
Incl. 27°	4.26	33765.13

FUENTE: Adaptado de Castañeda 2015:100.

Tabla 5: Peso específico de la guadua

PESO ESPECÍFICO						
Muestras	1	2	3	4	5	6
Volumen de la Guadua (cm ³)	4.56	5.9	8.14	6.07	5.96	4.62
Peso de la Guadua (gr)	2.9	4.8	5	4.6	4.5	3
Peso Específico (gr/cm ³)	0.64	0.81	0.61	0.74	0.77	0.65
Peso Específico Promedio (gr/cm ³)	0.7					

FUENTE: Tomado de Cobos y León 2007:4.

Tabla 6: Diámetro y espesor promedio

BAMBÚ	DIÁMETRO (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ESPELOR (cm)	ESPELOR PROMEDIO (cm)
1	10.2	10.05	1.1	11.6
2	10.8		1.5	
3	9.4		1	
4	8.7		1.2	
5	11.5		1.3	
6	9.4		1	
7	9.1		1.3	
8	12.5		1	
9	9.8		1.5	
10	9.1		0.7	

3.3 METODOLOGÍA

Tanto un sistema solar fotovoltaico como un aerogenerador de baja potencia necesitan de una estructura que sea capaz de soportar las cargas y esfuerzos externos a los que puedan estar sometidos. En el transcurso de este trabajo de investigación, se presentarán 4 estructuras de soporte para un sistema solar fotovoltaico y una estructura de soporte para un aerogenerador. Estas estructuras se diseñarán a base de bambú cuya normativa está estipulada en la Norma E.100 (Anexo 14).

3.3.1. Identificación de prototipos y sistemas renovables

Para los sistemas solares la estructura a diseñar será adaptable a cualquier módulo e inclinación siempre y cuando se tenga en cuenta la latitud del lugar de aplicación del proyecto (CAMPUS UNALM) y las dimensiones de los equipos, válido para todos los modelos de paneles fotovoltaicos de fácil y rápido montaje, las cuales podrán colocarse en posición vertical u horizontal de uno, dos o tres módulos.

Puede conllevar a la posibilidad de un rediseño de los prototipos que se presentaran en este proyecto si cambiamos el entorno (lugar), la longitud de los equipos (largo y alto) o las dimensiones del material a usar (bambú).

Dichas estructuras se diseñarán para soportar las cargas y esfuerzos externos a los que estarán sujetos. Los soportes y accesorios son desarrollados específicamente para la perfecta fijación de los paneles; éstos son fijados a los módulos mediante ángulos y pernos, quedando el módulo bien sujeto.

- Especificaciones del sistema solar fotovoltaico

El sistema solar fotovoltaico que se presentará en el presente trabajo de investigación será para un sistema de media potencia.

Además, se utilizará 21 paneles solares con diferentes disposiciones (de 1, 3, 7 y 10 paneles) y con dimensiones presentadas en el apartado de características técnicas de los equipos renovables líneas a bajo, siendo estos equipos utilizados para satisfacer necesidades de demanda de energética.

- En el caso de los aerogeneradores, se diseñará una torre de 6 m a base de bambú para sostener el peso propio, sobrecargas de servicios y cargas de viento a los que estará sometido. Para este último, se necesitan datos de velocidades de viento (velocidad crítica) del lugar donde se aplica el proyecto (CAMPUS UNALM) encontrándose estos datos en el subtítulo de materiales de este capítulo; siendo una variable muy importante para el diseño estructural de la torre. Además, posibilita a que se rediseñe la carga de viento si se cambia de ubicación.

3.3.2. Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador

En un aerogenerador en funcionamiento, se producen ciertas vibraciones en el rotor producto del paso del viento. Al igual que el peso del equipo, la velocidad del viento transmite cargas a la estructura (torre) cuando impacta sobre un punto en el rotor, el cual se expresa como una fuerza puntual (kg); siendo este un factor muy importante el cual debe ser calculado e introducido en el diseño de esta torre de soporte. Para este proyecto, se contó con información de un año (2016-2017), siendo 6.56 m/s la velocidad crítica para nuestra zona de estudio, correspondiente al mes de enero (velocidad utilizada para el cálculo de la carga puntual). En la siguiente tabla se muestra como resultado, el valor de 25.24 kg como carga aplicada cuando pasan corrientes de aire. (Anexo 14)

Tabla 7: Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador

Velocidad (m/s)	Fuerza (kg)
6.56	25.2379814

3.3.3. Caracterización del material

Tabla 8: Características del material

Material	Bambú
Díámetro de la sección (cm)	10.05
Peso Específico (kg/cm ²)	0.00686
Módulo de Elasticidad (kg/cm ³)	95000
Coefficiente de Poisson	0.3
Simetría Direccional	Orthotrópico
Módulo de Corte (kg/cm ²)	36538.46

3.3.3.1. Características Técnicas del Bambú estructural según Norma E.100

- Para elementos estructurales se debe de trabajar con la especie *Guadua angustifolia*.
- El periodo de cosecha del bambú estructural debe estar entre los 4 - 6 años.
- El contenido de humedad del bambú estructural debe corresponderse con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con bambú en estado verde, el profesional responsable debe tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño.
- El bambú estructural debe tener una buena durabilidad natural y estar adecuadamente protegido ante agentes externos.
- Las piezas de bambú estructural no pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33 por ciento de la longitud del elemento. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana y observar si existe separación entre la superficie de apoyo y la pieza.

- Las piezas de bambú estructural no pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior.
- Las piezas de bambú con agrietamientos superiores o iguales al 20 por ciento de la longitud del tronco no serán consideradas como aptas para uso estructural.
- Las piezas de bambú estructural no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas.
- No se aceptan bambúes que presenten algún grado de pudrición.

3.3.3.2. Cortes y uniones del bambú según Norma E.100

- Tipos de corte de piezas de bambú
 - Corte recto

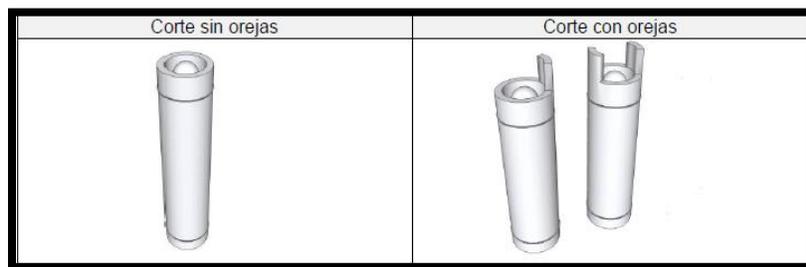


Figura 6: Corte recto.

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:33.

- Corte a bisel

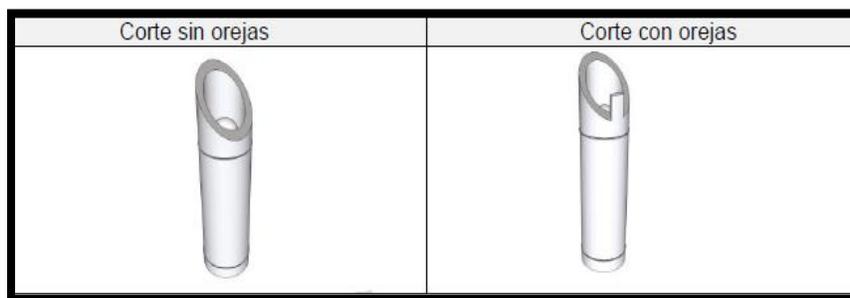


Figura 7: Corte a bisel

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:33.

- Corte boca de pescado

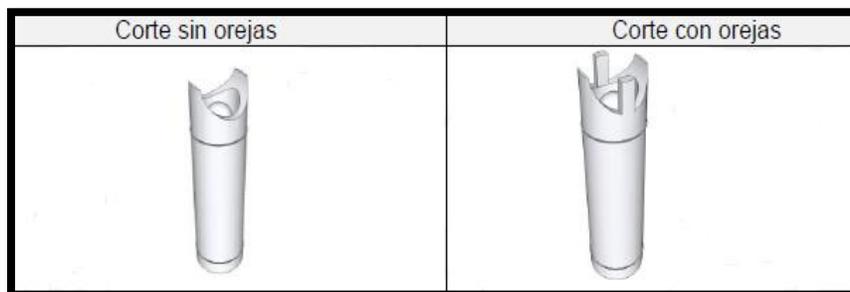


Figura 8: Corte boca de pescado

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:33.

- Corte pico de flauta

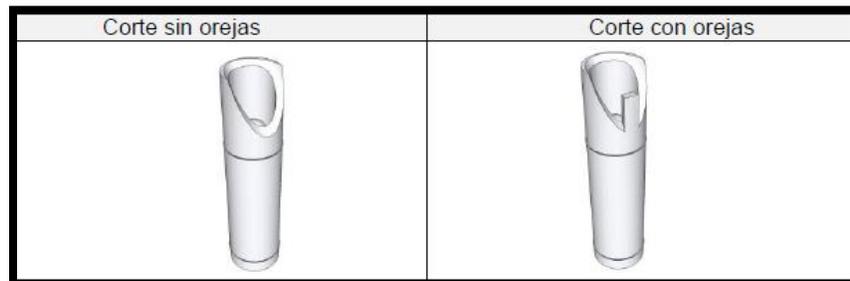


Figura 9: Corte pico de flauta

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:33.

3.3.3.3. Uniones entre piezas de Bambú según Norma E.100

- Tipos de uniones

- Uniones con tarugos o pernos

Los tarugos serán de madera estructural o de otros materiales de resistencia similar. Deberán colocarse arandelas, pletinas metálicas u otro material de resistencia similar entre la cabeza o tuerca del perno y el bambú.

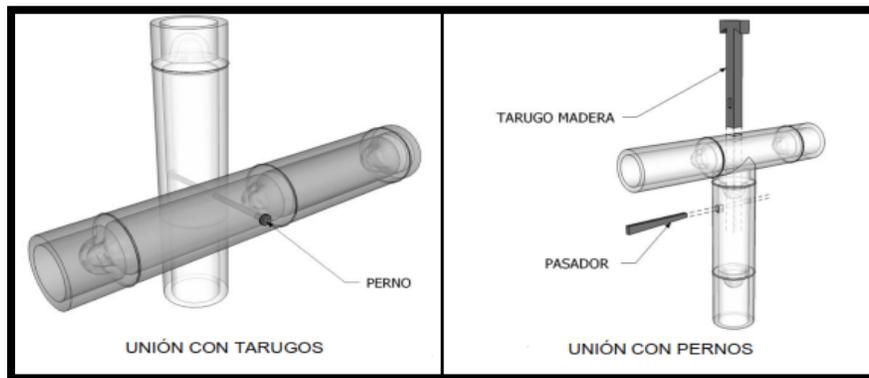


Figura 10: Uniones con tarugos o pernos

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:19.

- Uniones zunchadas o amarradas

- Se debe impedir el desplazamiento del zuncho o del amarre.

- Se puede usar otros materiales no metálicos como: sogas, cueros, plásticos u otros similares.

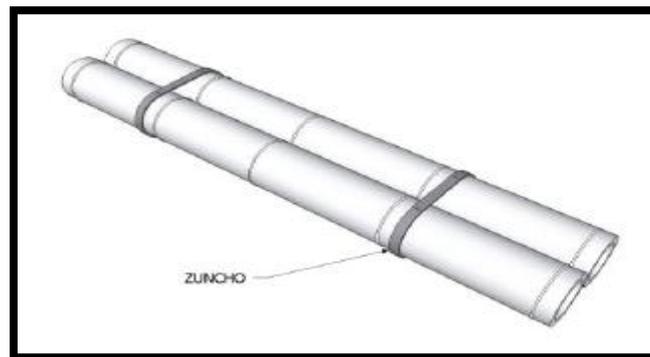


Figura 11: Unión Zunchada

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:18.

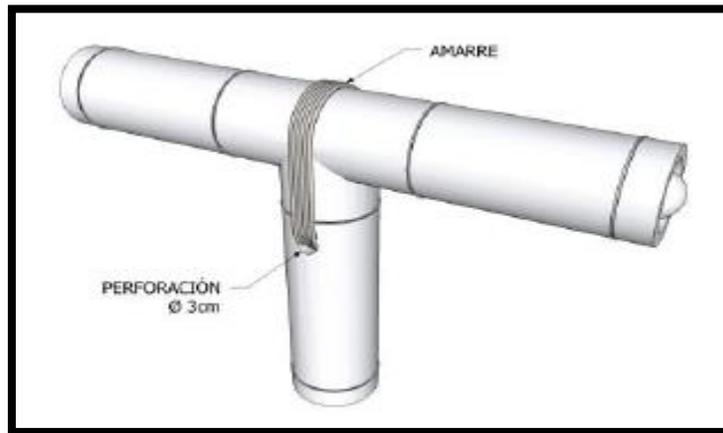


Figura 12: Unión Amarrada

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:18.

- Unión con mortero

Cuando un entrenudo está sujeto a una fuerza de aplastamiento, o cuando se requiera por diseño ser rellenado con mortero, se debe proceder de la siguiente manera:

-El mortero de cemento preparado tendrá una calidad 1:4 y debe de cumplir con lo establecido en la Norma E.70 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones.

-Para verter el mortero, debemos de perforar al elemento, teniendo este agujero un diámetro de 4 cm como máximo. Dicha perforación se encontrará en la parte más cercana del nudo superior de la pieza de bambú. A través de esta, se inyecta el mortero presionándolo a través de un embudo o de una bomba.

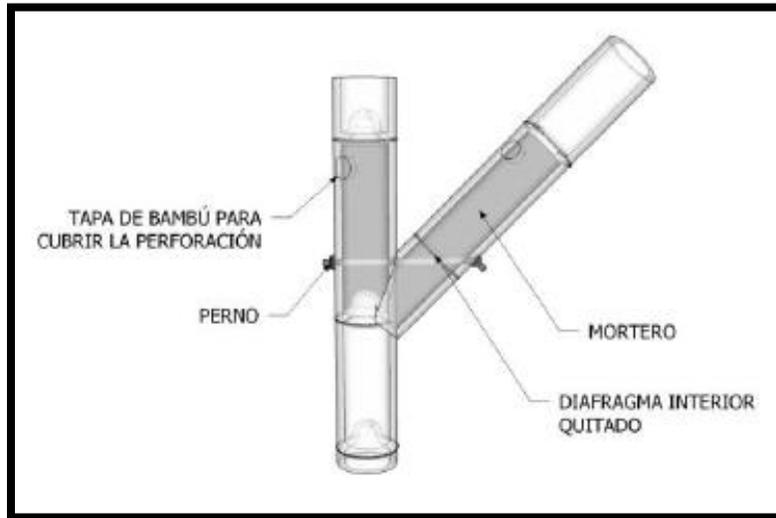


Figura 13: Unión con Mortero

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:19.

- Uniones longitudinales

Para unir longitudinalmente, dos piezas de bambú, se deben seleccionar piezas con diámetros similares y unir las mediante elementos de conexión; tales como: piezas de madera, piezas metálicas y piezas de bambú. A continuación se muestra la unión longitudinal con piezas de madera y pernos.

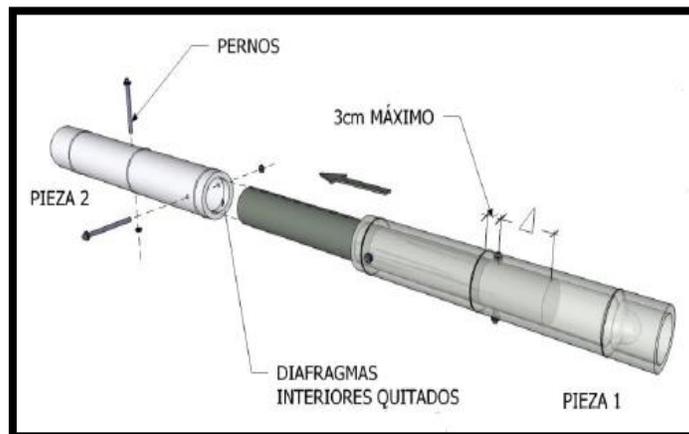


Figura 14: Unión longitudinal con pieza de madera y pernos

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:20.

- Uniones perpendiculares y en diagonal.
 - Se debe lograr el mayor contacto entre las piezas, realizando los cortes según lo establecido en la norma E.100 Bambú del Reglamento Nacional de Edificaciones.
 - Se debe asegurar la rigidez de la unión, utilizando como refuerzos uniones con perno y mortero.

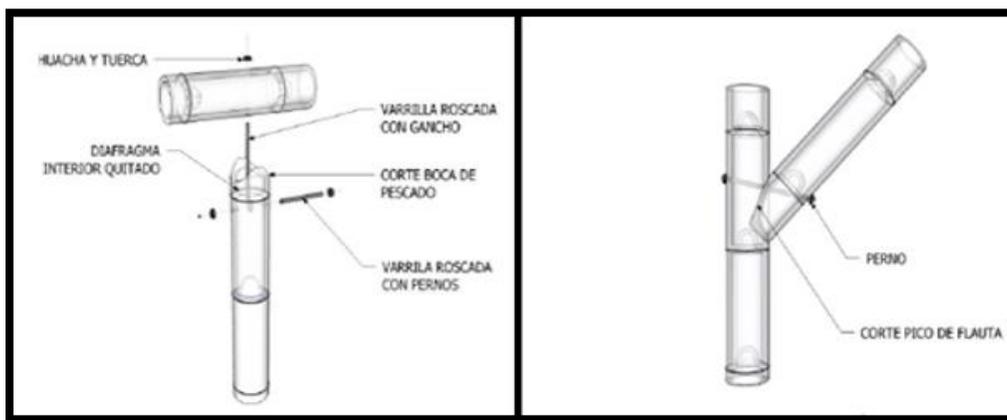


Figura 15: Unión perpendicular con perno y Unión diagonal simple

FUENTE: Adaptado de Norma E.100 Bambú 2012.

- Uniones de acuerdo a la función según Norma E.100 Bambú
 - Unión entre sobre cimiento y columna
 - Las fuerzas de tracción se deben transmitir a través de conexiones empernadas. Un perno debe atravesar el primero o el segundo entrenudo del bambú.
 - Cada columna debe tener como mínimo una pieza de bambú conectada a la cimentación o al sobre-cimiento.

- Se rellenaran los entrenudos atravesados por la pieza metálica y el pasador con una mezcla de mortero
- Se debe evitar el contacto del bambú con el concreto o la mampostería con una barrera impermeable a base de un sistema hidrófugo.

❖ Unión con anclaje interno.

- Se deja empotrada a la cimentación una barra de fierro 9mm de diámetro como mínimo con terminación en gancho. Esta barra tendrá una longitud mínima de 40 cm sobre la cimentación.
- Antes del montaje de la columna de bambú, se perforan como mínimo los diafragmas de los dos primeros nudos de la base de la columna.
- Se coloca un pasador (perno) con diámetro mínimo de 9 mm, que pasará por el gancho de la barra.
- Los entrenudos atravesados por la barra se rellenarán con mortero de acuerdo con lo estipulado en la Norma E.70 Albañilería del reglamento nacional de edificaciones.

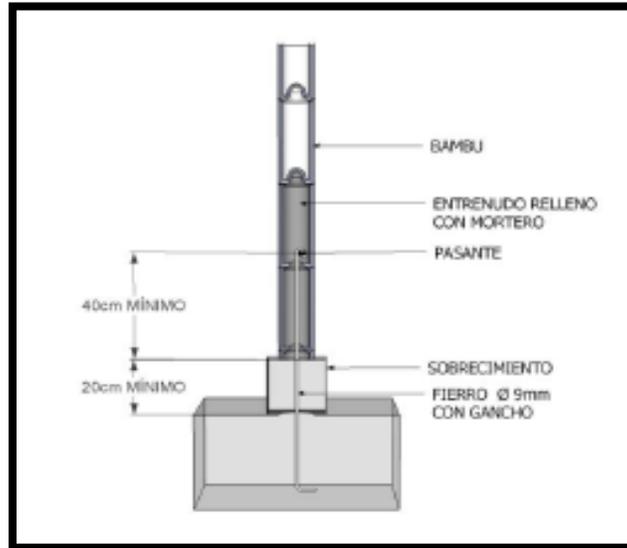


Figura 16: Unión con anclaje interno.

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:27.

3.3.4. Características técnicas de los equipos renovables

Los requisitos técnicos de los elementos que conforman nuestro sistema fotovoltaico el cual será soportado por nuestra estructura a diseñar a base de un material renovable presentan las siguientes especificaciones:

- Panel fotovoltaico

Tabla 8: Características del panel fotovoltaico

Características eléctricas		
P_{mod} : Potencia en prueba ($\pm 10\%$)	85	W
Número de celdas en serie	6 de 6"	
Corriente en punto de máxima potencia	4.1	A
Tensión en punto de máxima potencia	18.29	V
Corriente de cortocircuito	4.66	A
Tensión de circuito abierto	22.03	V
Características físicas		
Longitud	0.978	m
Ancho	0.971	m
Espesor	0.035	m
Peso	7.5	kg

FUENTE: Tomado de Castañeda 2015:84.

- Batería

Tabla 9: Características de la batería

Características generales		
Tipo de batería	Plomo-ácido	
Tensión nominal de cada vaso acumulador, V_{acu}	2	V
Capacidad nominal del acumulador o batería, C_{acu}	720	Ah
Celdas por unidad	6	-
Voltaje por unidad	12	V
Límite de corriente de carga máxima recomendado	18	A
Características físicas		
Longitud	0.328	m
Ancho	0.172	m
Alto	0.222	m
Peso	30	kg

FUENTE: Tomado Castañeda 2015:86.

- Regulador

Tabla 10: Características del regulador.

Características generales		
Corriente de cortocircuito máxima del módulo solar	100	A
Corriente de consumo máxima	100	A
Tensión del sistema	12 / 24	V
Tensión máxima del módulo solar	47 V	CC
Características físicas		
Longitud	0.187	m
Ancho	0.096	m
Espesor	0.045	m
Peso	0.345	kg

FUENTE: Tomado de Castañeda 2015:87.

- Especificaciones técnicas del aerogenerador

El aerogenerador que es soportado por la estructura a diseñarse para la generación de energía eléctrica que se presenta en el presente trabajo de investigación tiene las siguientes especificaciones.

Tabla 11: Potencia nominal

Potencia nominal (W)	5.000 W
Aplicaciones	Carga de baterías o conexión a la red AC III 400 V
Elemento propulsor	Rotor eje horizontal directo, barlovento
Nº de Palas	3 palas
Longitud máxima de pala	2.000 mm
Ancho máximo de pala	180 mm
Diámetro máximo de giro	4.500 mm
Material de las palas	Fibras estructurales y resinas epoxídicas
Sentido de giro	Sentido horario
Conicidad en grados	3° a 5°
Sistema de orientación	Veleta

FUENTE: Tomado de SUMISERAN S.L 2017.

Tabla 12: Especificaciones del generador

Generador (Patentado por SOLENER)	
Material del carenado	fibra de vidrio y epoxy
Rotor	Imanes permanentes
Tipo de imanes	Neodimio
Nº de polos	24 polos
Estator	
Nº de bobinas	72 bobinas

FUENTE: Tomado de SUMISERAN S.L 2017.

Tabla 13: Características eléctricas

Características eléctricas	
Tensión alterna	Variable AC
Tipo	Trifásica
Configuración	Estrella
R.P.M para potencia nominal	Segun aplicación
Regulación de palas	Compensación centrífuga*

FUENTE: Tomado de SUMISERAN S.L 2017.

Tabla 14: Dimensiones físicas

Dimensiones Físicas	
Longitud	3.400 mm
Diámetro exterior	Según aplicación
Peso en kg	150 kg

FUENTE: Tomado de SUMISERAN S.L 2017.

Tabla 15: Velocidad de viento

Velocidad de viento en m/s	
Para arranque	2,5 m/s
Para potencia nominal	11 m/s
Para freno eléctrico automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento (frenado por compensación vectorial)	25 m/s

FUENTE: Tomado de SUMISERAN S.L 2017.

3.3.5. Estimación de sobrecargas de servicio y cargas de viento según la Norma E.020 del Reglamento Nacional de edificaciones

3.3.5.1. Estimación de cargas aplicadas al bambú

Para el diseño de los elementos estructurales de bambú, la determinación de las sobrecargas de servicio y cargas de viento se efectuará de acuerdo a lo señalado por la norma E.020 Cargas, del Reglamento Nacional de Edificaciones., utilizando el método de esfuerzos admisibles. Las estructuras deben diseñarse para soportar todas las cargas provenientes de:

- Peso propio y otras cargas permanentes o cargas muertas.
- Cargas vivas.
- Sobrecargas de viento.

3.3.5.2. Carga muerta

Se considera el peso real de los materiales y equipos de los cuales deben soportar la edificación calculada en base a sus pesos unitarios, pudiéndose usar estos pesos siempre y cuando sean menores y se justifique debidamente. Cada panel solar tiene un peso de 7.5 kg y el aerogenerador un peso de 150 kg. Las especificaciones técnicas de los equipos y sus dimensiones se encuentran en el subtítulo de predimensionamiento que se ubica líneas arriba.

3.3.5.3. Carga viva

Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos y otros elementos movibles que soportan la edificación como el peso de una persona (100 kg) y la fuerza de impacto en el rotor producida por el viento (25.24 kg) desplegada de la ecuación de Betz (Anexo 12).

3.3.5.4 Cargas debidas al viento

La estructura, los elementos de cierre y los componentes exteriores de todas las edificaciones expuestas a la acción del viento, serán diseñados para resistir las cargas (presiones) exteriores debidas al viento, actuando en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí (X e Y); sabiendo que el viento se comporta como una fuerza distribuida a través de toda la estructura el cual debe de diseñarse para poder calcular la presión que ejerce sobre esta, tal y como se muestra a continuación:

- **Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación pero no menos de 75 km/h. Se tiene que la estructura de soporte solar tiene una altura de 2.5 m y la torre de soporte para el aerogenerador es de 6 m. La velocidad de diseño del viento a cada altura de las edificaciones se obtiene con la expresión que se muestra a continuación.

$$V_h = V(h/10)^{0.22}$$

Ecuación 1: Velocidad de diseño

FUENTE: Tomado de Norma E.20 Cargas 2012:12.

Donde:

- V_h : es la velocidad de diseño en la altura h en km/h.
- V : es la velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h.
- h : es la altura sobre el terreno en metros.

- Carga exterior de viento

La carga exterior expresado como presión ejercida por el viento, se supone estática y perpendicular a la superficie sobre la cual se actúa. Se calculará mediante la expresión:

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Ecuación 2: Carga exterior de viento

FUENTE: Tomado de Norma E.20 Cargas 2012:12.

Donde:

- P_h : presión del viento a una altura h en kg/m².
- C : factor de forma adimensional.
- V_h : velocidad de diseño a la altura h , en km/h.

Esta presión de viento deberá ser convertida en fuerza multiplicando dicha presión por el diámetro del bambú. (Anexo 10)

3.3.5.5. Distribución de cargas

- Distribución de cargas verticales

La distribución de cargas verticales a los elementos de soporte se establecerá sobre la base de un método reconocido de análisis elástico o de acuerdo a sus áreas tributarias.

- **Distribución de cargas horizontales**

Se supondrá que las cargas horizontales sobre la estructura son distribuidas a las columnas, pórticos y muros por los sistemas de pisos y techo que actúan como diafragmas horizontales.

3.3.5.6. Estabilidad

La estabilidad requerida es suministrada sólo por las cargas muertas más la acción de los anclajes permanentes que se provean. El peso de la tierra sobre las zapatas o cimentaciones, calculado con el peso unitario mínimo de la tierra, puede ser considerado como parte de las cargas muertas.

- **Volteo**

La edificación o cualquiera de sus partes, se diseñan para proveer un coeficiente de seguridad mínimo de 1.5 contra falla por volteo. (MVCS, 2006)

- **Deslizamiento**

La edificación o cualquiera de sus partes se diseñan para proveer un coeficiente de seguridad mínimo de 1.25 contra falla por deslizamiento. Los coeficientes de fricción que se asuman serán establecidos por el proyectista a partir de valores usuales empleados en ingeniería.

3.3.6. Método de análisis

Las limitaciones y esfuerzos admisibles dados en la Norma E.100 se aplican a estructuras analizadas por procedimientos convencionales de análisis lineal y elástico.

La determinación de los efectos de las cargas (deformaciones, fuerzas) en los elementos estructurales debe efectuarse con hipótesis consistentes y con los métodos aceptados en la buena práctica de la ingeniería.

3.3.6.1. Método de diseño

El diseño de los elementos estructurales de bambú en conformidad con la norma E.020 (Reglamento Nacional de Edificaciones) se aplica para cargas de servicio y se utiliza el método de esfuerzos admisibles. Este método se utiliza para calcular las cargas que se aplican a la estructura para que pueda soportar cargas que provienen del peso propio, cargas muertas, cargas vivas y carga de viento.

3.3.6.2. Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles que se usan en el diseño de elementos estructurales de bambú para los casos de tracción y compresión paralela, son los que se consignan en el siguiente cuadro.

FLEXIÓN (Fm)	TRACCIÓN PARALELA (Ft)	COMPRESIÓN PARALELA (Fc)	CORTE (Fv)	COMPRESIÓN PERPENDIDULAR (F'c)
5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mpa (13 g/cm ²)

Cuadro 1: Esfuerzos admisibles.

FUENTE: Adaptado de Norma E.100 Bambú 2012.

3.3.6.3. Módulo de elasticidad

Los módulos de elasticidad que se usan en el diseño de elementos de bambú son los que se presentan a continuación:

Epro.	Emín.
9500 Mpa 95000Kg/cm ²	7300 Mpa 73000 Kg/cm ²

Cuadro 2: Módulo de elasticidad

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:8.

3.3.6.4. Diseño de elementos solicitados por fuerza axial según Norma E.100 bambú

Los elementos que serán diseñados por fuerza axial son aquellos solicitados en la misma dirección que el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal; por tanto los elementos de nuestras estructuras no están afectadas por momentos flexionantes ni por fuerza cortante.

- Elementos solicitados a tensión axial

El esfuerzo de tensión axial actuante (f_t) para cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo admisible a tensión axial (f_t') modificado por los coeficientes de modificación correspondientes (Anexo 6), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t'$$

Ecuación 3: Esfuerzo a tensión

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:12.

Donde:

- f_t : Esfuerzo a tensión actuante, en Mpa.
- T: Fuerza de tensión axial aplicada, en N.
- F_t' : Esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en Mpa.
- A_n : Área neta del elemento, en mm^2 .

- Elementos solicitados a compresión axial
 - La longitud efectiva es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$\ell_e = \ell_u k$$

Ecuación 4: Longitud efectiva

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:12.

Donde:

- ℓ_u : longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm.
- ℓ_e : longitud efectiva, en mm.
- k : coeficiente de longitud efectiva.

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.0

Cuadro 3: Coeficiente de longitud efectiva

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:8.

Para columnas, la esbeltez se da por la fórmula:

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

Ecuación 5: Esbeltez

FUENTE: Adaptado de Norma E.100 Bambú 2012

Donde:

- λ : Relación de esbeltez del elemento.
 - l_e : longitud efectiva del elemento, en mm.
 - r = radio de giro de la sección, en mm.
- Clasificación de columnas: Según su relación de esbeltez, las columnas de guadua rolliza se clasifican en cortas, intermedias o largas:

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

Cuadro 4: Clasificación de columna según su esbeltez

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:13.

La esbeltez C_k es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas y está dado por la siguiente formula:

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

Ecuación 6: Esbeltez límite

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:13.

Donde:

- F'_c : esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en Mpa.
- $E_{0.05}$: módulo de elasticidad percentil 5, en Mpa.

Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150.

- Cargas admisibles en elementos sometidos a compresión según norma E.100

Bambú

Los elementos sometidos a compresión axial deben ser diseñados si considerar una excentricidad mínima, siempre que se utilicen las expresiones presentadas en los tres párrafos siguientes.

Columnas cortas: Su carga admisible debe calcularse multiplicando el valor del esfuerzo admisibles en compresión paralela a las fibras por el área de la sección. (Anexo 7)

$$N_{adm} = f_c A$$

Ecuación 7: Carga admisible para columnas cortas

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:14.

Columnas intermedias: Para columnas intermedias que fallan por una combinación de aplastamiento e inestabilidad (Anexo8), podrá adoptar la ecuación siguiente.

$$N_{adm} = f_c A \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

Ecuación 8: Carga admisible para columnas intermedia

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:15.

Columnas larga: La carga admisible de columnas largas se debe determinar por consideraciones de elasticidad (Anexo 9). Considerando una adecuada seguridad al pandeo la carga máxima se determinará por la fórmula de Euler. La fórmula general de las columnas de secciones de cualquier forma es:

$$N_{adm} = \frac{\pi^2 EA}{2,5(\lambda)^2}$$

Ecuación 9: Carga admisible para columnas largas

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:15.

3.3.6.5. Diseño de elementos solicitados por flexión

El esfuerzo a flexión actuante (f_m) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisible (f'_m) modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_m = \frac{M}{S} \leq f'_m$$

Ecuación 10: Esfuerzo a flexión actuante

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:34.

Donde:

- f_m : Esfuerzo a flexión actuante, en Mpa
- f'_m : Esfuerzo admisible modificado, en Mpa
- M: Momento actuante sobre el elemento N mm.
- S: Módulo de sección en mm^3

El módulo de sección S, para una guadua se expresa con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 11: Módulo de sección

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:34

Donde:

- S: Módulo de sección, en mm^3 .
- D_e : Diámetro promedio del bambú, en mm.
- t: Espesor promedio de la pared del bambú, en mm.

3.3.6.6. Diseño de elementos sometidos a esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuantes (f_v) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante paralelo a las fibras admisibles (F'_v), modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$$

Ecuación 12: Esfuerzo cortante

FUENTE: Tomado de Norma E.100 Bambú 2012:35.

Donde:

- f_v : Esfuerzo cortante paralelo a la fibra actuante, en Mpa.
- A: Área de la sección transversal del elemento, en mm².
- D_e : Espesor promedio de la pared del bambú, en mm.
- t: Espesor promedio de la sección de guadua, en mm.
- F'_v : Esfuerzo admisible modificado para corte paralelo a las fibras, en Mpa.
- V: Fuerza cortante en la sección considerada, en N.

3.3.7. Importe de modelos de AutoCAD al Sap2000 versión educativa

Una de las principales características que tiene el Sap2000 versión educativa es, la de ser compatible con el software AutoCAD, el cual puede leer archivos en dicho formato y poder utilizar su interfaz gráfica, distribución básica de vigas en 2D y 3D, herramientas para la visualización en 3D capacidad para el diseño de secciones, barras articuladas y láminas; para el cálculos de cargas, esfuerzos, etc. Se tienen 5 diseños (modelos) dibujados en AutoCAD versión educativa los cuales se van a importar uno a uno al Sap2000 versión educativa para poder analizarlos. Estos modelos se presentan en el capítulo de resultados y discusiones.

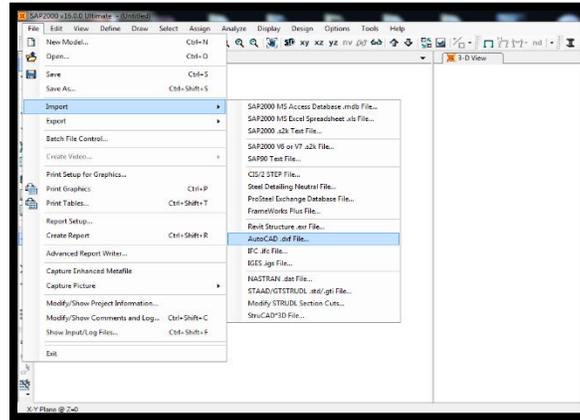


Figura 17: Importe del archivo CAD desde SAP2000.

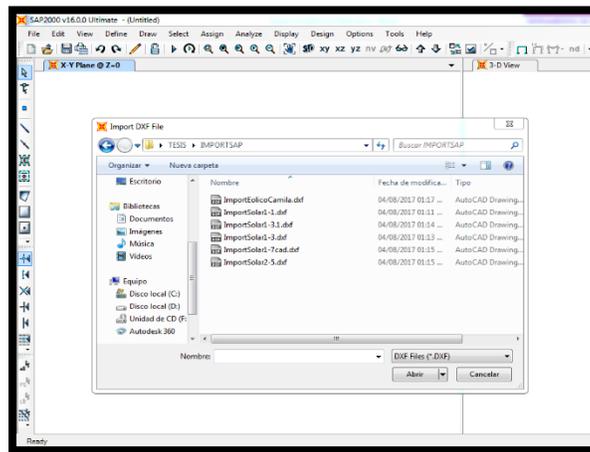


Figura 18: Elección del archivo a importar

3.3.8. Diseños en Sap2000 versión educativa

En este programa se encontrarán plantillas predefinidas de estructuras estándares, el cual se puede introducir con facilidad eligiendo el que más se ajuste a nuestra estructura. Para ello lo mejor es definir un nuevo modelo en el que designaremos el grid de tal modo que todos los nodos de la malla se encuentren en sus intersecciones. Una vez que se establece la malla y se importa el archivo CAD (versión educativa), se elige el tipo de restricciones en la base de la estructura, se define la restricción, tipo de material (bambú), diámetro de la sección de la guadua (10.05 cm), los tipos de carga (permanente, sobrecarga, etc.) y las combinaciones de dichas cargas.

Las cargas que se toman en cuenta son: el peso de los paneles solares, el peso del aerogenerador, peso de una persona (mantenimiento) y la carga de viento; luego se los asignamos a cada barra o nodo, damos las condiciones de contorno (armadura espacial) y se corre el programa, tal y como lo explicaremos a continuación.

- Teniendo ya, nuestros diseños importados en este software, debemos de especificar los apoyos sobre los cuales irán soportadas nuestras estructuras (base empotrada, considerada para todos los diseños que se proponen) tal como se muestra en la siguiente figura.

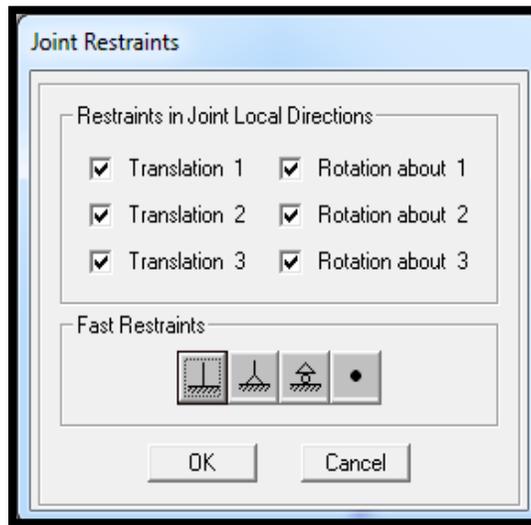


Figura 19: Restricción conjunta

- Para el caso de las uniones de los elementos de Bambú, se considera como elemento conector al perno (Fig. 10). Esta unión es considerada como una rotula imperfecta ya que no restringe suficientemente la rotación de un plano respecto al otro; es decir que permite la rotación sobre el plano paralelo al perno y restringe la rotación sobre el plano perpendicular a este debido al tipo de corte de la pieza de Bambú.
- En segundo lugar, se debe de precisar el material y el tipo de sección (sección circular) de los elementos que forman parte de las estructuras que se proponen en esta investigación. Se define el material siendo este el Bambú guadua. Seguido, se establece el tipo de material al que pertenece, siendo este Orthotrópico ya que sus propiedades mecánicas son diferentes en sus tres direcciones.

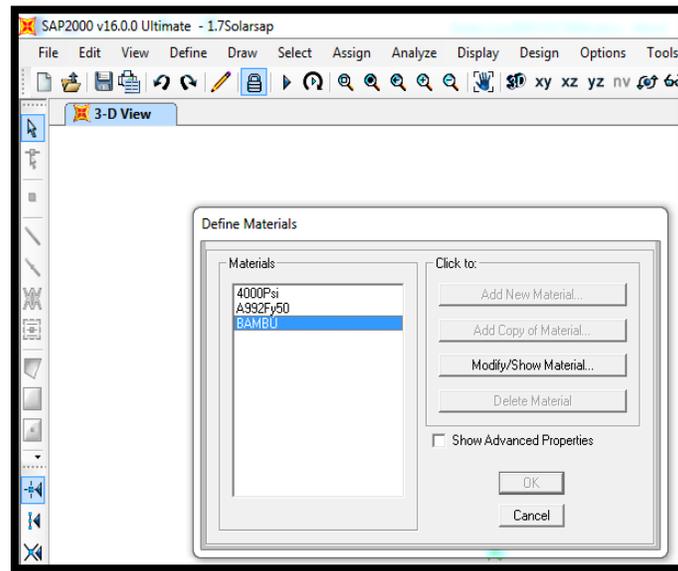


Figura 20: Definición del material

- Luego, se le asigna el **peso específico** el cual proviene de multiplicar la densidad por la gravedad, dato tomado de otra investigación (señalada en la bibliografía) cuyo valor es 0.00686 kg/cm^2 .
- Para el caso del **módulo de elasticidad** (promedio) del Bambú guadua, el valor considerado fue de 95000 kg/cm^2 ; que es el módulo de elasticidad promedio estipulado en la norma E.100 Bambú. El valor para el módulo de corte fue de 36538.46 kg/cm^2 .
- El **módulo de poissón** o de cizalladura del Bambú comprende valores entre 0.25 y 0.35; considerándose para este trabajo de investigación un valor promedio de 0.30.

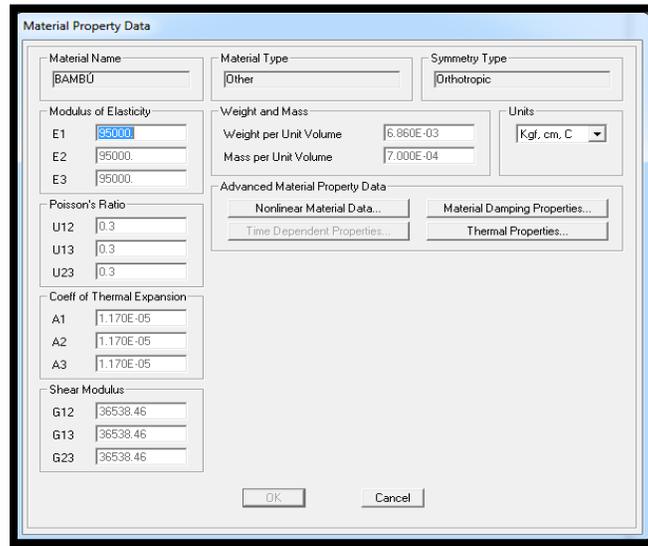


Figura 21: Datos de propiedades del material

- Las estructuras propuestas en esta investigación están afectadas por cargas provenientes del peso propio, carga muerta, carga viva y sobrecargas de viento los cuales deben de especificarse en el software para sus respectivas combinaciones. Se consideran 2 combinaciones de carga para cada uno de los prototipos (Véase en la pág. 53 y 54) haciendo referencia a los efectos desfavorables que pueden producir estas cargas en los elementos estructurales cuando actúan juntas, razones por las cuales se deben de tomar en cuenta al momento de ingresar datos en esta plataforma. En la figura 22 se muestra las cargas que fueron consideradas en el diseño de todas las estructuras propuestas en la presente investigación.

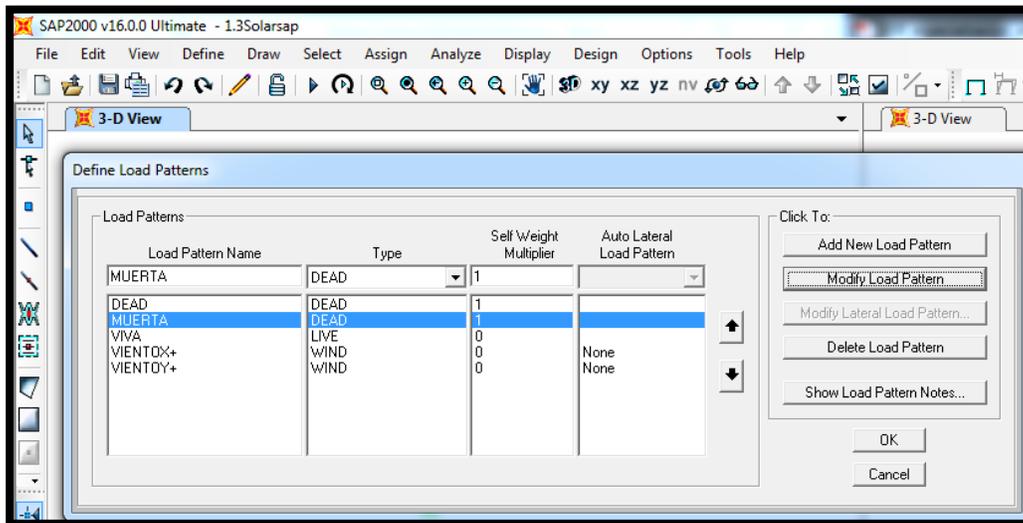


Figura 22: Cargas aplicadas a las estructuras de soporte

Se ejecuta el software y se visualizan todos los datos para su posterior análisis, siendo lo más detallado posible para garantizar que la construcción del modelo matemático sea lo más cercano al comportamiento de la estructura en la realidad. Antes de correr el software, se debe de establecer el tipo de estructura a analizarse. Los prototipos de soporte solar y eólico son considerados como estructuras en el espacio ya que sus nudos presentan restricción al desplazamiento en sus tres ejes coordenados paralelos entre sí. Por último, se ejecuta el programa y se realiza el análisis de todos los elementos de bambú bajo el método de esfuerzos admisibles tal y como se muestran en las hojas de cálculo presentes en los anexos de esta tesis, aplicados para cada tipo de fuerza existente (tracción, compresión, cortante y momento flexionante) en los elementos estructurales según la Norma E.100 Bambú.

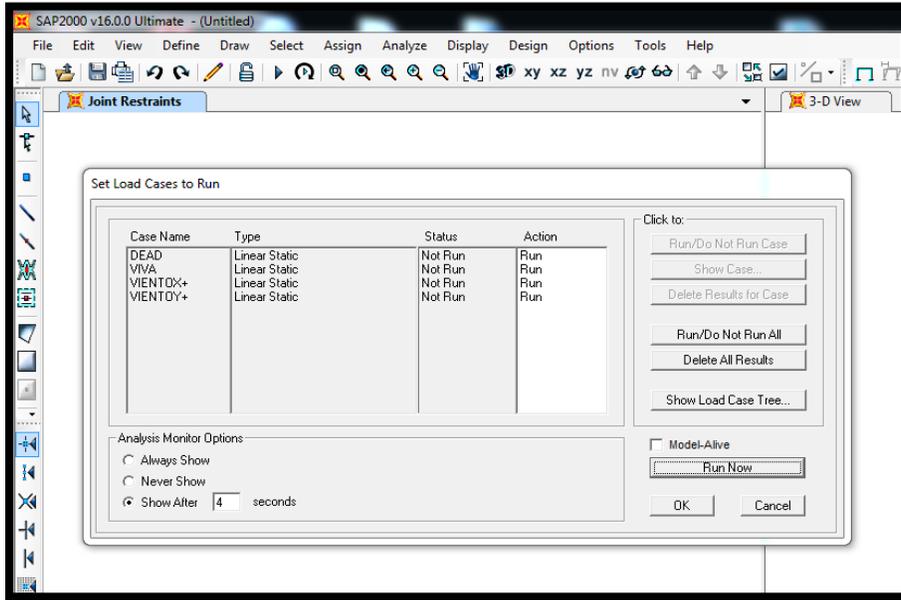


Figura 23: Ejecución de software

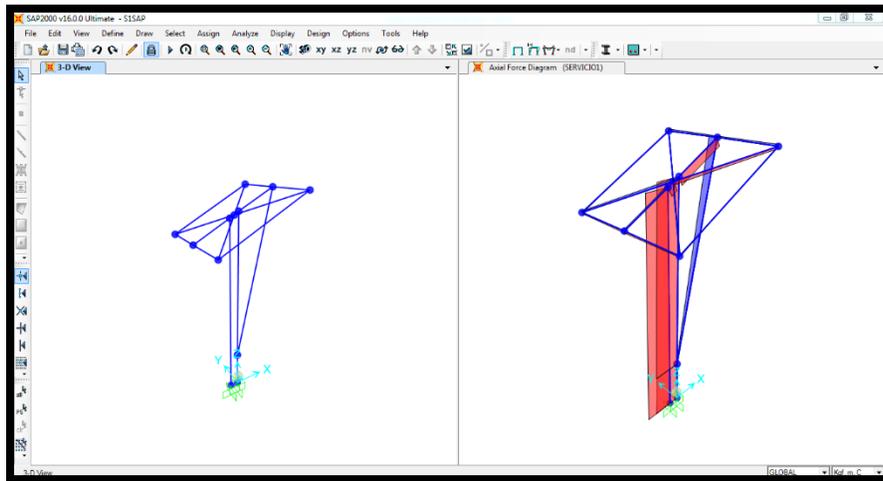


Figura 24: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para un módulo solar (S1)

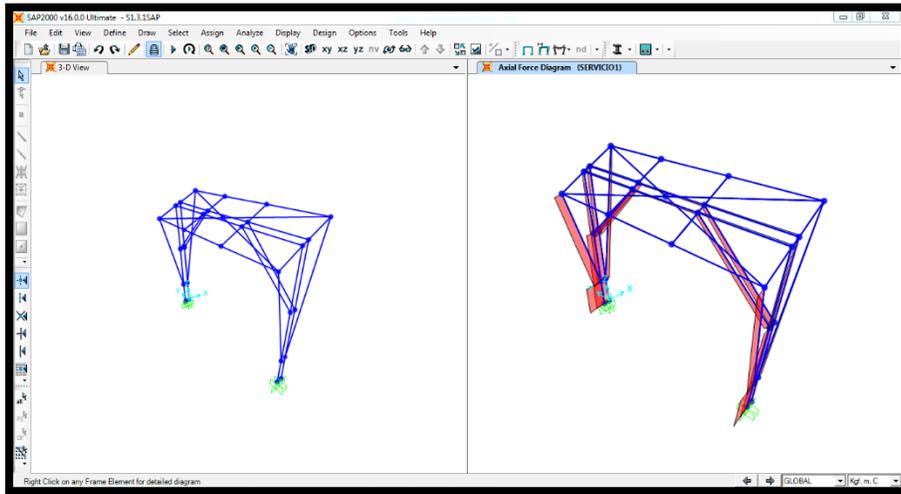


Figura 25: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para tres módulos solares (S1-3)

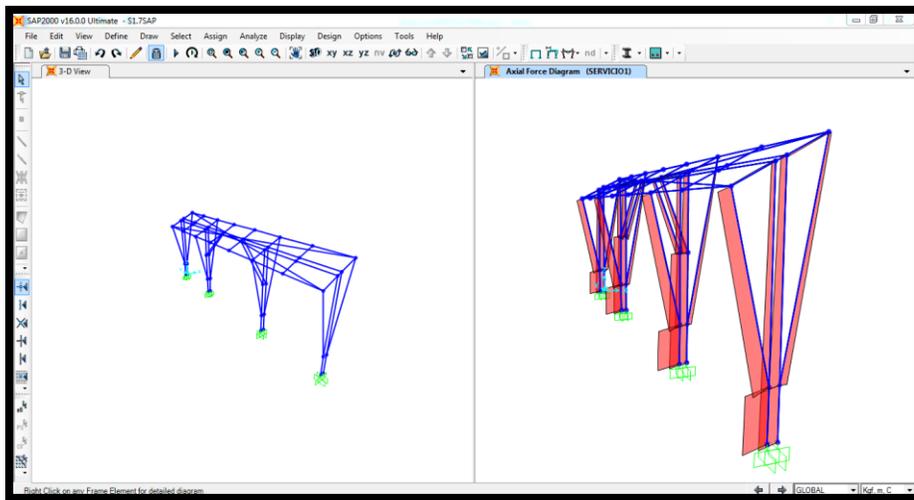


Figura 26: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para siete módulos solares (S1-7)

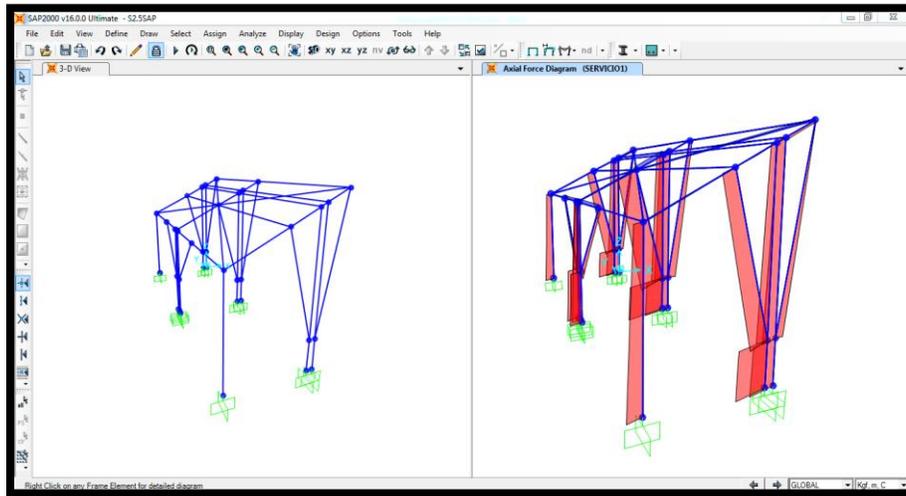


Figura 27: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para diez módulos solares (S2-5)

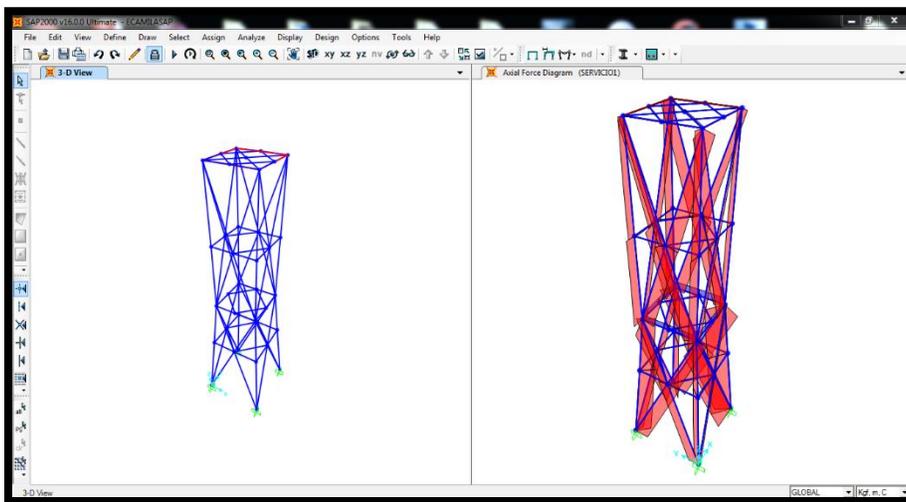


Figura 28: Modelado de la estructura de soporte y diagrama de fuerzas para el aerogenerador (E1)

3.3.9. PLANOS

Al término del proyecto presentaremos los modelos de las estructuras propuestas en planos a escala mostrando en ellos los detalles de los prototipos a diseñar.

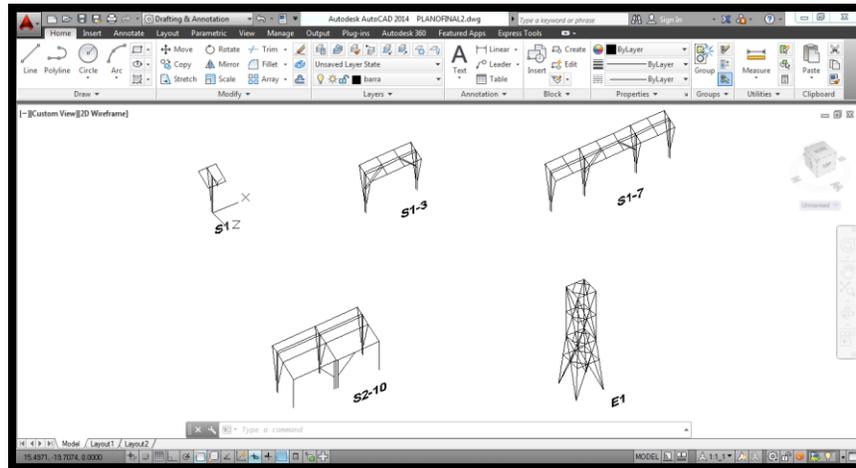


Figura 29: Plano de las estructura de soporte

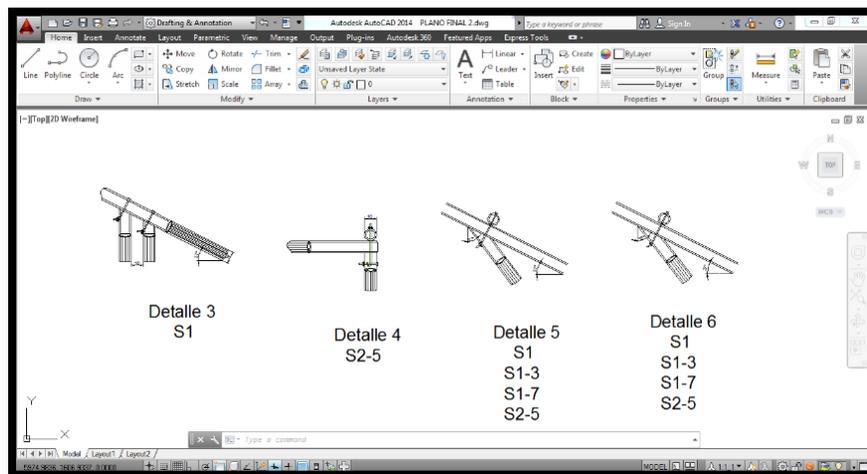


Figura 30: Plano de detalles de uniones de las estructuras de soporte

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan los diseños de estructura de soporte de un sistema solar fotovoltaico y eólico, combinaciones de carga utilizados en los modelos, cargas producidas en la estructura debido a que se le aplicaron pesos (Anexo 1-5), la velocidad del viento expresado con fuerza puntual (Anexo 12) y una curva que muestra como varía la fuerza puntual en el rotor de un aerogenerador cuando está expuesto a diferentes velocidades de viento.

4.1. ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Los modelos analizados corresponden a las estructuras diseñadas en este trabajo de investigación y son los siguientes:

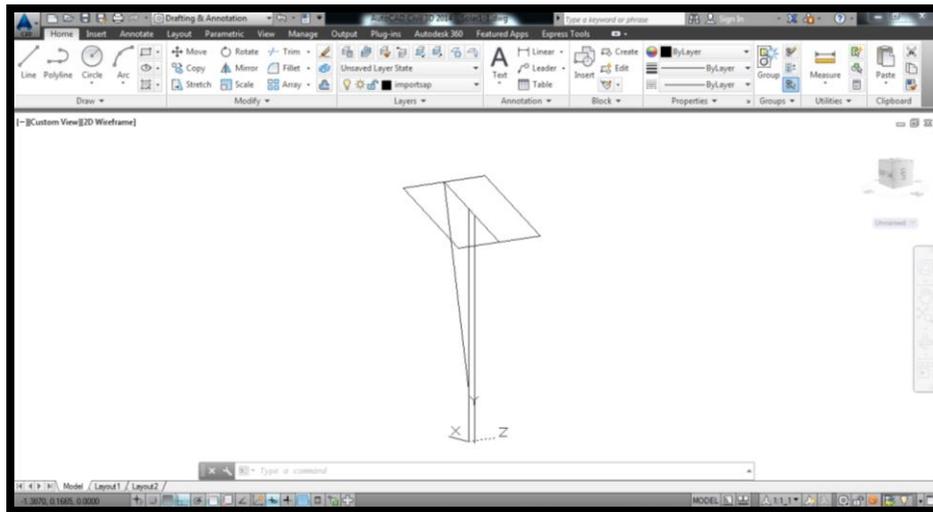


Figura 31: Estructura de soporte para un módulo solar (S1)

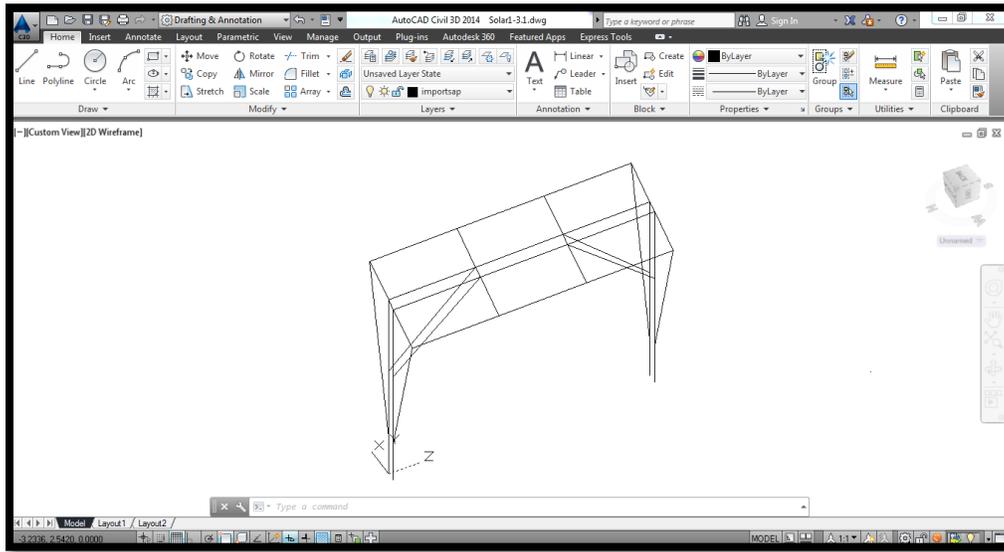


Figura 32: Estructura de soporte para tres módulos solares (S1-3)

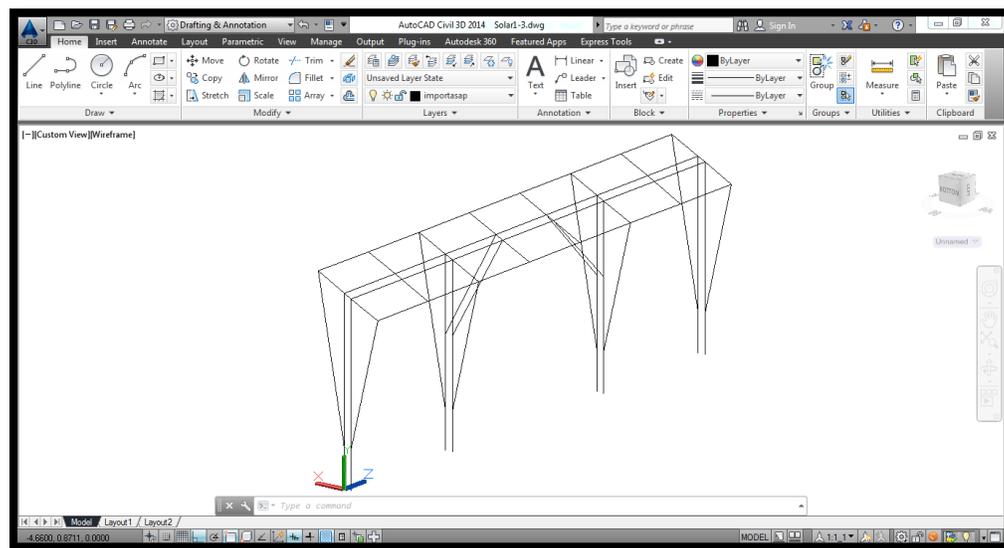


Figura 33: Estructura de soporte para siete módulos solares (1-7)

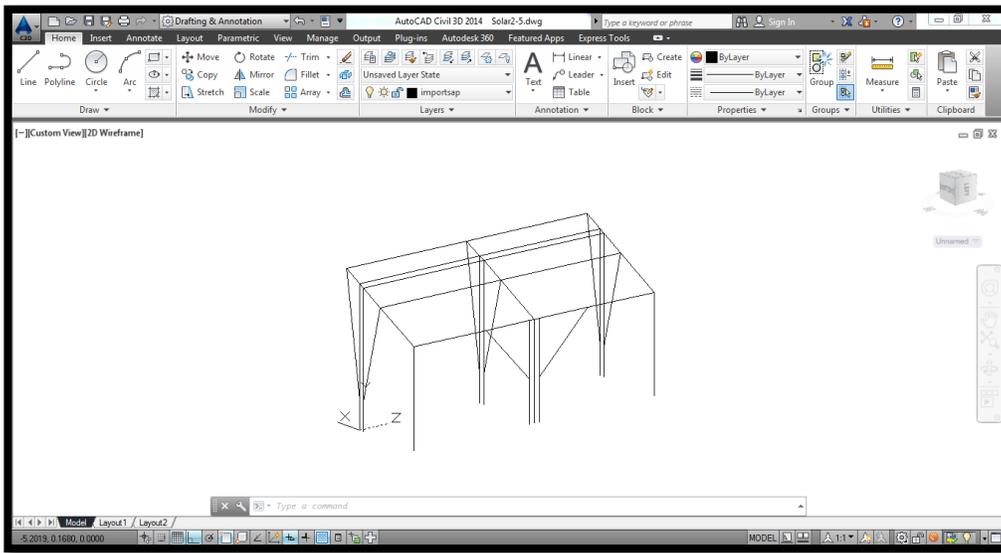


Figura 34: Estructura de soporte para diez módulos solares (2-5) Elaboración propia

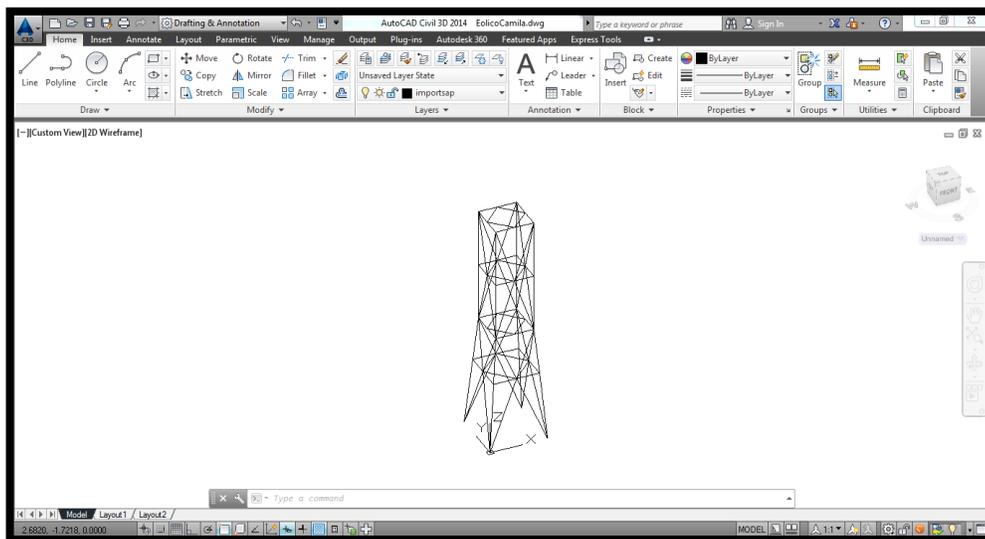


Figura 35: Estructura de soporte para el aerogenerador (E1)

4.2. COMBINACIONES DE CARGAS QUE SE UTILIZARON EN EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Las combinaciones de cargas que se le aplicaron a las estructuras de soporte para un sistema solar fotovoltaico y eólico presentadas en este proyecto nos dan como resultado 2 resultantes para cada caso tal y como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 16: Combinación de cargas (Resultante 1) para la estructura de soporte del sistema solar fotovoltaico

RESULTANTE 1 (R1)	
PESO 1 PANEL (kg)	7.5
CARGA VIENTO DIRECCIÓN X (kg/m)	2.29

Tabla 17: Combinación de cargas (Resultante 2) para la estructura de soporte del sistema solar fotovoltaico

RESULTANTE 2 (R2)	
PESO 1 PANEL (kg)	7.5
CARGA VIENTO DIRECCIÓN Y (kg/m)	2.29

Tabla 18: Combinación de cargas (Resultante 1) para la estructura de soporte del aerogenerador

RESULTANTE 1 (R1)		
CARGA MUERTA	PESO AEROGENERADOR (kg)	150
CARGA VIVA	1 PERSONA (kg)	100
	FUERZA IMPACTO VIENTO EN EL AEROGENERADOR (kg)	25.24
CARGA VIENTO DIRECCIÓN X (kg/m)		3.369

Tabla 19: Combinación de cargas (Resultante 2) para la estructura de soporte del aerogenerador

RESULTANTE 2 (R2)		
CARGA MUERTA	PESO AEROGENERADOR (kg)	150
CARGA VIVA	1 PERSONA (kg)	100
	FUERZA IMPACTO VIENTO EN EL AEROGENERADOR (kg)	25.24
CARGA VIENTO DIRECCIÓN Y (kg/m)		3.369

4.3. FUERZA PRODUCIDA POR IMPACTO DEL VIENTO FRENTE AL ROTOR DE UN AEROGENERADOR

Tabla 20: Velocidad de viento en el mes crítico expresado como fuerza

VELOCIDAD DE VIENTO EN EL MES CRÍTICO (m/s)	6.56
VELOCIDAD DE VIENTO EXPRESADO COMO FUERZA (kg)	25.24

4.4. Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1)

Los resultados mostrados en la Tabla 21 (resultados completos en el Anexo 1) indican los valores de carga admisible (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1, habiéndose diseñado independientemente según el tipo de fuerza axial presente en cada barra; el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas axiales producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1 no sobrepasaron la carga admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. El signo positivo y negativo representan el comportamiento de la fuerza presente en cada elemento, pudiendo ser de tensión o compresión axial en ese orden, eligiéndose el mayor de estos dos (magnitud con máxima fuerza) que al ser comparado con la carga que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

La fuerza axial y la carga admisible presente, diseñada para cada barra son de diferente magnitud (mayoría de casos). El valor máximo de la fuerza axial (arrojados por el software) fue de 173 kgf (compresión) y el mínimo fue de 3.63 kgf (compresión) mientras que el valor máximo para la carga admisible (resultados de diseño en tracción y compresión) fue de 5079.906 kgf y de 627.815 kgf para el mínimo.

La carga admisible para los miembros que trabajan a tracción, son mayores que la de los miembros que trabajan a compresión. Los miembros que presentaron fuerzas en compresión axial fueron comparados con sus respectivos valores de carga admisible obtenidos del diseño en compresión. Estos elementos, tienen una clasificación según el valor de su esbeltez (λ). Esta clasificación hace referencia al tipo de columna al que pertenecen; siendo columna corta ($\lambda < 30$), columna intermedia ($30 < \lambda < C_k$) y columna larga ($C_k < \lambda < 150$).

Tabla 21: Resumen de la carga aplicada a la estructura S1, carga admisible del material y clasificación de columnas según λ

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
1	-97.06	-81.99	-97.06	≤	627.81586	LARGA
2	-96.55	-173	-173.00	≤	4070.79860	INTERMEDIA
3	-90.47	-65.38	-90.47	≤	3589.30.349	INTERMEDIA
4	29.39	-39.12	-39.12	≤	3239.35350	INTERMEDIA
5	-3.77	-4.55	-4.55	≤	4127.42367	CORTA
6	-3.37	-4.62	-4.62	≤	4127.42367	CORTA
7	3.91	5.24	5.24	≤	5079.90606	-
8	3.91	3.8	3.91	≤	5079.90606	-
9	-2.48	-3.63	-3.63	≤	4075.61957	INTERMEDIA
10	-2.48	3.93	3.93	≤	5079.90606	-
11	-22.25	2.09	-22.25	≤	4127.42367	CORTA
12	-23.11	15.88	-23.11	≤	4127.42367	CORTA
13	19.38	8.01	19.38	≤	5079.90606	-

4.5. Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1-3)

Los resultados mostrados en la Tabla 22 (resultados completos en el Anexo 2) indican los valores de carga admisible (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1, habiéndose diseñado independientemente según el tipo de fuerza axial presente en cada barra; el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas axiales producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1-3 no sobrepasaron la carga admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. El signo positivo y negativo representan el comportamiento de la fuerza presente en cada elemento, pudiendo ser de tensión o compresión axial en ese orden, eligiéndose el mayor de estos dos (magnitud con máxima fuerza) que al ser comparado con la carga que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

La fuerza axial y la carga admisible presente, diseñada para cada barra son de diferente magnitud (mayoría de casos). El valor máximo de la fuerza axial (arrojados por el software) fue de 164.98 kgf (compresión) y el mínimo fue de 0.38 kgf (compresión) mientras que el valor máximo para la carga admisible (resultados de diseño en tracción y compresión) fue de 5079.906 kgf y de 2990.014 kgf para el mínimo. La carga admisible para los miembros que trabajan a tracción, son mayores que la de los miembros que trabajan a compresión. Los miembros que presentaron fuerzas en compresión axial fueron comparados con sus respectivos valores de carga admisible obtenidos del diseño en compresión. Estos elementos, tienen una clasificación según el valor de su esbeltez (λ). Esta clasificación hace referencia al tipo de columna al que pertenecen; siendo columna corta ($\lambda < 30$), columna intermedia ($30 < \lambda < C_k$) y columna larga ($C_k < \lambda < 150$).

Tabla 22: Resumen de la carga aplicada a la estructura S1-3, carga admisible del material y clasificación de columnas según λ

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
1	-164.96	-147.45	-164.96	≤	4070.7986	INTERMEDIA
2	-143.15	-155.56	-155.56	≤	4070.7986	INTERMEDIA
3	-77.81	-82.19	-82.19	≤	4127.42367	CORTA
4	-87.92	-80.23	-87.92	≤	4127.42367	CORTA
5	-31.55	-39.46	-39.46	≤	4127.42367	CORTA
6	-40.96	-37.27	-40.96	≤	4077.08686	INTERMEDIA
7	-82.62	-59.08	-82.62	≤	3673.76854	INTERMEDIA
8	-47.78	-68.94	-68.94	≤	2990.01421	INTERMEDIA
9	-164.98	-152.46	-164.98	≤	4070.7986	INTERMEDIA
10	-143.92	-161.54	-161.54	≤	4070.7986	INTERMEDIA
11	-77.84	-87.63	-87.63	≤	4127.42367	CORTA
12	-88.6	-86.47	-88.6	≤	4127.42367	CORTA
13	-31.64	-37.48	-37.48	≤	4127.42367	CORTA
14	-40.29	-34.33	-40.29	≤	4077.08686	INTERMEDIA
15	-82.61	-58.64	-82.61	≤	3673.76854	INTERMEDIA
16	-47.87	-68.68	-68.68	≤	2990.01421	INTERMEDIA
17	4.44	13.11	13.11	≤	5079.90606	-
18	3.23	8.6	8.6	≤	5079.90606	-
19	-1.28	8.81	8.81	≤	5079.90606	-
20	3.79	3.82	3.82	≤	5079.90606	-
21	-0.38	-0.56	-0.56	≤	4127.42367	CORTA
22	-3.76	-3.66	-3.76	≤	4127.42367	CORTA

23	3.86	5.6	5.6	≤	5079.90606	-
24	0.28	0.38	0.38	≤	5079.90606	-
25	-3.83	-5.44	-5.44	≤	4127.42367	CORTA
26	4.38	12.74	12.74	≤	5079.90606	-
27	3.07	8.44	8.44	≤	5079.90606	-
28	-1.16	9.13	9.13	≤	5079.90606	-
29	14.42	13.83	14.42	≤	5079.90606	-
30	9.22	7.77	9.22	≤	5079.90606	-
31	8.02	6.5	8.02	≤	5079.90606	-
32	-13.42	-14.36	-14.36	≤	4077.08686	INTERMEDIA
33	12.89	12.62	12.89	≤	5079.90606	-
34	-7.83	-8.05	-8.05	≤	4077.08686	INTERMEDIA
35	-9.04	-9.1	-9.1	≤	4077.08686	INTERMEDIA
36	-13.1	-13.38	-13.38	≤	4077.08686	INTERMEDIA
37	14.4	14.41	14.41	≤	5079.90606	-
38	9.37	10.81	10.81	≤	5079.90606	-
39	8.43	9.82	9.82	≤	5079.90606	-
40	-13.37	-13.02	-13.37	≤	4077.08686	INTERMEDIA
41	-35.91	-43.22	-43.22	≤	3926.07723	INTERMEDIA
42	-37.37	-44.35	-44.35	≤	3926.07723	INTERMEDIA
43	-35.97	-29.19	-35.97	≤	3926.07723	INTERMEDIA
44	-36.54	-29.32	-36.54	≤	3926.07723	INTERMEDIA

4.6 Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1-7)

Los resultados mostrados en la Tabla 23 (resultados completos en el Anexo 3) indican los valores de carga admisible (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1, habiéndose diseñado independientemente según el tipo de fuerza axial presente en cada barra; el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas axiales producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1-7 no sobrepasaron la carga admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. El signo positivo y negativo representan el comportamiento de la fuerza presente en cada elemento, pudiendo ser de tensión o compresión axial en ese orden, eligiéndose el mayor de estos dos (magnitud con máxima fuerza) que al ser comparado con la carga que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

La fuerza axial y la carga admisible presente, diseñada para cada barra son de diferente magnitud (mayoría de casos). El valor máximo de la fuerza axial (arrojados por el software) fue de 171.61 kgf (compresión) y el mínimo fue de 0.03638 kgf (compresión) mientras que el valor máximo para la carga admisible (resultados de diseño en tracción y compresión) fue de 5079.906 kgf y de 2990.014 kgf para el mínimo. La carga admisible para los miembros que trabajan a tracción, son mayores que la de los miembros que trabajan a compresión. Los miembros que presentaron fuerzas en compresión axial fueron comparados con sus respectivos valores de carga admisible obtenidos del diseño en compresión. Estos elementos, tienen una clasificación según el valor de su esbeltez (λ). Esta clasificación hace referencia al tipo de columna al que pertenecen; siendo columna corta ($\lambda < 30$), columna intermedia ($30 < \lambda < C_k$) y columna larga ($C_k < \lambda < 150$).

Tabla 23: Resumen de la carga aplicada a la estructura S1-7, carga admisible del material y clasificación de columnas según λ

ELEMENTO	R1 (Kgf)	R2 (Kgf)	MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (Kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
1	-164.92	-145.24	-164.92	\leq	4070.79860	INTERMEDIA
2	-123.52	-143.03	-143.03	\leq	4070.79860	INTERMEDIA
3	-51.44	-59.9	-59.9	\leq	3486.62770	INTERMEDIA
4	-65.97	-58.74	-65.97	\leq	3412.40281	INTERMEDIA
5	-109.74	-79.61	-109.74	\leq	3673.76854	INTERMEDIA
6	-50.28	-78.08	-78.08	\leq	2990.01421	INTERMEDIA
7	-179.45	-155.79	-179.45	\leq	4070.79860	INTERMEDIA
8	-148.34	-164.68	-164.68	\leq	4070.79860	INTERMEDIA
9	-86.9	-92.28	-92.28	\leq	4127.42367	CORTA
10	-99.86	-89.5	-99.86	\leq	4127.42367	CORTA
11	-40.65	-51.2	-51.2	\leq	4127.42367	CORTA
12	-52.84	-48.39	-52.84	\leq	4077.08686	INTERMEDIA
13	-88.29	-57.27	-88.29	\leq	3673.76854	INTERMEDIA
14	-40.86	-68.6	-68.6	\leq	2990.01442	INTERMEDIA
15	-180.19	-163.61	-180.19	\leq	4070.79860	INTERMEDIA
16	-147.7	-171.61	-171.61	\leq	4070.79860	INTERMEDIA
17	-86.59	-99.66	-99.66	\leq	4127.42367	CORTA
18	-100.1	-97.87	-100.1	\leq	4127.42367	CORTA
19	-40.35	-47.71	-47.71	\leq	4127.42367	CORTA
20	-53.08	-45.04	-53.08	\leq	4077.08686	INTERMEDIA
21	-89.4	-57.75	-89.4	\leq	3673.76854	INTERMEDIA
22	-39.95	-67.33	-67.33	\leq	2990.01421	INTERMEDIA

23	-153.31	-133.71	-153.31	≤	4070.79860	INTERMEDIA
24	-135.95	-155.7	-155.7	≤	4070.79860	INTERMEDIA
25	-53.18	-61.75	-61.75	≤	3486.62770	INTERMEDIA
26	-64.59	-57.61	-64.59	≤	3412.40281	INTERMEDIA
27	-96.15	-65.98	-96.15	≤	3673.76854	INTERMEDIA
28	-64.06	-92.06	-92.06	≤	2990.01421	INTERMEDIA
29	15.42	24.25	24.25	≤	5079.90606	-
30	8.16	15.36	15.36	≤	5079.90606	-
31	-5.32	10	10	≤	5079.90606	-
32	-0.98	1.45	1.45	≤	5079.90606	-
33	0.29	0.6	0.6	≤	5079.90606	-
34	1.06	1.74	1.74	≤	5079.90606	-
35	-2.04	11.51	11.51	≤	5079.90606	-
36	1.38	8.74	8.74	≤	5079.90606	-
37	-1.7	10.97	10.97	≤	5079.90606	-
38	3.54	3.43	3.54	≤	5079.90606	-
39	-0.39	-0.59	-0.59	≤	4127.42367	CORTA
40	-3.55	-3.26	-3.55	≤	4127.42367	CORTA
41	3.56	5.99	5.99	≤	5079.90606	-
42	-0.4	-0.41	-0.41	≤	4127.42367	CORTA
43	-3.58	-5.38	-5.38	≤	4127.42367	CORTA
44	-2.48	10.35	10.35	≤	5079.90606	-

45	1.14	8.32	8.32	≤	5079.90606	-
46	-2.01	11.2	11.2	≤	5079.90606	-
47	-1.04	1.38	1.38	≤	5079.90606	-
48	-0.26	0.53	0.53	≤	5079.90606	-
49	1.01	1.69	1.69	≤	5079.90606	-
50	8.5	17.44	17.44	≤	5079.90606	-
51	1.56	8.81	8.81	≤	5079.90606	-
52	-10.31	5.02	-10.31	≤	4127.42367	CORTA
53	-0.77	-1.06	-1.06	≤	4077.08686	INTERMEDIA
54	-0.3	-1.21	-1.21	≤	4077.08686	INTERMEDIA
55	-0.23	-1.38	-1.38	≤	4077.08686	INTERMEDIA
56	0.74	0.16	0.74	≤	5079.90606	-
57	-0.19	-0.94	-0.94	≤	4077.08686	INTERMEDIA
58	-0.63	-4.34	-4.34	≤	4077.08686	INTERMEDIA
59	-0.47	-3.02	-3.02	≤	4077.08686	INTERMEDIA
60	0.73	0.35	0.73	≤	5079.90606	-
61	0.73	0.22	0.73	≤	5079.90606	-
62	5.36	4.41	5.36	≤	5079.90606	-
63	8.16	4.36	8.16	≤	5079.90606	-
64	1.05	-0.0364	1.05	≤	5079.90606	-
65	0.27	-0.0652	0.27	≤	5079.90606	-
66	-8.85	-9.35	-9.35	≤	4077.08686	INTERMEDIA

67	-8.82	-9.2	-9.2	≤	4077.08686	INTERMEDIA
68	0.19	0.0031	0.19	≤	5079.90606	-
69	1.15	1.28	1.15	≤	5079.90606	-
70	8.34	11.45	11.45	≤	5079.90606	-
71	8.14	11.26	11.26	≤	5079.90606	-
72	0.63	1.38	1.38	≤	5079.90606	-
73	0.71	1.77	1.77	≤	5079.90606	-
74	-0.6	1.61	1.61	≤	5079.90606	-
75	-0.51	1.68	1.68	≤	5079.90606	-
76	-0.16	-0.0372	-0.16	≤	4077.08686	INTERMEDIA
77	0.72	0.84	0.84	≤	5079.90606	-
78	-0.25	0.84	0.84	≤	5079.90606	-
79	-0.27	0.85	0.85	≤	5079.90606	-
80	-0.76	-0.35	-0.76	≤	4077.08686	INTERMEDIA
81	-35.96	-46.04	-46.04	≤	3923.44865	INTERMEDIA
82	-36.62	-46.63	-46.63	≤	3926.07723	INTERMEDIA
83	-35.97	-26.55	-35.97	≤	3923.44865	INTERMEDIA
84	-36.62	-26.5	-36.62	≤	3926.07723	INTERMEDIA

4.7. Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S2-5)

Los resultados mostrados en la Tabla 24 (resultados completos en el Anexo 4) indican los valores de carga admisible (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1, habiéndose diseñado independientemente según el tipo de fuerza axial presente en cada barra; el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas axiales producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1 no sobrepasaron la carga admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. El signo positivo y negativo representan el comportamiento de la fuerza presente en cada elemento, pudiendo ser de tensión o compresión axial en ese orden, eligiéndose el mayor de estos dos (magnitud con máxima fuerza) que al ser comparado con la carga que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

La fuerza axial y la carga admisible presente, diseñada para cada barra son de diferente magnitud (mayoría de casos). El valor máximo de la fuerza axial (arrojados por el software) fue de 123.94 Kgf (compresión) y el mínimo fue de 0.9 kgf (compresión) mientras que el valor máximo para la carga admisible (resultados de diseño en tracción y compresión) fue de 5079.906 kgf y de 1036.681 kgf para el mínimo. La carga admisible para los miembros que trabajan a tracción, son mayores que la de los miembros que trabajan a compresión. Los miembros que presentaron fuerzas en compresión axial fueron comparados con sus respectivos valores de carga admisible obtenidos del diseño en compresión. Estos elementos, tienen una clasificación según el valor de su esbeltez (λ). Esta clasificación hace referencia al tipo de columna al que pertenecen; siendo columna corta ($\lambda < 30$), columna intermedia ($30 < \lambda < C_k$) y columna larga ($C_k < \lambda < 150$).

Tabla 24: Resumen de la carga aplicada a la estructura S2-5, carga admisible del material y clasificación de columnas según λ

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE BAMBÚ (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
1	-123.94	-103.58	-123.94	≤	4070.7986	INTERMEDIA
2	-103.59	-118.87	-118.87	≤	4070.7986	INTERMEDIA
3	-44.53	-54.59	-54.59	≤	3417.3362	INTERMEDIA
4	-59.04	-50.33	-59.04	≤	3337.2537	INTERMEDIA
5	-69.95	-42.38	-69.95	≤	3636.3819	INTERMEDIA
6	-36.97	-61.94	-61.94	≤	2960.9422	INTERMEDIA
7	-54.32	-55.9	-55.9	≤	1036.6812	LARGA
8	-60.6	-67.2	-67.2	≤	3848.6271	INTERMEDIA
9	-22.24	-23.1	-23.1	≤	4077.0869	INTERMEDIA
10	-43.38	-48.31	-48.31	≤	1036.6812	LARGA
11	-60.24	-61.14	-61.14	≤	3848.6271	INTERMEDIA
12	-22.23	-29.13	-29.13	≤	4077.0869	INTERMEDIA
13	-29.15	-17.84	-29.15	≤	3963.4911	INTERMEDIA
14	-29.79	-41.26	-41.26	≤	3926.0772	INTERMEDIA
15	-123.89	-101.66	-123.89	≤	4070.7986	INTERMEDIA
16	-103.66	-122.22	-122.22	≤	4070.7986	INTERMEDIA
17	-49.56	-55.91	-55.91	≤	3417.3362	INTERMEDIA
18	-59.03	-49.58	-59.03	≤	2960.9422	INTERMEDIA
19	-69.87	-38.92	-69.87	≤	3337.2537	INTERMEDIA
20	-37.06	-66.14	-66.14	≤	2960.9422	INTERMEDIA
21	-54.26	-59.65	-59.65	≤	1036.6812	LARGA
22	3.94	-5.08	-5.08	≤	4075.6196	INTERMEDIA

23	5.02	10.33	10.33	≤	5079.9061	-
24	-0.35	5.64	5.64	≤	5079.9061	-
25	-9.04	5.22	-9.04	≤	4127.4237	CORTA
26	5.71	-20.12	-20.12	≤	4075.6196	INTERMEDIA
27	35.03	30.16	35.03	≤	5079.9061	-
28	24.47	22.82	24.47	≤	5079.9061	-
29	6.85	15.53	15.53	≤	5079.9061	-
30	4.01	4.12	4.12	≤	5079.9061	-
31	5.08	13.43	13.43	≤	5079.9061	-
32	-0.31	7.64	7.64	≤	5079.9061	-
33	-9	7.08	-9	≤	4127.4237	CORTA
34	4.97	-4.7	4.97	≤	5079.9061	-
35	19.19	16.86	19.19	≤	5079.9061	-
36	14.41	13.19	14.41	≤	5079.9061	-
37	0.08113	-2.68	-2.68	≤	2071.6676	LARGA
38	-0.91	-0.81	-0.91	≤	2071.6676	LARGA
39	-1.21	-0.95	-1.21	≤	2071.6676	LARGA
40	-6.01	-4.15	-6.01	≤	2071.6676	LARGA
41	14.35	11.09	14.35	≤	5079.9061	-
42	18.37	18.29	18.37	≤	5079.9061	-
43	5.45	10.62	10.62	≤	5079.9061	-
44	0.23	2.96	2.96	≤	5079.9061	-
45	-0.9	-0.55	-0.9	≤	2071.6676	LARGA
46	-1.21	-0.86	-1.21	≤	2071.6676	LARGA
47	-6.03	-4.89	-6.03	≤	2071.6676	LARGA

4.8. Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (E1)

Los resultados mostrados en la Tabla 25 (resultados completos en el Anexo 5) indican los valores de carga admisible (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1, habiéndose diseñado independientemente según el tipo de fuerza axial presente en cada barra; el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas axiales producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1 no sobrepasaron la carga admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. El signo positivo y negativo representan el comportamiento de la fuerza presente en cada elemento, pudiendo ser de tensión o compresión axial en ese orden, eligiéndose el mayor de estos dos (magnitud con máxima fuerza) que al ser comparado con la carga que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

La fuerza axial y la carga admisible presente, diseñada para cada barra son de diferente magnitud (mayoría de casos). El valor máximo de la fuerza axial (arrojados por el software) fue de 334.22 kgf (compresión) y el mínimo fue de 0.96 kgf (compresión) mientras que el valor máximo para la carga admisible (resultados de diseño en tracción y compresión) fue de 5079.906 kgf y de 797.898 kgf para el mínimo. La carga admisible para los miembros que trabajan a tracción, son mayores que la de los miembros que trabajan a compresión. Los miembros que presentaron fuerzas en compresión axial fueron comparados con sus respectivos valores de carga admisible obtenidos del diseño en compresión. Estos elementos, tienen una clasificación según el valor de su esbeltez (λ). Esta clasificación hace referencia al tipo de columna al que pertenecen; siendo columna corta ($\lambda < 30$), columna intermedia ($30 < \lambda < C_k$) y columna larga ($C_k < \lambda < 150$).

Tabla 25: Resumen de la carga aplicada a la estructura E1, carga admisible del material y clasificación de columnas según λ

ELEMENTO	R 1 (kgf)	R 2 k)	FUERZA MAYOR APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
1	-127.33	-123.43	-127.33	≤	929.05559	LARGA
2	-88.91	-84.64	-88.91	≤	4006.72350	INTERMEDIA
3	-136.55	-136.06	-136.55	≤	3840.75923	INTERMEDIA
4	-99.98	-98.61	-99.98	≤	3840.75923	INTERMEDIA
5	-270.98	-142.02	-270.98	≤	929.05559	LARGA
6	-241.29	-104.73	-241.29	≤	4006.72350	INTERMEDIA
7	-108.97	-119.27	-119.27	≤	3840.75923	INTERMEDIA
8	-85.83	-79.23	-85.83	≤	3840.75923	INTERMEDIA
9	-271.93	-275.83	-275.83	≤	929.05559	LARGA
10	-242.56	-246.83	-246.83	≤	4006.72350	INTERMEDIA
11	-125.91	-126.4	-126.83	≤	3840.75923	INTERMEDIA
12	-109.92	-111.29	-111.29	≤	3840.75923	INTERMEDIA
13	-125.15	-254.11	-254.11	≤	929.05559	LARGA
14	-86.24	-222.8	-228.8	≤	4006.72350	INTERMEDIA
15	-117.03	-106.24	-117.03	≤	3840.75923	INTERMEDIA
16	-73.16	-79.76	-79.76	≤	3840.75923	INTERMEDIA
17	-12.2	-3.28	-12.2	≤	4127.42367	CORTA
18	7.56	-2.11	7.56	≤	5079.90606	-
19	55.53	33.16	55.53	≤	5079.90606	-
20	50.35	33.66	50.35	≤	5079.90606	-
21	-4.49	0.42	-4.49	≤	4127.42367	CORTA
22	4.86	-0.25	4.86	≤	5079.90606	-

23	3.14	0.26	3.14	≤	5079.90606	-
24	-3.04	-0.25	-3.04	≤	4127.42367	CORTA
25	-2.82	7.06	7.06	≤	5079.90606	-
26	-2.68	-11.88	-11.88	≤	4127.42367	CORTA
27	31.53	46.97	46.97	≤	5079.90606	-
28	31.03	52.14	52.14	≤	5079.90606	-
29	-0.35	4.79	4.79	≤	5079.90606	-
30	0.52	-4.52	-4.52	≤	4127.42367	CORTA
31	0.77	-2.07	-2.77	≤	4127.42367	CORTA
32	1.28	4.11	4.11	≤	5079.90606	-
33	-1.93	-11.81	-11.81	≤	4127.42367	CORTA
34	-1.87	7.33	7.33	≤	5079.90606	-
35	74.43	58.99	74.43	≤	5079.90606	-
36	73.93	52.82	73.93	≤	5079.90606	-
37	-0.2	-5.34	-5.34	≤	4127.42367	CORTA
38	0.57	5.63	5.63	≤	5079.90606	-
39	-0.99	3.84	3.84	≤	5079.90606	-
40	1.51	-1.32	1.51	≤	5079.90606	-
41	-12.31	-2.64	-12.31	≤	4127.42367	CORTA
42	7.65	-1.27	7.65	≤	5079.90606	-
43	55.61	72.3	72.3	≤	5079.90606	-
44	49.43	71.8	71.8	≤	5079.90606	-
445	-5.41	-0.3	-5.41	≤	4127.42367	CORTA
46	5.68	0.67	5.68	≤	5079.90606	-
47	4.78	1.99	4.78	≤	5079.90606	-
48	-0.39	2.5	2.5	≤	5079.90606	-
49	-13.3	-105.12	-105.12	≤	797.89812	LARGA
50	-333.15	-128.27	-333.15	≤	797.89812	LARGA
51	-219.42	-84.53	-219.42	≤	3963.77745	INTERMEDIA
52	-46.66	-65.75	-65.75	≤	3963.77745	INTERMEDIA
53	-20.52	-98.28	-98.28	≤	3773.51591	INTERMEDIA
54	-201.41	-131.46	-201.41	≤	3773.51591	INTERMEDIA
55	-136.84	-113.06	-136.84	≤	3773.51591	INTERMEDIA
56	-22.6	-44.58	-44.58	≤	3773.51591	INTERMEDIA
57	-101.37	-317.22	-317.22	≤	797.89812	LARGA
58	-110.96	-11.51	-110.96	≤	797.89812	LARGA
59	-67.32	-41.96	-67.32	≤	3963.77745	INTERMEDIA
60	-71.4	-205.59	-205.59	≤	3963.77745	INTERMEDIA

61	-116.26	-191.03	-191.03	≤	3773.51591	INTERMEDIA
62	-111.48	-27.8	-111.48	≤	3773.51591	INTERMEDIA
63	-56.18	-28.14	-56.18	≤	3773.51591	INTERMEDIA
64	-97.89	-125.73	-125.73	≤	3773.51591	INTERMEDIA
65	-234.77	-334.22	-334.22	≤	797.89812	LARGA
66	-234.75	-28.91	-234.75	≤	797.89812	LARGA
67	-197.76	-63.57	-197.76	≤	3963.77745	INTERMEDIA
68	-194.58	-219.94	-219.58	≤	3963.77745	INTERMEDIA
69	-104.79	-188.47	-188.47	≤	3773.51591	INTERMEDIA
70	-109.18	-34.42	-109.18	≤	3773.51591	INTERMEDIA
71	-101.4	-73.55	-101.4	≤	3773.51591	INTERMEDIA
72	-60.68	-88.9	-88.9	≤	3773.51591	INTERMEDIA
73	-12.98	-217.86	-217.86	≤	797.89812	LARGA
74	-332.43	-240.61	-332.43	≤	797.89812	LARGA
75	-215.24	-196.15	-215.24	≤	3963.77745	INTERMEDIA
76	-49.74	-184.63	-184.63	≤	3963.77745	INTERMEDIA
77	-24.04	-93.99	-93.99	≤	3773.51591	INTERMEDIA
78	-195.75	-117.98	-195.75	≤	3773.51591	INTERMEDIA
79	-94.73	-72.45	-94.73	≤	3773.51591	INTERMEDIA
80	-62.47	-86.25	-86.25	≤	3773.51591	INTERMEDIA
81	9.83	-17.67	-17.67	≤	4127.42367	CORTA
82	11.49	11.72	11.72	≤	4127.42367	CORTA
83	-18.67	8.83	-18.67	≤	4127.42367	CORTA
84	-16.95	-17.18	-17.18	≤	4127.42367	CORTA
85	6.41	1.89	6.41	≤	5079.90606	-
86	7.12	7.12	7.12	≤	5079.90606	-
87	1.89	6.41	6.41	≤	5079.90606	-
88	2.6	2.6	2.6	≤	5079.90606	-
89	1.29	-15.78	-15.78	≤	4127.42367	CORTA
90	16.22	16.26	16.26	≤	4127.42367	CORTA
91	-15.95	1.13	-15.95	≤	4127.42367	CORTA
92	-0.92	-0.96	-0.96	≤	4127.42367	CORTA
93	3.54	-2.66	3.54	≤	5079.90606	-
94	2.82	2.88	2.88	≤	5079.90606	-
95	-2.62	3.53	3.53	≤	5079.90606	-
96	-3.38	-3.38	-3.38	≤	4127.42367	CORTA

4.9. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a flexión (S1)

Los resultados mostrados en la Tabla 26, indican los valores de flexión (kgf-m) de cada miembro de bambú de la estructura S1, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Los momentos actuantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó el mayor momento actuante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo a flexión admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 4900000.

Tabla 26: Momentos actuantes en la estructura S1 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf-m)	R2 (Kgf-m)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO A FLEXIÓN ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	4.91	-1.21	75798.80	≤	4900000
2	4.86	0.27	75026.92	≤	4900000
3	6.29	-1.92	97102.74	≤	4900000
4	-6.45	-2.57	99572.77	≤	4900000
5	-2.33	-1.95	35969.70	≤	4900000
6	-2.33	2.01	35969.70	≤	4900000
7	-1.38	-2.31	35660.94	≤	4900000
8	-1.38	-2.34	36124.07	≤	4900000
9	-1.69	-1.21	26089.61	≤	4900000
10	-1.69	-1.21	26089.61	≤	4900000
11	-9.47	-4.02	146194.43	≤	4900000
12	-0.80	-0.54	12350.11	≤	4900000
13	-6.15	-5.27	94941.47	≤	4900000

4.10. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a flexión (S1-3)

Los resultados mostrados en la Tabla 27, indican los valores de flexión (kgf-m) de cada miembro de bambú de la estructura S1-3, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Los momentos actuantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1-3 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó el mayor momento actuante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo a flexión admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 4900000.

Tabla 27: Momentos actuantes en la estructura S1-3 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf-m)	R2 (Kgf-m)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO A FLEXIÓN ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	1.87	-0.63	28868.38	≤	4900000
2	2.81	2.26	43379.76	≤	4900000
3	4.52	-0.61	69778.12	≤	4900000
4	5.40	-0.31	83363.25	≤	4900000
5	1.88	0.46	29022.76	≤	4900000
6	2.64	-0.24	40755.36	≤	4900000
7	-1.96	-1.17	30257.77	≤	4900000
8	-3.59	-1.16	55421.12	≤	4900000
9	-1.12	-1.65	25472.10	≤	4900000
10	-1.12	-1.81	27942.12	≤	4900000
11	-1.12	-1.81	27942.12	≤	4900000
12	-1.12	-1.65	25472.10	≤	4900000
13	-1.08	-1.14	17598.91	≤	4900000
14	-0.13	-0.02971	2006.89	≤	4900000
15	-1.10	-1.78	27479.00	≤	4900000
16	-0.11	-0.02029	1698.14	≤	4900000
17	-4.96	-4.43	76570.68	≤	4900000
18	-4.91	-4.34	75798.80	≤	4900000
19	-3.58	-1.15	55266.74	≤	4900000
20	-1.95	-1.18	30103.39	≤	4900000

4.11. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a flexión (S1-7)

Los resultados mostrados en la Tabla 28, indican los valores de flexión (kgf-m) de cada miembro de bambú de la estructura S1-7, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Los momentos actuantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1-7 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó el mayor momento actuante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo a flexión admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 4900000.

Tabla 28: Momentos actuantes en la estructura S1-7 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf-m)	R2 (Kgf-m)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO A FLEXIÓN ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	0.84	2.89	44614.77	≤	4900000
2	2.51	0.67	38748.47	≤	4900000
3	3.11	0.04324	48011.05	≤	4900000
4	-2.26	-1.55	34889.06	≤	4900000
5	-3.97	-1.03	61287.42	≤	4900000
6	2.60	0.57	40137.86	≤	4900000
7	3.35	-1.08	517166.09	≤	4900000
8	2.78	0.37	42916.63	≤	4900000
9	3.53	-1.15	54494.86	≤	4900000
10	0.40	3.34	51561.71	≤	4900000
11	2.90	-0.28	44769.15	≤	4900000
12	3.48	0.32	53722.98	≤	4900000
13	-2.67	-1.15	41218.49	≤	4900000
14	-4.34	-1.39	66999.35	≤	4900000
15	-1.11	-1.89	29177.14	≤	4900000
16	-1.11	-1.89	29177.14	≤	4900000
17	2.53	-1.16	39057.22	≤	4900000
18	-4.00	-1.15	61750.55	≤	4900000
19	-2.43	-1.26	37513.46	≤	4900000
20	-3.93	-1.08	60669.92	≤	4900000

4.12. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a flexión (S2-5)

Los resultados mostrados en la Tabla 29, indican los valores de flexión (kgf-m) de cada miembro de bambú de la estructura S2-5, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Los momentos actuantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S2-5 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó el mayor momento actuante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo a flexión admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 4900000.

Tabla 29: Momentos actuantes en la estructura S2-5 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf-m)	R2 (Kgf-m)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO A FLEXIÓN ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	1.42	-1.94	29949.02	≤	4900000
2	2.43	0.55	37513.46	≤	4900000
3	2.78	0.21	42916.63	≤	4900000
4	-2.21	-1.56	34117.18	≤	4900000
5	-3.54	-0.96	54649.24	≤	4900000
6	3.21	-0.57	49554.82	≤	4900000
7	3.20	1.03	49400.44	≤	4900000
8	1.42	2.26	34889.06	≤	4900000
9	2.42	0.89	37359.08	≤	4900000
10	2.77	0.54	42762.26	≤	4900000
11	-2.20	-1.95	33962.80	≤	4900000
12	-3.54	-1.66	54649.24	≤	4900000
13	-0.24	-1.88	29022.76	≤	4900000
14	-0.21	-1.32	20377.68	≤	4900000
15	1.42	-1.88	29022.76	≤	4900000
16	2.42	-1.32	37359.08	≤	4900000
17	2.77	-3.12	48165.43	≤	4900000
18	-2.20	-1.55	33962.80	≤	4900000
19	-3.53	-2.33	54494.86	≤	4900000
20	2.75	-4.19	64683.70	≤	4900000

4.13. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a flexión (E1)

Los resultados mostrados en la Tabla 30, indican los valores de flexión (kgf-m) de cada miembro de bambú de la estructura E1, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Los momentos actuantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura E1 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó el mayor momento actuante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo a flexión admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 4900000.

Tabla 30: Momentos actuantes en la estructura E1 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (kgf-m)	R2 (kgf-m)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO A FLEXIÓN ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	-0.97	-1.57	24237.09	≤	4900000
2	-1.53	-1.28	23619.59	≤	4900000
3	-1.52	-4.14	63911.82	≤	4900000
4	1.53	-1.28	23619.59	≤	4900000
5	-1.77	-1.86	28714.01	≤	4900000
6	-1.79	-1.42	27633.37	≤	4900000
7	-1.77	-1.86	28714.01	≤	4900000
8	-1.79	-1.42	27633.37	≤	4900000
9	-2.20	-2.34	36124.07	≤	4900000
10	-2.26	-1.66	34889.06	≤	4900000
11	-2.20	-1.88	33962.80	≤	4900000
12	-2.26	-1.32	34889.06	≤	4900000
13	-1.77	-1.88	29022.76	≤	4900000
14	-1.82	-1.32	28096.56	≤	4900000
15	-1.77	-1.88	29022.76	≤	4900000
16	-1.82	-1.32	28096.56	≤	4900000
17	-0.97	-3.12	48165.43	≤	4900000
18	-1.12	-1.55	23928.34	≤	4900000
19	-1.17	-2.33	35969.70	≤	4900000
20	-1.17	-4.19	64683.70	≤	4900000

4.14. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a corte (S1)

Los resultados mostrados en la Tabla 31, indican los valores de corte (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas cortantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó la mayor fuerza cortante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo cortante admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 980000.

Tabla 31: Fuerzas cortantes en la estructura S1 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf)	R2 (Kgf)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	6.13	1.1	4107.94	≤	980000
2	19.8	-1.1	13268.70	≤	980000
3	8.51	2.18	5702.86	≤	980000
4	-9.78	-4.39	6553.94	≤	980000
5	11.85	10.32	7941.12	≤	980000
6	-11.85	-10.53	7941.12	≤	980000
7	7.96	11.78	7894.21	≤	980000
8	-7.96	-11.92	7988.03	≤	980000
9	7.86	-6.55	5267.27	≤	980000
10	7.86	-6.55	5267.27	≤	980000
11	45.72	20.38	30638.65	≤	980000
12	29.03	19.85	19454.07	≤	980000
13	-30.39	-26.14	20365.42	≤	980000

4.15. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a corte (S1-3)

Los resultados mostrados en la Tabla 32, indican los valores de corte (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1-3, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas cortantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1-3 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó la mayor fuerza cortante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo cortante admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 980000.

Tabla 32: Fuerzas cortantes en la estructura S1-3 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf)	R2 (Kgf)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	4.77	-1.37	3196.55	≤	980000
2	11.62	-9.03	7786.99	≤	980000
3	10.59	-1.34	7096.75	≤	980000
4	12.51	0.68	8383.41	≤	980000
5	4.78	-1	3203.25	≤	980000
6	6.17	0.5	4134.74	≤	980000
7	2.88	-3.19	1929.99	≤	980000
8	-6.78	-2.9	4543.53	≤	980000
9	6.85	7.94	5320.88	≤	980000
10	-6.86	-8.26	5535.33	≤	980000
11	-6.86	-8.27	5542.03	≤	980000
12	-6.85	-7.95	5327.59	≤	980000
13	-6.95	-7.08	4744.57	≤	980000
14	2.79	1	1869.68	≤	980000
15	-7.04	-10.04	6728.17	≤	980000
16	2.54	-0.83	1702.15	≤	980000
17	-11.95	-10.47	8008.13	≤	980000
18	-11.69	-10.12	7833.90	≤	980000
19	-6.78	-2.89	4543.53	≤	980000
20	2.88	-3.21	2151.14	≤	980000

4.16. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a corte (S1-7)

Los resultados mostrados en la Tabla 33, indican los valores de corte (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S1-7, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas cortantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S1-7 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó la mayor fuerza cortante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo cortante admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 980000.

Tabla 33: Fuerzas cortantes en la estructura S1-7 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf)	R2 (Kgf)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	3.74	-11.54	7733.38	≤	980000
2	4.13	-0.73	2767.66	≤	980000
3	4.73	-0.04588	3169.75	≤	980000
4	3.24	-3.65	2446.00	≤	980000
5	-7.14	-2.78	4784.78	≤	980000
6	-6.35	1.24	4255.37	≤	980000
7	-7.64	-2.82	5119.84	≤	980000
8	-6.74	0.81	4516.72	≤	980000
9	-8.02	-2.89	5374.50	≤	980000
10	1.97	-13.27	8892.71	≤	980000
11	4.56	-0.31	3055.82	≤	980000
12	5.13	0.38	3437.80	≤	980000
13	3.73	-3.17	2499.61	≤	980000
14	-7.49	-3.12	5019.32	≤	980000
15	-6.82	-8.44	5655.95	≤	980000
16	6.82	-8.43	5649.25	≤	980000
17	3.56	-3.18	2385.69	≤	980000
18	-7.17	-2.89	4804.88	≤	980000
19	3.94	-3.3	2640.34	≤	980000
20	-7.10	-2.82	4757.97	≤	980000

4.17. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a corte (S2-5)

Los resultados mostrados en la Tabla 34, indican los valores de corte (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura S2-5, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas cortantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura S2-5 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó la mayor fuerza cortante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo cortante admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 980000.

Tabla 34: Fuerzas cortantes en la estructura S2-5 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf)	R2 (Kgf)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/cm ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE (kgf/cm ²)
1	6.08	-7.76	5200.26	≤	980000
2	4.01	-0.53	2687.25	≤	980000
3	4.35	-0.22	2915.09	≤	980000
4	3.34	-3.85	2580.03	≤	980000
5	-6.50	2.47	4355.89	≤	980000
6	-5.05	0.66	3384.19	≤	980000
7	-5.04	1.2	3377.49	≤	980000
8	6.05	-9.04	6058.03	≤	980000
9	4.01	-0.95	2687.25	≤	980000
10	4.34	-0.56	2908.39	≤	980000
11	3.33	-4.31	2888.29	≤	980000
12	-6.49	2.74	4349.19	≤	980000
13	-5.24	1.19	3511.52	≤	980000
14	4.73	2.72	3169.75	≤	980000
15	6.05	-10.74	7197.27	≤	980000
16	4.01	-1.46	2687.25	≤	980000
17	4.34	-0.44	2908.39	≤	980000
18	3.33	-4.87	3263.57	≤	980000
19	-6.49	2.66	4349.19	≤	980000
20	-4.51	1.23	3022.32	≤	980000

4.18. Esfuerzo Admisible de elementos solicitados a corte (E1)

Los resultados mostrados en la Tabla 35, indican los valores de corte (kgf) de cada miembro de bambú de la estructura E1, el cual se detalla en la norma E.100 del Bambú.

Las fuerzas cortantes producidas por las combinaciones de cargas que se le aplicaron a la estructura E1 no sobrepasaron el esfuerzo admisible del Bambú Guadua, cumpliendo así con los requisitos de resistencia (la estructura soporta las cargas aplicadas) y de diseño de dicho material tal y como se estipula en la norma E.100.

Se aplicaron dos combinaciones de carga (R1 y R2), que estuvieron en función a la dirección del viento en X e Y, obteniendo dos valores de fuerza para cada elemento de bambú. Se utilizó la mayor fuerza cortante de cada elemento estructural; que al ser comparado con el esfuerzo que admite el material, mostró ser numéricamente menor para cada miembro de la estructura (no hay falla).

El valor del esfuerzo cortante admisible (resultados del diseño a flexión) fue de 980000.

Tabla 35: Fuerzas cortantes en la estructura E1 y esfuerzo admisible del material

ELEMENTO	R1 (Kgf)	R2 (Kgf)	MAYOR ESFUERZO APLICADO (kgf/m ²)	MENOR O IGUAL	ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE (kgf/m ²)
1	-5.85	-7.68	5146.65	≤	980000
2	7.57	-6.99	5072.93	≤	980000
3	7.54	10.05	6734.87	≤	980000
4	-7.57	6.99	5072.93	≤	980000
5	-8.32	-8.56	5736.37	≤	980000
6	8.37	-7.31	5609.04	≤	980000
7	8.32	8.56	5736.37	≤	980000
8	-8.37	7.31	5609.04	≤	980000
9	-9.54	-9.93	6654.46	≤	980000
10	9.70	-7.99	6500.33	≤	980000
11	9.54	-8.63	6393.10	≤	980000
12	-9.70	7.99	6500.33	≤	980000
13	-8.30	-8.63	5783.28	≤	980000
14	8.46	-7.03	5669.36	≤	980000
15	8.30	8.63	5783.28	≤	980000
16	-8.46	7.03	5669.36	≤	980000
17	-3.56	7.97	5340.99	≤	980000
18	-3.76	2.61	2519.71	≤	980000
19	3.81	-3.6	2553.22	≤	980000
20	3.81	9.33	6252.37	≤	980000

4.19 Fuerza producida por impacto del viento frente al rotor de un aerogenerador

La velocidad de arranque del aerogenerador es de 2.5 m/s y la velocidad máxima del viento (mes de Enero) es de 6.56 m/s para la generación de energía eléctrica aprovechando no del todo la potencia que podría generarse si estuviera frente a velocidades de viento más altas; teniendo como observación que esta investigación no se basa en los cálculos eléctricos de los equipos renovables a utilizar sino en hallar las cargas que soportarán las estructuras de soporte. En la siguiente tabla se muestra la velocidad máxima de viento al impactar en el rotor del aerogenerador el cual equivale a una fuerza de 25.24 kg. (Anexo 12)

Tabla 36: Velocidad de viento expresado como fuerza cuando está en funcionamiento el aerogenerador

Velocidad (m/s)	Fuerza (kg)
6.56	25.2379814

- En la Tabla 37 se muestran los resultados de las fuerzas producidas después de haberse tabulado a razón de 1.5 las velocidades de viento desde los 2.5 m/s (velocidad de arranque del aerogenerador) hasta los 20.83 m/s (velocidad mínima de diseño del viento).

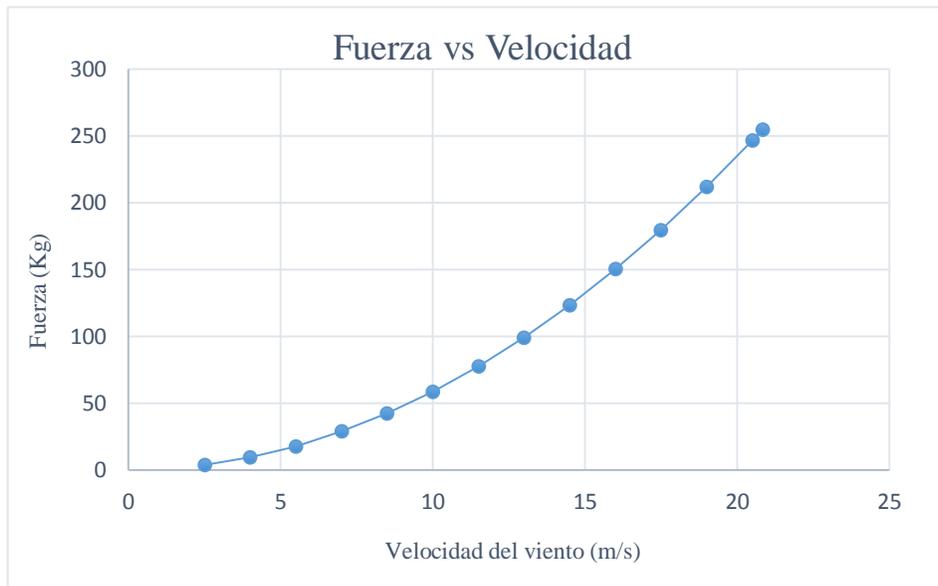
Asimismo se muestra como varía la fuerza en función de la velocidad, obteniéndose también como resultado una fuerza máxima de 254.46 kg para una velocidad mínima de diseño del viento de 20.83 m/s; variables importantes a tener en cuenta para saber cómo afecta, ya que cuando se diseñó nuestra torre, se tomó la velocidad más crítica del viento que es la que afecta directamente en un punto al aerogenerador.

Tabla 37: Fuerza producida por impacto del viento

Velocidad (m/s)	Fuerza (kg)
2.5	3.66544709
4	9.38354455
5.5	17.7407639
7	28.7371052
8.5	42.3725684
10	58.6471535
11.5	77.5608604
13	99.1136893
14.5	123.30564
16	150.136713
17.5	179.606907
19	211.716224
20.5	246.464662
20.83	254.463489

- En el siguiente grafico se muestra una curva en la cual se representa la variación de la fuerza de impacto en el aerogenerador cuando se le aplican diferentes velocidades de viento (m/s).

Gráfico 1: Variación de Fuerza - Velocidad



V. CONCLUSIONES

- Para las estructuras de soporte de paneles solares, los diseños de los elementos solicitados por carga axial, momento flexionante y fuerza cortante, cumplieron con lo establecido en la norma E.100 Bambú ya que el esfuerzo admisible del material no fue superado en ninguno de los casos por los esfuerzos que actúan en los elementos que conforman las estructuras ya mencionadas.
- Para la estructura de soporte del aerogenerador, los diseños de los elementos solicitados por carga axial, momento flexionante y fuerza cortante, cumplieron con lo establecido en la norma E.100 Bambú ya que el esfuerzo admisible del material no fue superado en ninguno de los casos por los esfuerzos que actúan en los elementos que conforman las estructuras ya mencionadas.
- Las uniones de los elementos estructurales de Bambú se consideraron como rotulas imperfectas, debido a que esta unión permite la rotación sobre el plano paralelo al perno y restringe la rotación sobre el plano perpendicular a este debido al tipo de corte de la pieza de Bambú

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un comparativo entre la carga admisible del material y la carga presente en cada elemento estructural, dado que puede presentarse un sobredimensionamiento (exceso de material) luego de realizar los diseños, el cual no se consideró en este proyecto de investigación por haberse trabajado con el bambú comercial.
- Si los modelos presentados llegan a una fase de construcción, se recomienda que las piezas de bambú estructural sean tratadas por el método de inmersión en soluciones de Borato; el cual conlleva a un mayor rendimiento contra agentes externos según Morales (2008).
- Sembrar bambú guadua como método de conservación ambiental mediante el control de la erosión.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ABB. 2012. Cuaderno de aplicaciones técnicas n° 12 Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Barcelona, España. 117p. Consultado 4 nov. 2016. Disponible en www.abb.es/bajatension
- Cobos, J; León, X. 2007. Propiedades físicas-mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí. Ecuador. 134p.
- Gálvez Román, R. 2005. Diseño y Cálculo Preliminar de la Torre de un Aerogenerador. Proyecto fin de carrera Ing. Técnica Industrial: Mecánica. Madrid, España. 190p. Consultado 3 oct. 2016. Disponible en http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12046/PFC_Raquel_Galvez_Roman_2005.pdf?sequence=1
- Landauro Ponce, DA. 2010. Características de Preservación por el Método de Inmersión del Tallo de Guadua angustifolia Kunth (Bambú), Proveniente del Distrito de la Florida, Cajamarca. Preservado del bambú. Tesis para optar el grado de Ing. Forestal, Lima. PE. UNALM. 90 p. Consultado el 10 de nov. 2016.
- Piriz Sagahon, I. 2013. Energía solar térmica y fotovoltaica aislada para pequeñas comunidades en Perú. Tesis para obtener el grado de Master de la carrera de Ing. Ambiental. Lima, Perú. 80p. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20215/Anexo%201.pdf?sequence=2>

- Pérez de los reyes, C. 2007. Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero. Tesis para optar el grado de Doctor por la Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 388p. Consultado el 10 de oct. 2016. Disponible en <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/aplicaciones-de-la-energ3ada-solar-al-tratamiento-tc3a9rmico-de-suelos-de-invernadero.pdf>
- Pareja Aparicio, M. 2010. Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada. Segunda edición. Editorial Marcombo S.A., Barcelona, 2010. ISBN: 978-84-267-1596-8. Consultado el 11 de jul. 2016.
- Martínez García, S. 2015. Bambú como Material Estructural: Generalidades, Aplicaciones y Modelización de una Estructura Tipo. Trabajo Fin de Grado. Valencia, España. 52p. Consultado 5 sep. 2016. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55983/MARTINEZ%20-%20Bamb%20C3%BA%20como%20material%20estructural%203A%20Generalidades,%20aplicaciones%20y%20modelizaci%C3%B3n%20de%20una%20est....pdf?sequence=1>
- MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006. Excerpts from NTP E70. Norma Técnica Peruana E70 ALBAÑILERIA. Consultado 4 jul. 2006. Disponible en <http://www.construccion.org.pe/normas/me2006.htm>.
- MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2012. Excerpts from NTP E100. Norma Técnica Peruana E100 BAMBÚ. Consultado el 4 de Octubre 2012. Disponible en http://www.vivienda.gob.pe/popup/Documentos_pdf/Proyecto_Normativo_Bambú.pdf
- MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2012. Excerpts from NTP E20. Norma Técnica Peruana E20 CARGAS. Consultado el 10 de Noviembre 2012. Disponible en http://www.vivienda.gob.pe/popup/Documentos_pdf/Proyecto_Normativo_Bambú.pdf
- Vargas Vasquez, W. 2016. Vigas de Concreto Reforzadas con Bambú (*Guadua Angustifolia*) para Construcciones Rural, Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrícola por la universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 220p. Consultado el 12 de jun. 2017.

VIII. ANEXOS

ANEXOS 1

Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1)

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (kgf/m ²)		MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE BAMBÚ (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(kgf/m ²)	(Mpa)	(kgf/m ²)	(Mpa)				
1	-97.06	-81.99	0.0032397	29959.19426	0.299592	25307.58641	0.253076	-97.06	≤	627.81586	LARGA
2	-96.55	-173	0.0032397	29801.77422	0.298018	53399.34686	0.533993	-173.00	≤	4070.79860	INTERMEDIA
3	-90.47	-65.38	0.0032397	27925.08041	0.279251	20180.63178	0.201806	-90.47	≤	3589.30.349	INTERMEDIA
4	29.39	-39.12	0.0032397	9071.71563	0.090717	12075.04306	0.120750	-39.12	≤	3239.35350	INTERMEDIA
5	-3.77	-4.55	0.0032397	1163.67363	0.011637	1404.43369	0.014044	-4.55	≤	4127.42367	CORTA
6	-3.37	-4.62	0.0032397	1040.20693	0.010402	1426.04036	0.014260	-4.62	≤	4127.42367	CORTA
7	3.91	5.24	0.0032397	1206.88697	0.012069	1617.41374	0.016174	5.24	≤	5079.90606	-
8	3.91	3.8	0.0032397	1206.88697	0.012069	1172.93363	0.011729	3.91	≤	5079.90606	-
9	-2.48	-3.63	0.0032397	765.49353	0.007655	1120.46028	0.011205	-3.63	≤	4075.61957	INTERMEDIA
10	-2.48	3.93	0.0032397	765.49353	0.007655	1213.06031	0.012131	3.93	≤	5079.90606	-
11	-22.25	2.09	0.0032397	6867.83507	0.068678	645.11350	0.006451	-22.25	≤	4127.42367	CORTA
12	-23.11	15.88	0.0032397	7133.28847	0.071333	4901.62791	0.049016	-23.11	≤	4127.42367	CORTA
13	19.38	8.01	0.0032397	5981.96152	0.059820	2472.42063	0.024724	19.38	≤	5079.90606	-

ANEXOS 2

Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1-3)

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (kgf/m ²)		MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(Kgf/m2)	(Mpa)	(Kgf/m2)	(Mpa)				
1	-164.96	-147.45	0.00323974	50917.66623	0.50918	45512.91153	0.45513	-164.96	≤	4070.7986	INTERMEDIA
2	-143.15	-155.56	0.00323974	44185.64453	0.44186	48016.19883	0.48016	-155.56	≤	4070.7986	INTERMEDIA
3	-77.81	-82.19	0.00323974	24017.35942	0.24017	25369.31976	0.25369	-82.19	≤	4127.42367	CORTA
4	-87.92	-80.23	0.00323974	27137.98021	0.27138	24764.33294	0.24764	-87.92	≤	4127.42367	CORTA
5	-31.55	-39.46	0.00323974	9738.4358	0.09738	12179.98975	0.12180	-39.46	≤	4127.42367	CORTA
6	-40.96	-37.27	0.00323974	12642.98987	0.12643	11504.00958	0.11504	-40.96	≤	4077.08686	INTERMEDIA
7	-82.62	-59.08	0.00323974	25502.04646	0.25502	18236.03129	0.18236	-82.62	≤	3673.76854	INTERMEDIA
8	-47.78	-68.94	0.00323974	14748.09707	0.14748	21279.48539	0.21279	-68.94	≤	2990.01421	INTERMEDIA
9	-164.98	-152.46	0.00323974	50923.83957	0.50924	47059.33192	0.47059	-164.98	≤	4070.7986	INTERMEDIA
10	-143.92	-161.54	0.00323974	44423.31792	0.44423	49862.02597	0.49862	-161.54	≤	4070.7986	INTERMEDIA
11	-77.84	-87.63	0.00323974	24026.61942	0.24027	27048.46685	0.27048	-87.63	≤	4127.42367	CORTA
12	-88.6	-86.47	0.00323974	27347.87359	0.27348	26690.41343	0.26690	-88.6	≤	4127.42367	CORTA
13	-31.64	-37.48	0.00323974	9766.215807	0.09766	11568.8296	0.11569	-37.48	≤	4127.42367	CORTA
14	-40.29	-34.33	0.00323974	12436.18315	0.12436	10596.52935	0.10597	-40.29	≤	4077.08686	INTERMEDIA
15	-82.61	-58.64	0.00323974	25498.95979	0.25499	18100.21792	0.18100	-82.61	≤	3673.76854	INTERMEDIA
16	-47.87	-68.68	0.00323974	14775.87708	0.14776	21199.23204	0.21199	-68.68	≤	2990.01421	INTERMEDIA
17	4.44	13.11	0.00323974	1370.480347	0.01370	4046.621025	0.04047	13.11	≤	5079.90606	-
18	3.23	8.6	0.00323974	996.9935859	0.00997	2654.534006	0.02655	8.6	≤	5079.90606	-
19	-1.28	8.81	0.00323974	395.0934334	0.00395	2719.354022	0.02719	8.81	≤	5079.90606	-
20	3.79	3.82	0.00323974	1169.846963	0.01170	1179.106965	0.01179	3.82	≤	5079.90606	-
21	-0.38	-0.56	0.00323974	117.293363	0.00117	172.8533771	0.00173	-0.56	≤	4127.42367	CORTA
22	-3.76	-3.66	0.00323974	1160.586961	0.01161	1129.720286	0.01130	-3.76	≤	4127.42367	CORTA

23	3.86	5.6	0.00323974	1191.453635	0.01191	1728.533771	0.01729	5.6	≤	5079.90606	-
24	0.28	0.38	0.00323974	86.42668856	0.00086	117.293363	0.00117	0.38	≤	5079.90606	-
25	-3.83	-5.44	0.00323974	1182.193633	0.01182	1679.147092	0.01679	-5.44	≤	4127.42367	CORTA
26	4.38	12.74	0.00323974	1351.960342	0.01352	3932.41433	0.03932	12.74	≤	5079.90606	-
27	3.07	8.44	0.00323974	947.6069067	0.00948	2605.147327	0.02605	8.44	≤	5079.90606	-
28	-1.16	9.13	0.00323974	358.053424	0.00358	2818.127381	0.02818	9.13	≤	5079.90606	-
29	14.42	13.83	0.00323974	4450.974461	0.04451	4268.861081	0.04269	14.42	≤	5079.90606	-
30	9.22	7.77	0.00323974	2845.907388	0.02846	2398.340608	0.02398	9.22	≤	5079.90606	-
31	8.02	6.5	0.00323974	2475.507294	0.02476	2006.333842	0.02006	8.02	≤	5079.90606	-
32	-13.42	-14.36	0.00323974	4142.307716	0.04142	4432.454456	0.04432	-14.36	≤	4077.08686	INTERMEDIA
33	12.89	12.62	0.00323974	3978.714341	0.03979	3895.37432	0.03895	12.89	≤	5079.90606	-
34	-7.83	-8.05	0.00323974	2416.860612	0.02417	2484.767296	0.02485	-8.05	≤	4077.08686	INTERMEDIA
35	-9.04	-9.1	0.00323974	2790.347374	0.02790	2808.867378	0.02809	-9.1	≤	4077.08686	INTERMEDIA
36	-13.1	-13.38	0.00323974	4043.534358	0.04044	4129.961046	0.04130	-13.38	≤	4077.08686	INTERMEDIA
37	14.4	14.41	0.00323974	4444.801126	0.04445	4447.887793	0.04448	14.41	≤	5079.90606	-
38	9.37	10.81	0.00323974	2892.207399	0.02892	3336.687512	0.03337	10.81	≤	5079.90606	-
39	8.43	9.82	0.00323974	2602.060659	0.02602	3031.107435	0.03031	9.82	≤	5079.90606	-
40	-13.37	-13.02	0.00323974	4126.874379	0.04127	4018.841018	0.04019	-13.37	≤	4077.08686	INTERMEDIA
41	-35.91	-43.22	0.00323974	11084.22281	0.11084	13340.57671	0.13341	-43.22	≤	3926.07723	INTERMEDIA
42	-37.37	-44.35	0.00323974	11534.87626	0.11535	13689.37013	0.13689	-44.35	≤	3926.07723	INTERMEDIA
43	-35.97	-29.19	0.00323974	11102.74281	0.11103	9009.982283	0.09010	-35.97	≤	3926.07723	INTERMEDIA
44	-36.54	-29.32	0.00323974	11278.68286	0.11279	9050.108959	0.09050	-36.54	≤	3926.07723	INTERMEDIA

ANEXOS 3

Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S1-7)

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (kgf/m ²)		FUERZA MAYOR APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(Kgf/m2)	(Mpa)	(Kgf/m2)	(Mpa)				
1	-164.92	-145.24	0.00323974	50905.31956	0.50905	44830.75802	0.44831	-164.92	≤	4070.79860	INTERMEDIA
2	-123.52	-143.03	0.00323974	38126.51633	0.38127	44148.60452	0.44149	-143.03	≤	4070.79860	INTERMEDIA
3	-51.44	-59.9	0.00323974	15877.81736	0.15878	18489.13802	0.18489	-59.9	≤	3486.62770	INTERMEDIA
4	-65.97	-58.74	0.00323974	20362.74516	0.20363	18131.08459	0.18131	-65.97	≤	3412.40281	INTERMEDIA
5	-109.74	-79.61	0.00323974	33873.08858	0.33873	24572.95956	0.24573	-109.74	≤	3673.76854	INTERMEDIA
6	-50.28	-78.08	0.00323974	15519.76393	0.15520	24100.69944	0.24101	-78.08	≤	2990.01421	INTERMEDIA
7	-179.45	-155.79	0.00323974	55390.24737	0.55390	48087.19218	0.48087	-164.68	≤	4070.79860	INTERMEDIA
8	-148.34	-164.68	0.00323974	45787.62493	0.45788	50831.23954	0.50831	-92.28	≤	4070.79860	INTERMEDIA
9	-86.9	-92.28	0.00323974	26823.14013	0.26823	28483.76722	0.28484	-92.28	≤	4127.42367	CORTA
10	-99.86	-89.5	0.00323974	30823.46114	0.30823	27625.67367	0.27626	-99.86	≤	4127.42367	CORTA
11	-40.65	-51.2	0.00323974	12547.30318	0.12547	15803.73734	0.15804	-51.2	≤	4127.42367	CORTA
12	-52.84	-48.39	0.00323974	16309.9508	0.16310	14936.38378	0.14936	-52.84	≤	4077.08686	INTERMEDIA
13	-88.29	-57.27	0.00323974	27252.1869	0.27252	17677.34448	0.17677	-88.29	≤	3673.76854	INTERMEDIA
14	-40.86	-68.6	0.00323974	12612.1232	0.12612	21174.53870	0.21175	-68.6	≤	2990.01442	INTERMEDIA
15	-180.19	-163.61	0.00323974	55618.66076	0.55619	50500.96613	0.50501	-180.19	≤	4070.79860	INTERMEDIA
16	-147.7	-171.61	0.00323974	45590.07822	0.45590	52970.30009	0.52970	-171.61	≤	4070.79860	INTERMEDIA
17	-86.59	-99.66	0.00323974	26727.45344	0.26727	30761.72779	0.30762	-99.66	≤	4127.42367	CORTA
18	-100.1	-97.87	0.00323974	30897.54116	0.30898	30209.21432	0.30209	-100.1	≤	4127.42367	CORTA
19	-40.35	-47.71	0.00323974	12454.70316	0.12455	14726.49040	0.14726	-47.71	≤	4127.42367	CORTA
20	-53.08	-45.04	0.00323974	16384.03082	0.16384	13902.35019	0.13902	-53.08	≤	4077.08686	INTERMEDIA
21	-89.4	-57.75	0.00323974	27594.80699	0.27595	17825.50452	0.17826	-89.4	≤	3673.76854	INTERMEDIA
22	-39.95	-67.33	0.00323974	12331.23646	0.12331	20782.53193	0.20783	-67.33	≤	2990.01421	INTERMEDIA

23	-153.31	-133.71	0.00323974	47321.69865	0.47322	41271.83046	0.41272	-153.31	≤	4070.79860	INTERMEDIA
24	-135.95	-155.7	0.00323974	41963.24396	0.41963	48059.41218	0.48059	-155.7	≤	4070.79860	INTERMEDIA
25	-53.18	-61.75	0.00323974	16414.89749	0.16415	19060.17150	0.19060	-61.75	≤	3486.62770	INTERMEDIA
26	-64.59	-57.61	0.00323974	19936.78505	0.19937	17782.29117	0.17782	-64.59	≤	3412.40281	INTERMEDIA
27	-96.15	-65.98	0.00323974	29678.30752	0.29678	20365.83183	0.20366	-96.15	≤	3673.76854	INTERMEDIA
28	-64.06	-92.06	0.00323974	19773.19168	0.19773	28415.86053	0.28416	-92.06	≤	2990.01421	INTERMEDIA
29	15.42	24.25	0.00323974	4759.641206	0.04760	7485.16856	0.07485	24.25	≤	5079.90606	-
30	8.16	15.36	0.00323974	2518.720638	0.02519	4741.12120	0.04741	15.36	≤	5079.90606	-
31	-5.32	10	0.00323974	1642.107083	0.01642	3086.66745	0.03087	10	≤	5079.90606	-
32	-0.98	1.45	0.00323974	302.49341	0.00302	447.56678	0.00448	1.45	≤	5079.90606	-
33	0.29	0.6	0.00323974	89.51335601	0.00090	185.20005	0.00185	0.6	≤	5079.90606	-
34	1.06	1.74	0.00323974	327.1867496	0.00327	537.08014	0.00537	1.74	≤	5079.90606	-
35	-2.04	11.51	0.00323974	629.6801595	0.00630	3552.75423	0.03553	11.51	≤	5079.90606	-
36	1.38	8.74	0.00323974	425.9601079	0.00426	2697.74735	0.02698	8.74	≤	5079.90606	-
37	-1.7	10.97	0.00323974	524.7334663	0.00525	3386.07419	0.03386	10.97	≤	5079.90606	-
38	3.54	3.43	0.00323974	1092.680277	0.01093	1058.72693	0.01059	3.54	≤	5079.90606	-
39	-0.39	-0.59	0.00323974	120.3800305	0.00120	182.11338	0.00182	-0.59	≤	4127.42367	CORTA
40	-3.55	-3.26	0.00323974	1095.766944	0.01096	1006.25359	0.01006	-3.55	≤	4127.42367	CORTA
41	3.56	5.99	0.00323974	1098.853612	0.01099	1848.91380	0.01849	5.99	≤	5079.90606	-
42	-0.4	-0.41	0.00323974	123.4666979	0.00123	126.55337	0.00127	-0.41	≤	4127.42367	CORTA
43	-3.58	-5.38	0.00323974	1105.026947	0.01105	1660.62709	0.01661	-5.38	≤	4127.42367	CORTA
44	-2.48	10.35	0.00323974	765.4935273	0.00765	3194.70081	0.03195	10.35	≤	5079.90606	-

45	1.14	8.32	0.00323974	351.8800891	0.00352	2568.10732	0.02568	8.32	≤	5079.90606	-
46	-2.01	11.2	0.00323974	620.4201572	0.00620	3457.06754	0.03457	11.2	≤	5079.90606	-
47	-1.04	1.38	0.00323974	321.0134147	0.00321	425.96011	0.00426	1.38	≤	5079.90606	-
48	-0.26	0.53	0.00323974	80.25335366	0.00080	163.59337	0.00164	0.53	≤	5079.90606	-
49	1.01	1.69	0.00323974	311.7534123	0.00312	521.64680	0.00522	1.69	≤	5079.90606	-
50	8.5	17.44	0.00323974	2623.667331	0.02624	5383.14803	0.05383	17.44	≤	5079.90606	-
51	1.56	8.81	0.00323974	481.520122	0.00482	2719.35402	0.02719	8.81	≤	5079.90606	-
52	-10.31	5.02	0.00323974	3182.35414	0.03182	1549.50706	0.01550	-10.31	≤	4127.42367	CORTA
53	-0.77	-1.06	0.00323974	237.6733935	0.00238	327.18675	0.00327	-1.06	≤	4077.08686	INTERMEDIA
54	-0.3	-1.21	0.00323974	92.60002346	0.00093	373.48676	0.00373	-1.21	≤	4077.08686	INTERMEDIA
55	-0.23	-1.38	0.00323974	70.99335132	0.00071	425.96011	0.00426	-1.38	≤	4077.08686	INTERMEDIA
56	0.74	0.16	0.00323974	228.4133912	0.00228	49.38668	0.00049	0.74	≤	5079.90606	-
57	-0.19	-0.94	0.00323974	58.64668152	0.00059	290.14674	0.00290	-0.94	≤	4077.08686	INTERMEDIA
58	-0.63	-4.34	0.00323974	194.4600493	0.00194	1339.61367	0.01340	-4.34	≤	4077.08686	INTERMEDIA
59	-0.47	-3.02	0.00323974	145.0733701	0.00145	932.17357	0.00932	-3.02	≤	4077.08686	INTERMEDIA
60	0.73	0.35	0.00323974	225.3267237	0.00225	108.03336	0.00108	0.73	≤	5079.90606	-
61	0.73	0.22	0.00323974	225.3267237	0.00225	67.90668	0.00068	0.73	≤	5079.90606	-
62	5.36	4.41	0.00323974	1654.453752	0.01654	1361.22034	0.01361	5.36	≤	5079.90606	-
63	8.16	4.36	0.00323974	2518.720638	0.02519	1345.78701	0.01346	8.16	≤	5079.90606	-
64	1.05	-0.03638	0.00323974	324.1000821	0.00324	11.22930	0.00011	1.05	≤	5079.90606	-
65	0.27	-0.0652	0.00323974	83.34002111	0.00083	20.12507	0.00020	0.27	≤	5079.90606	-
66	-8.85	-9.35	0.00323974	2731.700692	0.02732	2886.03406	0.02886	-9.35	≤	4077.08686	INTERMEDIA

67	-8.82	-9.2	0.00323974	2722.44069	0.02722	2839.73405	0.02840	-9.2	≤	4077.08686	INTERMEDIA
68	0.19	0.0031	0.00323974	58.64668152	0.00059	0.95687	0.00001	0.19	≤	5079.90606	-
69	1.15	1.28	0.00323974	354.9667566	0.00355	395.09343	0.00395	1.28	≤	5079.90606	-
70	8.34	11.45	0.00323974	2574.280652	0.02574	3534.23423	0.03534	11.45	≤	5079.90606	-
71	8.14	11.26	0.00323974	2512.547303	0.02513	3475.58755	0.03476	11.26	≤	5079.90606	-
72	0.63	1.38	0.00323974	194.4600493	0.00194	425.96011	0.00426	1.38	≤	5079.90606	-
73	0.71	1.77	0.00323974	219.1533889	0.00219	546.34014	0.00546	1.77	≤	5079.90606	-
74	-0.6	1.61	0.00323974	185.2000469	0.00185	496.95346	0.00497	1.61	≤	5079.90606	-
75	-0.51	1.68	0.00323974	157.4200399	0.00157	518.56013	0.00519	1.68	≤	5079.90606	-
76	-0.16	-0.03717	0.00323974	49.38667918	0.00049	11.47314	0.00011	-0.16	≤	4077.08686	INTERMEDIA
77	0.72	0.84	0.00323974	222.2400563	0.00222	259.28007	0.00259	0.84	≤	5079.90606	-
78	-0.25	0.84	0.00323974	77.16668622	0.00077	259.28007	0.00259	0.84	≤	5079.90606	-
79	-0.27	0.85	0.00323974	83.34002111	0.00083	262.36673	0.00262	0.85	≤	5079.90606	-
80	-0.76	-0.35	0.00323974	234.5867261	0.00235	108.03336	0.00108	-0.76	≤	4077.08686	INTERMEDIA
81	-35.96	-46.04	0.00323974	11099.65615	0.11100	14211.01693	0.14211	-46.04	≤	3923.44865	INTERMEDIA
82	-36.62	-46.63	0.00323974	11303.3762	0.11303	14393.13031	0.14393	-46.63	≤	3926.07723	INTERMEDIA
83	-35.97	-26.55	0.00323974	11102.74281	0.11103	8195.10208	0.08195	-35.97	≤	3923.44865	INTERMEDIA
84	-36.62	-26.5	0.00323974	11303.3762	0.11303	8179.66874	0.08180	-36.62	≤	3926.07723	INTERMEDIA

ANEXOS 4

Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (S2-5)

ELEMENTO	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (kgf/m ²)		MAYOR FUERZA APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE BAMBÚ (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(Kgf/m ²)	(Mpa)	(Kgf/m ²)	(Mpa)				
1	-123.94	-103.58	0.00323974	38256.15636	0.38256	32363.70820	0.31972	-123.94	≤	4070.7986	INTERMEDIA
2	-103.59	-118.87	0.00323974	31974.78810	0.31975	36691.21596	0.36691	-118.87	≤	4070.7986	INTERMEDIA
3	-44.53	-54.59	0.00323974	13744.93015	0.13745	16850.11760	0.16850	-54.59	≤	3417.3362	INTERMEDIA
4	-59.04	-50.33	0.00323974	18223.68462	0.18224	15535.19727	0.15535	-59.04	≤	3337.2537	INTERMEDIA
5	-69.95	-42.38	0.00323974	21591.23880	0.21591	13081.29665	0.13081	-69.95	≤	3636.3819	INTERMEDIA
6	-36.97	-61.94	0.00323974	11411.40956	0.11411	19118.81818	0.19119	-61.94	≤	2960.9422	INTERMEDIA
7	-54.32	-55.9	0.00323974	16766.77758	0.16767	17254.47104	0.17254	-55.9	≤	1036.6812	LARGA
8	-60.6	-67.2	0.00323974	18705.20474	0.18705	20742.40525	0.20742	-67.2	≤	3848.6271	INTERMEDIA
9	-22.24	-23.1	0.00323974	6864.74841	0.06865	7130.20181	0.07130	-23.1	≤	4077.0869	INTERMEDIA
10	-43.38	-48.31	0.00323974	13389.96339	0.13390	14911.69044	0.14912	-48.31	≤	1036.6812	LARGA
11	-60.24	-61.14	0.00323974	18594.08471	0.18594	18871.88478	0.18872	-61.14	≤	3848.6271	INTERMEDIA
12	-22.23	-29.13	0.00323974	6861.66174	0.06862	8991.46228	0.08991	-29.13	≤	4077.0869	INTERMEDIA
13	-29.15	-17.84	0.00323974	8997.63561	0.08998	5506.61473	0.05507	-29.15	≤	3963.4911	INTERMEDIA
14	-29.79	-41.26	0.00323974	9195.18233	0.09195	12735.58989	0.12736	-41.26	≤	3926.0772	INTERMEDIA
15	-123.89	-101.66	0.00323974	38240.72302	0.38241	31379.06128	0.31379	-123.89	≤	4070.7986	INTERMEDIA
16	-103.66	-122.22	0.00323974	31996.39477	0.31996	37725.24956	0.37725	-122.22	≤	4070.7986	INTERMEDIA
17	-49.56	-55.91	0.00323974	15297.52388	0.15298	17257.55771	0.17258	-55.91	≤	3417.3362	INTERMEDIA
18	-59.03	-49.58	0.00323974	18220.59795	0.18221	15303.69721	0.15304	-59.03	≤	2960.9422	INTERMEDIA
19	-69.87	-38.92	0.00323974	21566.54546	0.21567	12013.30971	0.12013	-69.87	≤	3337.2537	INTERMEDIA
20	-37.06	-66.14	0.00323974	11439.18956	0.11439	20415.21851	0.20415	-66.14	≤	2960.9422	INTERMEDIA
21	-54.26	-59.65	0.00323974	16748.25758	0.16748	18411.97133	0.18412	-59.65	≤	1036.6812	LARGA
22	3.94	-5.08	0.00323974	1216.14697	0.01216	1568.02706	0.01568	-5.08	≤	4075.6196	INTERMEDIA

23	5.02	10.33	0.00323974	1549.50706	0.01550	3188.52747	0.03189	10.33	≤	5079.9061	-
24	-0.35	5.64	0.00323974	108.03336	0.00108	1740.88044	0.01741	5.64	≤	5079.9061	-
25	-9.04	5.22	0.00323974	2790.34737	0.02790	1611.24041	0.01611	-9.04	≤	4127.4237	CORTA
26	5.71	-20.12	0.00323974	1762.48711	0.01762	6210.37491	0.06210	-20.12	≤	4075.6196	INTERMEDIA
27	35.03	30.16	0.00323974	10812.59607	0.10813	9309.38903	0.09309	35.03	≤	5079.9061	-
28	24.47	22.82	0.00323974	7553.07525	0.07553	7043.77512	0.07044	24.47	≤	5079.9061	-
29	6.85	15.53	0.00323974	2114.36720	0.02114	4793.59455	0.04794	15.53	≤	5079.9061	-
30	4.01	4.12	0.00323974	1237.75365	0.01238	1271.70699	0.01272	4.12	≤	5079.9061	-
31	5.08	13.43	0.00323974	1568.02706	0.01568	4145.39438	0.04145	13.43	≤	5079.9061	-
32	-0.31	7.64	0.00323974	95.68669	0.00096	2358.21393	0.02358	7.64	≤	5079.9061	-
33	-9	7.08	0.00323974	2778.00070	0.02778	2185.36055	0.02185	-9	≤	4127.4237	CORTA
34	4.97	-4.7	0.00323974	1534.07372	0.01534	1450.73370	0.01451	4.97	≤	5079.9061	-
35	19.19	16.86	0.00323974	5923.31483	0.05923	5204.12132	0.05204	19.19	≤	5079.9061	-
36	14.41	13.19	0.00323974	4447.88779	0.04448	4071.31436	0.04071	14.41	≤	5079.9061	-
37	0.08113	-2.68	0.00323974	25.04213	0.00025	827.22688	0.00827	-2.68	≤	2071.6676	LARGA
38	-0.91	-0.81	0.00323974	280.88674	0.00281	250.02006	0.00250	-0.91	≤	2071.6676	LARGA
39	-1.21	-0.95	0.00323974	373.48676	0.00373	293.23341	0.00293	-1.21	≤	2071.6676	LARGA
40	-6.01	-4.15	0.00323974	1855.08714	0.01855	1280.96699	0.01281	-6.01	≤	2071.6676	LARGA
41	14.35	11.09	0.00323974	4429.36779	0.04429	3423.11420	0.03423	14.35	≤	5079.9061	-
42	18.37	18.29	0.00323974	5670.20810	0.05670	5645.51476	0.05646	18.37	≤	5079.9061	-
43	5.45	10.62	0.00323974	1682.23376	0.01682	3278.04083	0.03278	10.62	≤	5079.9061	-
44	0.23	2.96	0.00323974	70.99335	0.00071	913.65356	0.00914	2.96	≤	5079.9061	-
45	-0.9	-0.55	0.00323974	277.80007	0.00278	169.76671	0.00170	-0.9	≤	2071.6676	LARGA
46	-1.21	-0.86	0.00323974	373.48676	0.00373	265.45340	0.00265	-1.21	≤	2071.6676	LARGA
47	-6.03	-4.89	0.00323974	1861.26047	0.01861	1509.38038	0.01509	-6.03	≤	2071.6676	LARGA

ANEXOS 5

Carga Admisible de elementos solicitados a fuerza axial (E1)

ELEMENTO	RESULTANTE 1 (Kgf)	RESULTANTE 2 (Kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS EN LA DIRECCION X		ESFUERZOS EN LA DIRECCION Y (Kgf/m ²)		FUERZA MAYOR APLICADA (Kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (Kgf)	CLASIFICACION DE COLUMNA
				(Kgf/m ²)	(Mpa)	(Kgf/m ²)	(Mpa)				
1	-127.33	-123.43	0.0032397	39302.5366	0.39303	38098.73632	38098.73632	-127.33	≤	929.05559	LARGA
2	-88.91	-84.64	0.0032397	27443.5603	0.27444	26125.55329	26125.55329	-88.91	≤	4006.72350	INTERMEDIA
3	-136.55	-136.06	0.0032397	42148.4440	0.42148	41997.19731	41997.19731	-136.55	≤	3840.75923	INTERMEDIA
4	-99.98	-98.61	0.0032397	30860.5012	0.30861	30437.62771	30437.62771	-99.98	≤	3840.75923	INTERMEDIA
5	-270.98	-142.02	0.0032397	83642.5145	0.83643	43836.85111	43836.85111	-270.98	≤	929.05559	LARGA
6	-241.29	-104.73	0.0032397	74478.1989	0.74478	32326.66819	32326.66819	-241.29	≤	4006.72350	INTERMEDIA
7	-108.97	-119.27	0.0032397	33635.4152	0.33635	36814.68266	36814.68266	-119.27	≤	3840.75923	INTERMEDIA
8	-85.83	-79.23	0.0032397	26492.8667	0.26493	24455.66620	24455.66620	-85.83	≤	3840.75923	INTERMEDIA
9	-271.93	-275.83	0.0032397	83935.7479	0.83936	85139.54824	85139.54824	-275.83	≤	929.05559	LARGA
10	-242.56	-246.83	0.0032397	74870.2056	0.74870	76188.21263	76188.21263	-246.83	≤	4006.72350	INTERMEDIA
11	-125.91	-126.4	0.0032397	38864.2298	0.38864	39015.47655	39015.47655	-126.83	≤	3840.75923	INTERMEDIA
12	-109.92	-111.29	0.0032397	33928.6486	0.33929	34351.52204	34351.52204	-111.29	≤	3840.75923	INTERMEDIA
13	-125.15	-254.11	0.0032397	38629.6431	0.38630	78435.30654	78435.30654	-254.11	≤	929.05559	LARGA
14	-86.24	-222.8	0.0032397	26619.4201	0.26619	68770.95076	68770.95076	-228.8	≤	4006.72350	INTERMEDIA
15	-117.03	-106.24	0.0032397	36123.2692	0.36123	32792.75497	32792.75497	-117.03	≤	3840.75923	INTERMEDIA
16	-73.16	-79.76	0.0032397	22582.0591	0.22582	24619.25957	24619.25957	-79.76	≤	3840.75923	INTERMEDIA
17	-12.2	-3.28	0.0032397	3765.7343	0.03766	1012.42692	1012.42692	-12.2	≤	4127.42367	CORTA
18	7.56	-2.11	0.0032397	2333.5206	0.02334	651.28683	651.28683	7.56	≤	5079.90606	-
19	55.53	33.16	0.0032397	17140.2643	0.17140	10235.38926	10235.38926	55.53	≤	5079.90606	-
20	50.35	33.66	0.0032397	15541.3706	0.15541	10389.72263	10389.72263	50.35	≤	5079.90606	-
21	-4.49	0.42	0.0032397	1385.9137	0.01386	129.64003	129.64003	-4.49	≤	4127.42367	CORTA
22	4.86	-0.25	0.0032397	1500.1204	0.01500	77.16669	77.16669	4.86	≤	5079.90606	-

23	3.14	0.26	0.0032397	969.2136	0.00969	80.25335	80.25335	3.14	≤	5079.90606	-
24	-3.04	-0.25	0.0032397	938.3469	0.00938	77.16669	77.16669	-3.04	≤	4127.42367	CORTA
25	-2.82	7.06	0.0032397	870.4402	0.00870	2179.18722	2179.18722	7.06	≤	5079.90606	-
26	-2.68	-11.88	0.0032397	827.2269	0.00827	3666.96093	3666.96093	-11.88	≤	4127.42367	CORTA
27	31.53	46.97	0.0032397	9732.2625	0.09732	14498.07701	14498.07701	46.97	≤	5079.90606	-
28	31.03	52.14	0.0032397	9577.9291	0.09578	16093.88408	16093.88408	52.14	≤	5079.90606	-
29	-0.35	4.79	0.0032397	108.0334	0.00108	1478.51371	1478.51371	4.79	≤	5079.90606	-
30	0.52	-4.52	0.0032397	160.5067	0.00161	1395.17369	1395.17369	-4.52	≤	4127.42367	CORTA
31	0.77	-2.07	0.0032397	237.6734	0.00238	638.94016	638.94016	-2.77	≤	4127.42367	CORTA
32	1.28	4.11	0.0032397	395.0934	0.00395	1268.62032	1268.62032	4.11	≤	5079.90606	-
33	-1.93	-11.81	0.0032397	595.7268	0.00596	3645.35426	3645.35426	-11.81	≤	4127.42367	CORTA
34	-1.87	7.33	0.0032397	577.2068	0.00577	2262.52724	2262.52724	7.33	≤	5079.90606	-
35	74.43	58.99	0.0032397	22974.0658	0.22974	18208.25128	18208.25128	74.43	≤	5079.90606	-
36	73.93	52.82	0.0032397	22819.7324	0.22820	16303.77746	16303.77746	73.93	≤	5079.90606	-
37	-0.2	-5.34	0.0032397	61.7333	0.00062	1648.28042	1648.28042	-5.34	≤	4127.42367	CORTA
38	0.57	5.63	0.0032397	175.9400	0.00176	1737.79377	1737.79377	5.63	≤	5079.90606	-
39	-0.99	3.84	0.0032397	305.5801	0.00306	1185.28030	1185.28030	3.84	≤	5079.90606	-
40	1.51	-1.32	0.0032397	466.0868	0.00466	407.44010	407.44010	1.51	≤	5079.90606	-
41	-12.31	-2.64	0.0032397	3799.6876	0.03800	814.88021	814.88021	-12.31	≤	4127.42367	CORTA
42	7.65	-1.27	0.0032397	2361.3006	0.02361	392.00677	392.00677	7.65	≤	5079.90606	-
43	55.61	72.3	0.0032397	17164.9577	0.17165	22316.60565	22316.60565	72.3	≤	5079.90606	-
44	49.43	71.8	0.0032397	15257.3972	0.15257	22162.27228	22162.27228	71.8	≤	5079.90606	-

45	-5.41	-0.3	0.0032397	1669.8871	0.01670	92.60002	92.60002	-5.41	≤	4127.42367	CORTA
46	5.68	0.67	0.0032397	1753.2271	0.01753	206.80672	206.80672	5.68	≤	5079.90606	-
47	4.78	1.99	0.0032397	1475.4270	0.01475	614.24682	614.24682	4.78	≤	5079.90606	-
48	-0.39	2.5	0.0032397	120.3800	0.00120	771.66686	771.66686	2.5	≤	5079.90606	-
49	-13.3	-105.12	0.0032397	4105.2677	0.04105	32447.04822	32447.04822	-105.12	≤	797.89812	LARGA
50	-333.15	-128.27	0.0032397	102832.3261	1.02832	39592.68336	39592.68336	-333.15	≤	797.89812	LARGA
51	-219.42	-84.53	0.0032397	67727.6572	0.67728	26091.59994	26091.59994	-219.42	≤	3963.77745	INTERMEDIA
52	-46.66	-65.75	0.0032397	14402.3903	0.14402	20294.83847	20294.83847	-65.75	≤	3963.77745	INTERMEDIA
53	-20.52	-98.28	0.0032397	6333.8416	0.06334	30335.76769	30335.76769	-98.28	≤	3773.51591	INTERMEDIA
54	-201.41	-131.46	0.0032397	62168.5691	0.62169	40577.33028	40577.33028	-201.41	≤	3773.51591	INTERMEDIA
55	-136.84	-113.06	0.0032397	42237.9574	0.42238	34897.86217	34897.86217	-136.84	≤	3773.51591	INTERMEDIA
56	-22.6	-44.58	0.0032397	6975.8684	0.06976	13760.36349	13760.36349	-44.58	≤	3773.51591	INTERMEDIA
57	-101.37	-317.22	0.0032397	31289.5479	0.31290	97915.26481	97915.26481	-317.22	≤	797.89812	LARGA
58	-110.96	-11.51	0.0032397	34249.6620	0.34250	3552.75423	3552.75423	-110.96	≤	797.89812	LARGA
59	-67.32	-41.96	0.0032397	20779.4453	0.20779	12951.65661	12951.65661	-67.32	≤	3963.77745	INTERMEDIA
60	-71.4	-205.59	0.0032397	22038.8056	0.22039	63458.79608	63458.79608	-205.59	≤	3963.77745	INTERMEDIA
61	-116.26	-191.03	0.0032397	35885.5958	0.35886	58964.60827	58964.60827	-191.03	≤	3773.51591	INTERMEDIA
62	-111.48	-27.8	0.0032397	34410.1687	0.34410	8580.93551	8580.93551	-111.48	≤	3773.51591	INTERMEDIA
63	-56.18	-28.14	0.0032397	17340.8977	0.17341	8685.88220	8685.88220	-56.18	≤	3773.51591	INTERMEDIA
64	-97.89	-125.73	0.0032397	30215.3877	0.30215	38808.66983	38808.66983	-125.73	≤	3773.51591	INTERMEDIA
65	-234.77	-334.22	0.0032397	72465.6917	0.72466	103162.5995	103162.5995	-334.22	≤	797.89812	LARGA
66	-234.75	-28.91	0.0032397	72459.5184	0.72460	8923.55559	8923.55559	-234.75	≤	797.89812	LARGA
67	-197.76	-63.57	0.0032397	61041.9355	0.61042	19621.94497	19621.94497	-197.76	≤	3963.77745	INTERMEDIA
68	-194.58	-219.94	0.0032397	60060.3752	0.60060	67888.16387	67888.16387	-219.58	≤	3963.77745	INTERMEDIA
69	-104.79	-188.47	0.0032397	32345.1882	0.32345	58174.42140	58174.42140	-188.47	≤	3773.51591	INTERMEDIA
70	-109.18	-34.42	0.0032397	33700.2352	0.33700	10624.30936	10624.30936	-109.18	≤	3773.51591	INTERMEDIA
71	-101.4	-73.55	0.0032397	31298.8079	0.31299	22702.43908	22702.43908	-101.4	≤	3773.51591	INTERMEDIA
72	-60.68	-88.9	0.0032397	18729.8981	0.18730	27440.47362	27440.47362	-88.9	≤	3773.51591	INTERMEDIA

73	-12.98	-217.86	0.0032397	4006.4943	0.04006	67246.13704	67246.13704	-217.86	≤	797.89812	LARGA
74	-332.43	-240.61	0.0032397	102610.0860	1.02610	74268.30548	74268.30548	-332.43	≤	797.89812	LARGA
75	-215.24	-196.15	0.0032397	66437.4302	0.66437	60544.98200	60544.98200	-215.24	≤	3963.77745	INTERMEDIA
76	-49.74	-184.63	0.0032397	15353.0839	0.15353	56989.14110	56989.14110	-184.63	≤	3963.77745	INTERMEDIA
77	-24.04	-93.99	0.0032397	7420.3485	0.07420	29011.58735	29011.58735	-93.99	≤	3773.51591	INTERMEDIA
78	-195.75	-117.98	0.0032397	60421.5153	0.60422	36416.50256	36416.50256	-195.75	≤	3773.51591	INTERMEDIA
79	-94.73	-72.45	0.0032397	29240.0007	0.29240	22362.90567	22362.90567	-94.73	≤	3773.51591	INTERMEDIA
80	-62.47	-86.25	0.0032397	19282.4116	0.19282	26622.50674	26622.50674	-86.25	≤	3773.51591	INTERMEDIA
81	9.83	-17.67	0.0032397	3034.1941	0.03034	5454.14138	5454.14138	-17.67	≤	4127.42367	CORTA
82	11.49	11.72	0.0032397	3546.5809	0.03547	3617.57425	3617.57425	11.72	≤	4127.42367	CORTA
83	-18.67	8.83	0.0032397	5762.8081	0.05763	2725.52736	2725.52736	-18.67	≤	4127.42367	CORTA
84	-16.95	-17.18	0.0032397	5231.9013	0.05232	5302.89468	5302.89468	-17.18	≤	4127.42367	CORTA
85	6.41	1.89	0.0032397	1978.5538	0.01979	583.38015	583.38015	6.41	≤	5079.90606	-
86	7.12	7.12	0.0032397	2197.7072	0.02198	2197.70722	2197.70722	7.12	≤	5079.90606	-
87	1.89	6.41	0.0032397	583.3801	0.00583	1978.55383	1978.55383	6.41	≤	5079.90606	-
88	2.6	2.6	0.0032397	802.5335	0.00803	802.53354	802.53354	2.6	≤	5079.90606	-
89	1.29	-15.78	0.0032397	398.1801	0.00398	4870.76123	4870.76123	-15.78	≤	4127.42367	CORTA
90	16.22	16.26	0.0032397	5006.5746	0.05007	5018.92127	5018.92127	16.26	≤	4127.42367	CORTA
91	-15.95	1.13	0.0032397	4923.2346	0.04923	348.79342	348.79342	-15.95	≤	4127.42367	CORTA
92	-0.92	-0.96	0.0032397	283.9734	0.00284	296.32008	296.32008	-0.96	≤	4127.42367	CORTA
93	3.54	-2.66	0.0032397	1092.6803	0.01093	821.05354	821.05354	3.54	≤	5079.90606	-
94	2.82	2.88	0.0032397	870.4402	0.00870	888.96023	888.96023	2.88	≤	5079.90606	-
95	-2.62	3.53	0.0032397	808.7069	0.00809	1089.59361	1089.59361	3.53	≤	5079.90606	-
96	-3.38	-3.38	0.0032397	1043.2936	0.01043	1043.29360	1043.29360	-3.38	≤	4127.42367	CORTA

ANEXO 6

Diseño de elementos solicitados a tensión axial

(fi) Esfuerzo admisible en la sollicitación i (MPa)	16
Coefficiente de modificación de carga (CD)	1
Coefficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (CL)	0.98
Coefficiente de modificación por redistribución de cargas (Cr)	1
(fi) Esfuerzo admisible modificado para la sollicitación i (Mpa)	15.68
(Ft') Esfuerzo de Tensión admisible modificado (kgf/m ²)	1568000

ESFUERZOS ADMISIBLES				
FLEXION (fm)	TRACCION PARALELA (ft)	COMPRESION PARALELA (fo)	CORTE (fv)	COMPRESION PERPENDICULAR (foL)
5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mpa (13 Kg/cm ²)

Coeficientes CL para diferentes relaciones d/b

d/b	CL
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

$$f_i = f_i C_D C_L C_r$$

Diámetro (mm)	100.5
Espesor (mm)	11.6
Área Neta del elemento (mm ²)	3239.736008
Área Neta del elemento (m ²)	0.003239736

(Ft')
Esfuerzo de Tensión admisible modificado (Kgf/m²)

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t'$$

(T) Fuerza de Tensión axial aplicada (kgf)	5.24	≤	5079.90606
(ft)Esfuerzo a Tensión actuante (kgf/m ²)	1617.415736	≤	1568000

ANEXO 7

Diseño de elementos solicitados a compresión axial y clasificación de columnas (corta)

Diametro (mm)	100.5	Condición de los apoyos		k	ESFUERZOS ADMISIBLES												
Espesor (mm)	11.6	Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)		1.0	FLEXION (f_m)	TRACCION PARALELA (f_t)	COMPRESION PARALELA (f_c)	CORTE (f_v)	COMPRESION PERPENDICULAR ($f_{c\perp}$)								
(lu) Longitud no soportada lateralmente del elemento (mm)	707.11			Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre		2.0	5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mpa (13 Kg/cm ²)						
Coefficiente de longitud efectiva (K)	1																
(le) Longitud efectiva (mm)	707.11																
(r) Radio de giro de la sección (mm)	31.697338	$\ell_e = \ell_u k$															
Relación de Esbeltez (l)	22.308182	$r = \frac{1}{4} \sqrt{d_E^2 + (d_E - (2 \cdot r))^2}$		$\lambda = \frac{l_E}{r}$													
(Fc) Esfuerzo admisible en compresión paralela en la sollicitación i (MPa)	13	Coeficientes C_L para diferentes relaciones d/b															
Coefficiente de modificación de carga (Cd)	1			<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>d/b</th><th>C_L</th></tr> <tr><td>1</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.87</td></tr> </table>	d/b	C_L	1	1.00	2	0.98	3	0.95	4	0.91	5	0.87	$C_D =$ Coeficiente de modificación por duración de carga (0.9 para carga permanente y 1 para carga viva)
d/b	C_L																
1	1.00																
2	0.98																
3	0.95																
4	0.91																
5	0.87																
Coefficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (Cl)	0.98				$C_r =$ Coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta. Para el caso de diseño de viguetas, correas, entablados y entramados, donde exista una acción de conjunto garantizada, estos esfuerzos podrán incrementarse en un 10% ($C_{r=1,1}$) siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m												
Coefficiente de modificación por redistribución de cargas (Cr)	1																
(Fc) Esfuerzo admisible en compresión modificado para la sollicitación i (Mpa)	12.74				$f'_i = f_i C_D C_L C_r$												
Diametro (mm)	100.5	Columna		Esbeltez													
Espesor (mm)	11.6	Corta		$\lambda < 30$													
Área Neta del elemento (mm ²)	3239.736	Intermedia		$30 < \lambda < C_k$													
Área Neta del elemento (m ²)	0.0032397	Larga		$C_k < \lambda < 150$													
(Fc) Esfuerzo admisible COMPRESIÓN (kgf/m ²)	1274000				$N_{adm} = f_c A$												
(Nadm) Carga admisible (kgf)	4127.4237																
					λ	<	30										
					22.308182	<	30										
					COLUMNA CORTA												

ANEXO 8

Diseño de elementos solicitados a compresión axial y clasificación de columnas (intermedia)

Diametro (mm)	100.5	Condición de los apoyos	k	ESFUERZOS ADMISIBLES				
Espesor (mm)	11.6	Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal) Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	1.0	FLEXION (f_m)	TRACCION PARALELA (f_t)	COMPRESION PARALELA (f_c)	CORTE (f_s)	COMPRESION PERPENDICULAR ($f_{c\perp}$)
(lu) Longitud no soportada lateralmente del elemento (mm)	2117.03		2.0	5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mpa (13 Kg/cm ²)
Coefficiente de longitud efectiva (K)	1	$\ell_e = \ell_u k$						
(le) Longitud efectiva (mm)	2117.03	$r = \frac{1}{4} \sqrt{d_E^2 + (d_E - (2 \cdot r))^2}$						
(r) Radio de giro de la sección (mm)	31.697338	$\lambda = \frac{\ell_e}{r}$						
Relación de Esbeltez (l)	66.788889							

(Fc) Esfuerzo admisible en compresión paralela en la sollicitación i (MPa)	13	Coefficientes C_L para diferentes relaciones d/b						
Coefficiente de modificación de carga (Cd)	1	d/b	C_L					
Coefficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (CL)	0.98	1	1.00					
		2	0.98					
		3	0.95					
		4	0.91					
		5	0.87					

Coefficiente de modificación por redistribución de cargas (Cr)	1	$f'_i = f_i C_D C_L C_r$						
(F'c) Esfuerzo admisible en compresión modificado para la sollicitación i (Mpa)	12.74							

(E) Módulo de elasticidad (Mpa)	9500										
(E) Módulo de elasticidad (kgf/m ²)	950000000										
C_k	70.042955	$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{adm}}{E_c}}$	Columna		Esbeltez		30	<	λ	<	C_k
Diametro (mm)	100.5		Corta	$\lambda < 30$	30	<	66.788889	<	70.042955		
Espesor (mm)	11.6		Intermedia	$30 < \lambda < C_k$	COLUMNA INTERMEDIA						
Área Neta del elemento (mm ²)	3239.736		Larga	$C_k < \lambda < 150$							
Área Neta del elemento (m ²)	0.0032397	$N_{adm} = f_c A \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$									
(Fc) Esfuerzo admisible compresión (kgf/m ²)	1274000										
(Nadm) Carga admisible (kgf)	2990.0142										

C_D =		Coefficiente de modificación por duración de carga (0.9 para carga permanente y 1 para carga viva)
C_r =		Coefficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta. Para el caso de diseño de viguetas, correas, entablados y entramados, donde exista una acción de conjunto garantizada, estos esfuerzos podrán incrementarse en un 10% ($C_r=1.1$) siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m

ANEXO 9

Diseño de elementos solicitados a compresión axial y clasificación de columnas (larga)

Diametro (mm)	100.5	Condición de los apoyos	k	ESFUERZOS ADMISIBLES																
Espesor (mm)	11.6	Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0	FLEXION (f_w)	TRACCION PARALELA (f_t)	COMPRESION PARALELA (f_c)	CORTE (f_s)	COMPRESION PERPENDICULAR ($f_{c\perp}$)												
Área Neta del elemento (mm ²)	3239.736	Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.0	5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mpa (13 Kg/cm ²)												
Área Neta del elemento (m ²)	0.0032397																			
(lu) Longitud no soportada lateralmente del elemento (mm)	1955.76																			
Coefficiente de longitud efectiva (K)	2																			
(le) Longitud efectiva (mm)	3911.52	$\ell_e = \ell_u k$																		
(r) Radio de giro de la sección (mm)	31.697338	$r = \frac{1}{4} \sqrt{d_g^2 + (d_g - (2 * r))^2}$	$\lambda = \frac{\ell_e}{r}$																	
Relación de Esbeltez (l)	123.40216																			
(Fc) Esfuerzo admisible en compresión paralela en la sollicitación i (MPa)	13																			
Coefficiente de modificación de carga (Cd)	1	Coeficientes C_L para diferentes relaciones d/b <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>d/b</th><th>C_L</th></tr> <tr><td>1</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.87</td></tr> </table>	d/b	C_L	1	1.00	2	0.98	3	0.95	4	0.91	5	0.87		$C_D =$ Coeficiente de modificación por duración de carga (0.9 para carga permanente y 1 para carga viva)				
d/b	C_L																			
1	1.00																			
2	0.98																			
3	0.95																			
4	0.91																			
5	0.87																			
Coefficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (CL)	0.98			$C_r =$ Coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta. Para el caso de diseño de viguetas, correas, entablados y entramados, donde exista una acción de conjunto garantizada, estos esfuerzos podrán incrementarse en un 10% ($C_{r=1.1}$) siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m																
Coefficiente de modificación por redistribución de cargas (Cr)	1																			
(Fc) Esfuerzo admisible en compresión modificado para la sollicitación i (Mpa)	12.74	$f_i = f_c C_D C_L C_r$																		
(E) Módulo de elasticidad (Mpa)	9500	$C_k = 2.56 \sqrt{\frac{E_{adm}}{E}}$																		
(E) Módulo de elasticidad (kgf/m ²)	950000000	$N_{adm} = \frac{\pi^2 EA}{2.5(\lambda)^2}$																		
C_k	70.042955			Ck	<	λ	<	150												
(Nadm) Carga admisible (kgf)	797.89812			70.042955	<	123.40216	<	150												
				COLUMNA LARGA																

ANEXO 10

DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN

(fi) Esfuerzo admisible en la sollicitacion i (MPa)	50	ESFUERZOS ADMISIBLES														
Coefficiente de modificación de carga (Cd)	1	FLEXION (fi)	TRACCION PARALELA (fi)	COMPRESION PARALELA (fi)												
Coefficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (CL)	0.98	5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)												
Coefficiente de modificación por redistribución de cargas (Cr)	1	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	COMPRESION PERPENDICULAR (fi)													
(fi) Esfuerzo admisible modificado para la sollicitacion i (Mpa)	49	<table border="1" style="margin: auto;"> <caption>Coefficientes CL para diferentes relaciones d/b</caption> <thead> <tr> <th>d/b</th> <th>CL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.87</td></tr> </tbody> </table>			d/b	CL	1	1.00	2	0.98	3	0.95	4	0.91	5	0.87
d/b	CL															
1	1.00															
2	0.98															
3	0.95															
4	0.91															
5	0.87															
(Ft') Esfuerzo de Flexión admisible modificado (Kgf/m ²)	4900000	$f_i = f_i C_D C_L C_r$														
Diametro (m)	0.1005	$S = \frac{\pi(D_o^4 - [D_i - 2t]^4)}{32 D_o}$														
Espesor (m)	0.0116															
Area Neta del elemento (m ²)	6.478E-05															
(fm) Momento actuante sobre el elemento (kgf-m)	4.19	(Ft') Esfuerzo de Tensión admisible modificado		$f_m = \frac{M}{S} \leq f_m$												
(fm) Esfuerzo a flexión actuante (kgf/m ²)	64683.704	≤	4900000													

ANEXO 11

DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A CORTE

(fi) Esfuerzo admisible en la sollicitacion i (MPa)	10	ESFUERZOS ADMISIBLES														
Coefficiente de modificación de carga (Cd)	1	FLEXION (fa)	TRACCION PARALELA (fb)	COMPRESION PARALELA (fc)												
Coefficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (Cl)	0.98	5 Mpa (50 Kg/cm ²)	10 Mpa (100 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)												
Coefficiente de modificación por redistribución de cargas (Cr)	1	CORTE (fd)	COMPRESION PERPENDICULAR (fca)													
(fv) Esfuerzo admisible modificado para la sollicitacion i (Mpa)	9.8	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mpa (13 Kg/cm ²)													
(Fv) Esfuerzo de Tensión admisible modificado (kgf/m ²)	980000	<table border="1" style="margin: auto;"> <caption>Coefficientes CL para diferentes relaciones d/b</caption> <thead> <tr> <th>d/b</th> <th>CL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.87</td></tr> </tbody> </table>			d/b	CL	1	1.00	2	0.98	3	0.95	4	0.91	5	0.87
d/b	CL															
1	1.00															
2	0.98															
3	0.95															
4	0.91															
5	0.87															
		$f_i = f_i C_D C_L C_r$														

-4-

Diametro (mm)	100.5
Espesor (mm)	11.6
Area Neta del elemento (mm ²)	3239.736008
Area Neta del elemento (m ²)	0.003239736

(Ft') Esfuerzo de Tensión admisible modificado (kgf)

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F_v'$$

(V) Fuerza cortante aplicada (kgf)	9.7	≤	3174.941288
(fv) Esfuerzo cortante (kgf/m ²)	6500.325068	≤	980000

ANEXO 12

Velocidad de diseño y carga exterior de viento

VELOCIDAD DE DISEÑO	
(V) Velocidad de diseño hasta 10 m de altura (Km/h)	75
(h) Altura (m)	6
(Vh) Velocidad de diseño (Km/h)	67.0277342
(Vh) Velocidad de diseño (m/s)	18.618815

$$V_h = V(h/10)^{0.22}$$

FACTORES DE FORMA (C) *		
CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3	-0.6

CARGA EXTERIOR DE VIENTO	
Factor de forma adimensional (C)	1.5
(Ph) Presión o succión del viento (Kg/m²)	33.6953786
(Ph) Presión del viento (Kg/m)	3.36953786

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

ANEXO 13

Variación de fuerza axial y carga admisible para diferente diámetro de bambú

ELEMENTO (D=7cm)	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (Kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (Kgf/m ²)		FUERZA MAYOR APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(kgf/m ²)	(Mpa)	(kgf/m ²)	(Mpa)				
16	-29.23	-53.86	0.00323974	9022.328952	0.09022	16624.79088	0.16625	-53.86	≤	789.20709	LARGA
31	5.86	4.22	0.00323974	1808.787125	0.01809	1302.57366	0.01303	5.86	≤	5079.90606	-

ELEMENTO (D=10cm)	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (Kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (Kgf/m ²)		FUERZA MAYOR APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(kgf/m ²)	(Mpa)	(kgf/m ²)	(Mpa)				
16	-47.87	-68.68	0.00323974	14775.87708	0.14776	21199.23204	0.21199	-53.86	≤	2990.01421	INTERMEDIA
31	8.08	4.22	0.00323974	2494.027298	0.02494	1302.57366	0.01303	5.86	≤	5079.90606	-

ELEMENTO (D=12cm)	R1 (kgf)	R2 (kgf)	ÁREA (m ²)	ESFUERZOS R1 (Kgf/m ²)		ESFUERZOS R2 (Kgf/m ²)		FUERZA MAYOR APLICADA (kgf)	MENOR O IGUAL	CARGA ADMISIBLE (kgf)	CLASIFICACIÓN DE COLUMNA
				(kgf/m ²)	(Mpa)	(kgf/m ²)	(Mpa)				
16	-72.44	-90.16	0.00323974	22359.819	0.22360	27829.39372	0.27829	-90.16	≤	4398.44413	INTERMEDIA
31	9.17	11.03	0.00323974	2830.47405	0.02830	3404.59420	0.03405	11.03	≤	5079.90606	-

ANEXO 14

Cálculo de la fuerza producida por impacto del viento al aerogenerador

Datos del aerogenerador y velocidad del viento:

Eficiencia = 0.59

Densidad del aire = 1.225 kg/m³

Diámetro de giro = 4.5 m

Área = 15.90431 m²

Velocidad del viento = 6.56 m/s

Reemplazando datos en la ecuación, utilizando la ley de Betz:

$$P_{\text{rotor}} = \frac{1}{2} * 0.59 * d * A * v^3$$

$$F * v = \frac{1}{2} * 0.59 * d * A * v^3$$

$$F = \frac{1}{2} * 0.59 * d * A * v^2$$

$$F = \frac{1}{2} * 0.59 * 1.225 * 15.904 * (6.56)^2$$

$$F = 25.24 \text{ kg}$$

Se tiene como resultado 25.24 kg producido por el impacto del viento al aerogenerador con una velocidad de 6.56 m/s.

ANEXO 15



Muestra de bambúes



Cálculo del diámetro promedio del bambú

ANEXO 16



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

NORMA TÉCNICA

E. 100 BAMBÚ

**INDICE**

- 1. GENERALIDADES**
- 2. OBJETO**
- 3. CAMPO DE APLICACIÓN**
- 4. NORMATIVIDAD**
- 5. GLOSARIO**
- 6. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD**
- 7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA EL BAMBU ESTRUCTURAL.**
- 8. ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL**
 - 8.1 MÉTODO DE ANALISIS**
 - 8.2 MÉTODO DE DISEÑO**
 - 8.3 CARGAS**
 - 8.4 ESFUERZOS ADMISIBLES**
 - 8.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD**
 - 8.6 DISEÑO DE ELEMENTOS EN FLEXIÓN**
 - 8.7 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL**
 - 8.8 MUROS DE CORTE, CARGA LATERAL SISMO O VIENTO**
 - 8.9 DISEÑO DE UNIONES**
- 9. PROCESO CONSTRUCTIVO**
- 10. MANTENIMIENTO**
- 11. ANEXOS INFORMATIVOS**
 - ANEXO A: TIPOS DE CORTES DE PIEZAS DE BAMBÚ**
 - ANEXO B: AYUDA DE CÁLCULO PARA ESFUERZOS A FLEXIÓN.**
 - ANEXO C: PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE ACTUANTE POR SISMO O VIENTO PARA EDIFICACIONES DE HASTA DOS PISOS DE ALTURA.**
 - ANEXO D: DISEÑO DE UNIONES**
 - ANEXO E: CRITERIOS DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO EN EDIFICACIONES CON BAMBÚ**
 - ANEXO F: INFORMACIÓN DEL BAMBÚ EN EL PERÚ**
 - ANEXO G: EJEMPLO DE UN MÓDULO DE BAMBÚ.**
 - ANEXO H: SÍMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS**



1. GENERALIDADES

- 1.1. Los bambúes leñosos son gramíneas perennes, que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América. Pueden alcanzar hasta 30 m de altura.
- 1.2. La Guadua angustifolia es una especie de bambú nativa de los países andino amazónicos. En el Perú se desarrolla hasta los 2,000 ms.n.m, en la amazonia se le encuentra formando bosques naturales y en otras regiones en plantaciones.
- 1.3. Sobresale entre otras especies de su género por las propiedades estructurales de sus tallos, tales como la relación peso – resistencia similar o superior al de algunas maderas, siendo incluso comparado con el acero y con algunas fibras de alta tecnología. La capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, hace que esta especie de bambú sea un material ideal para construcciones sismorresistentes.

2. OBJETO

Establecer los lineamientos técnicos que se deben seguir para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes con bambú: Guadua angustifolia y otras especies de características físico mecánicas similares.

3. CAMPO DE APLICACIÓN

- 3.1. La presente norma es de aplicación obligatoria a nivel nacional para edificaciones de hasta dos niveles con cargas vivas máximas repartidas de hasta 250 Kg/m².
- 3.2. La Norma se aplica a edificaciones con elementos estructurales de bambú.

4. NORMATIVIDAD

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma. Se deben considerar los documentos vigentes:

4.1 BASE LEGAL

- Decreto Supremo N°011-2006-VIVIENDA, que aprueba 66 normas técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Decreto Supremo N°010-2009-VIVIENDA, que modifica ocho normas del Reglamento Nacional de Edificaciones y un Anexo de la norma A.030 Hospedaje.
- Decreto Supremo N°004-2008-AG, Declaran de Interés Nacional la Instalación de Plantaciones de Caña Brava y Bambú.
- Resolución Ministerial N°0521-2008-AG, Aprueban Planes Nacionales de Promoción de la Caña Brava y Bambú.

4.2 REFERENCIAS NORMATIVAS

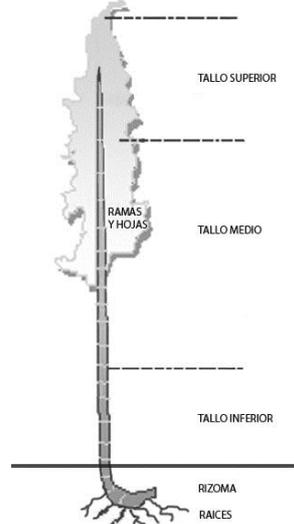
- NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente: Título E Casas de Uno y Dos Pisos.
- Norma ISO 22156:2004 Bamboo - Structural Design.
- Norma ISO/22157-1:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements.
- Norma ISO/22157-2:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 2: Laboratory manual.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5301 – Preservación y secado del culmo de Guadua angustifolia Kunth.
- NTP 341.026: 1970 Barras de acero al carbono laminadas en caliente para tuercas.
- NTP 341.028: 1970 Barras de acero al carbono laminadas en caliente para pernos y tornillos formados en caliente.



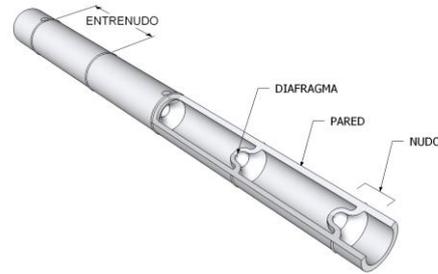
5. GLOSARIO

Para los propósitos de esta norma se entenderán los términos que se detallan a continuación de la siguiente manera:

- 5.1. Acabado:** Estado final, natural o artificial, en la superficie de una pieza de madera o bambú. Estado final del recubrimiento o del revoque, el acabado natural se obtiene mediante procesos tales como: cepillado, lijado, desmanchado y el acabado artificial con la aplicación de sustancias como: ceras, lacas, tintes, aceites, etc.
- 5.2. Acción conjunta:** Participación de varios elementos estructurales con separación no mayor a 60 cm para soportar una carga o sistema de cargas.
- 5.3. Arriostre:** Elemento de refuerzo (horizontal o vertical) o muro transversal que cumple la función de proveer estabilidad y resistencia a los muros portantes y no portantes sujetos a cargas perpendiculares a su plano.
- 5.4. Anclajes:** Refuerzo metálico de diferentes formas que se emplea como elementos de apoyo y de fijación de elementos de la construcción.
- 5.5. Aserrado:** Proceso mediante el cual se corta longitudinalmente un tronco, para obtener piezas de madera de sección transversal rectangular denominadas comúnmente bloques o tablones.
- 5.6. Bambú o Planta de Bambú:** Es un recurso natural renovable. Planta herbácea con tallos leñosos, perteneciente a la familia de las Poaceae (gramíneas), sub familia Bambúsoideae, tribu Bambúseae.



- 5.7. Caña de Bambú:** Tallo de la planta de bambú que por lo general es hueco y nudoso y está conformado por las siguientes partes:
- a) **Nudo:** Parte o estructura del tallo que lo divide en secciones por medio de diafragmas.
 - b) **Entrenudo:** Parte de la caña comprendida entre dos nudos.
 - c) **Diafragma:** Membrana rígida que forma parte del nudo y divide el interior de la caña en secciones.
 - d) **Pared:** Parte externa del tallo formada por tejido leñoso.



- 5.8. Cercha o Tijeral:** Estructura reticulada para soportar cargas verticales.
- 5.9. Componente de bambú:** Parte estructural o no estructural de la edificación conformada por varios elementos o piezas de bambú (por ejemplo, un entramado).
- 5.10. Contracción:** Es la reducción de las dimensiones de una pieza de madera acusada por la disminución del contenido de la humedad a partir de la saturación de las fibras. Se expresa por porcentaje de la dimensión verde de la madera y puede ser lineal (radial, tangencial o longitudinal) y volumétrica.
- 5.11. Correa:** Elemento generalmente horizontal que se apoya perpendicularmente sobre los pares o sobre las viguetas de un techo, y tienen por función unir dichos elementos y transmitirles las cargas de la cubierta.
- 5.12. Cuadrante:** Elemento que se coloca diagonalmente para conformar una forma triangular cerrada en las esquinas de entrepisos y cubiertas, para limitar la deformación, en su propio plano, de los diafragmas.
- 5.13. Diafragma Estructural:** Elemento estructural, generalmente horizontal o ligeramente inclinado que distribuye las cargas horizontales actuantes sobre ella a los muros o paneles sobre los que se apoya.
- 5.14. Elemento de Bambú:** Cada una de las piezas que forman un componente de bambú.
- 5.15. Entrepiso:** Componente de bambú que separa un piso de otro, en una edificación.
- 5.16. Guadua angustifolia:** Especie de bambú leñoso, nativo de la región tropical de los países andinos, con propiedades físico mecánicas adecuadas para construcciones sismorresistentes.
- 5.17. Hinchamiento:** Es el aumento de las dimensiones de una pieza de madera causada por el aumento de su contenido de humedad hasta el punto de saturación de las fibras. Se expresa como porcentaje de las dimensiones de la madera seca.
- 5.18. Madera y/o bambú tratado:** Madera de especies arbóreas o bambú sometidos a algún tipo de procedimiento, natural o químico, con el objeto de extraer la humedad y/o inmunizarla contra el ataque de agentes xilófagos o pudrición.
- 5.19. Muro de corte:** Muro sometido a cargas horizontales laterales originadas por movimientos sísmicos o por la presión de viento. Estas cargas producen fuerzas cortantes en el plano del entramado. Un muro de corte está constituido por un entramado de pie- derechos, soleras superior e inferior, riostras y rigidizadores intermedios (cuando se necesiten) y algún tipo de revestimiento por una o ambas caras.



5.20. Rolliza: Estado natural de los tallos de bambú.

5.21. Secado: Proceso natural o artificial mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la madera o bambú.

6. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD

Por razones de seguridad frente a sismos e incendios, toda edificación debe guardar una distancia de separación respecto a otras (Ver Norma A.010 Condiciones Generales de Diseño).

7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA EL BAMBU ESTRUCTURAL

- Para la aplicación de la presente norma, debe utilizarse la especie *Guadua angustifolia*.
- La edad de cosecha del bambú estructural debe estar entre los 4 y los 6 años.
- El contenido de humedad del bambú estructural debe corresponderse con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con bambú en estado verde, el profesional responsable debe tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño.
- El bambú estructural debe tener una buena durabilidad natural y estar adecuadamente protegido ante agentes externos (humos, humedad, insectos, hongos, etc.).
- Las piezas de bambú estructural no pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33% de la longitud del elemento. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana y observar si existe separación entre la superficie de apoyo y la pieza.
- Las piezas de bambú estructural no deben presentar una conicidad superior al 1.0%
- Las piezas de bambú estructural no pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior.
- Piezas de bambú con agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del tronco no serán consideradas como aptas para uso estructural.
- Las piezas de bambú estructural no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas.
- No se aceptan bambúes que presenten algún grado de pudrición.

8. ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

8.1 MÉTODO DE ANÁLISIS

Las limitaciones y esfuerzos admisibles dados en esta Norma son aplicables a estructuras analizadas por procedimientos convencionales de análisis lineal y elástico. La determinación de los efectos de las cargas (deformaciones, fuerzas, momentos) en los elementos estructurales debe efectuarse con hipótesis consistentes y con los métodos aceptados en la buena práctica de la ingeniería.



8.2 MÉTODO DE DISEÑO

El diseño de los elementos estructurales de bambú en conformidad a esta Norma deberá hacerse para cargas de servicio, utilizando el método de esfuerzos admisibles.

Los esfuerzos admisibles serán exclusivamente aplicables al bambú estructural que cumple con lo indicado en el numeral 7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA EL BAMBÚ ESTRUCTURAL.

Los elementos estructurales de bambú deberán diseñarse teniendo en cuenta criterios de resistencia, rigidez y estabilidad. Deberá considerarse en cada caso la condición que resulte más crítica:

8.2.1 REQUISITOS DE RESISTENCIA

Los elementos estructurales de bambú deben diseñarse para que los esfuerzos aplicados, producidos por las cargas de servicio y modificados por los coeficientes aplicables en cada caso, sean iguales o menores que los esfuerzos admisibles del material.

8.2.2 REQUISITOS DE RIGIDEZ

- a) Las deformaciones deben evaluarse para las cargas de servicio.
- b) Se consideraran necesariamente los incrementos de deformación con el tiempo (deformaciones diferidas) por acción de cargas aplicadas en forma continua.
- c) Las deformaciones de los elementos y sistemas estructurales deben ser menores o iguales que las admisibles.
- d) En aquellos sistemas basados en el ensamble de elementos de bambú se incluirán adicionalmente las deformaciones en la estructura debidas a las uniones, tanto instantáneas como diferidas.

8.3 CARGAS

Las estructuras deben diseñarse para soportar todas las cargas provenientes de:

- a) Peso propio y otras cargas permanentes o cargas muertas.
- b) Sobrecarga de servicio o cargas vivas.
- c) Sobrecargas de sismos, vientos, precipitaciones y otras.

La determinación de las sobrecargas de servicio y cargas de viento, sismo y nieve, se efectuará de acuerdo a lo señalado por la norma E.020 Cargas, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Cuando las sobrecargas de servicio o las cargas vivas sean de aplicación continua o de larga duración (por ejemplo sobrecargas en bibliotecas o almacenes) éstas deben considerarse como cargas muertas para efectos de la determinación de deformaciones diferidas.

8.4 ESFUERZOS ADMISIBLES

- 8.4.1 Los esfuerzos admisibles que deberán usarse en el diseño de elementos estructurales de bambú, son los que se consignan en la TABLA 8.4.1.

TABLA N° 8.4.1. ESFUERZOS ADMISIBLES

ESFUERZOS ADMISIBLES				
FLEXION (f_m)	TRACCION PARALELA (f_t)	COMPRESION PARALELA (f_c)	CORTE (f_v)	COMPRESION PERPENDICULAR ($f'_{c\perp}$)
5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mp (13 g/cm ²)



8.4.2 Con base en los valores de esfuerzos admisibles de la Tabla N° 8.4.1 y los módulos de elasticidad de la Tabla N° 8.5, afectados por los coeficientes de modificación a que haya lugar por razón de la duración de carga, esbeltez y cualquier otra condición modificatoria, se determinan los esfuerzos (o solicitaciones) admisibles modificados de todo miembro estructural de acuerdo con la fórmula general:

$$f'_i = f_i C_D C_L C_r$$

Donde:

- f'_i = Esfuerzo admisible modificado para la solicitación i
- f_i = Esfuerzo admisible en la solicitación i
- C_D = Coeficiente de modificación por duración de carga (0.9 para carga permanente y 1 para carga viva)
- C_L = Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (ver 8.6.3 Estabilidad para elementos de flexión)
- C_r = Coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta. Para el caso de diseño de viguetas, correas, entablados y entramados, donde exista una acción de conjunto garantizada, estos esfuerzos podrán incrementarse en un 10% ($C_{r=1.1}$) siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m

8.5 MODULO DE ELASTICIDAD

Los módulos de elasticidad que deberán usarse en el diseño de elementos de bambú son los que se consignan en la TABLA 8.5.

TABLA N° 8.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)	
E_{PROM}	E_{MIN}
9500 Mpa (95000Kg/cm ²)	7300 Mpa (73000 Kg/cm ²)

8.6 DISEÑO DE ELEMENTOS EN FLEXIÓN

- Los elementos sometidos a flexión son elementos horizontales o casi horizontales que soportan cargas perpendiculares, o casi perpendiculares a su eje: Vigas, viguetas y correas.
- En el diseño de miembros o elementos de bambú sometidos a flexión se deben verificar los siguientes efectos y en ningún caso pueden sobrepasar los esfuerzos admisibles modificados para cada solicitación.
 - (a) Deflexiones
 - (b) Flexión, incluyendo estabilidad lateral en vigas compuestas.
 - (c) Cortante paralelo a la fibra.



(d) Aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra).

- Se debe garantizar que los apoyos de un elemento de bambú sometido a flexión no fallen por aplastamiento (compresión perpendicular). Si los nudos no proveen la suficiente resistencia, se deben rellenar los entrenudos de los apoyos con mortero de cemento, taco de madera u otro material que garantice una rigidez similar.
- Cuando exista una carga concentrada sobre un elemento, ésta debe estar aplicada sobre un nudo. Se deben rellenar los entrenudos adyacentes a la carga con mortero de cemento, taco de madera u otro material que garantice una rigidez similar.
- Cuando en la construcción de vigas se utiliza más de un bambú los conectores deben diseñarse para resistir las fuerzas que se generan en la unión.
- Debe evitarse practicar perforaciones en las vigas. De requerirse, debe indicarse en los planos y cumplir con las siguientes limitaciones:
 - No son permitidas perforaciones a la altura del eje neutro en secciones donde se tengan cargas puntuales o cerca de los apoyos.
 - En casos diferentes al anterior, las perforaciones deben localizarse a la altura del eje neutro y en ningún caso serán permitidas en la zona de tensión de los elementos.
 - El tamaño máximo de la perforación será de 4 cm de diámetro.
 - En los apoyos y los puntos de aplicación de cargas puntuales se permiten las perforaciones, siempre y cuando éstas sirvan para poder rellenar los entrenudos con mortero de cemento.
 -

8.6.1 DEFLEXIONES ADMISIBLES PARA ELEMENTOS EN FLEXIÓN

8.6.1.1 Las deflexiones deben calcularse para los siguientes casos:

- a) Combinación más desfavorable de cargas permanentes y sobrecargas de servicio.
- b) Sobrecargas de servicio actuando solas.

8.6.1.2 Las deflexiones máximas admisibles deberán limitarse a los siguientes valores:

- a) Para cargas permanentes más sobrecarga de servicio en edificaciones con cielo raso de yeso: $L/300$; sin cielo raso de yeso: $L/250$. Para techos inclinados y edificaciones industriales: $L/200$.
- b) Para sobrecargas de servicio en todo tipo de edificaciones, $L/350$ ó 13 mm como máximo.

Siendo "L" la luz entre caras de apoyos o la distancia de la cara del apoyo al extremo, en el caso de volados.

8.6.1.3 Al estimar las deflexiones máximas se deberá considerar que las deformaciones producidas por las cargas de aplicación permanente se incrementan en un 80% (Deformaciones Diferidas).

8.6.2 REQUISITOS DE RESISTENCIA PARA ELEMENTOS EN FLEXIÓN

8.6.2.1 Flexión

- c) Los esfuerzos de compresión o de tracción producidos por flexión " σ_m ", no deben exceder el esfuerzo admisible para flexión f'_m especificado. (Ver 8.4 ESFUERZOS ADMISIBLES)



8.6.2.2 Corte paralelo a las fibras

- a) Los esfuerzos cortantes “ τ ” calculados, no deben exceder el esfuerzo máximo admisible para corte paralelo a las fibras f'_v especificado. (Ver 8.4 ESFUERZOS ADMISIBLES).
- b) Sección crítica.- Si el elemento está apoyado en su parte inferior y cargado en su parte superior es suficiente verificar la resistencia al corte en secciones ubicadas a una distancia del apoyo igual al peralte, excepto cuando se trata de volados.

8.6.2.3 Compresión perpendicular a las fibras.

- a) En los apoyos y otros puntos sujetos a cargas concentradas, deberá verificarse que el esfuerzo en compresión perpendicular a las fibras “ σ_c ” calculado, no exceda al esfuerzo en compresión perpendicular a las fibras admisibles $f'_{c\perp}$, para el grupo de bambú. (Ver 8.4 ESFUERZOS ADMISIBLES).

8.6.2.4 Para el cálculo de los esfuerzos actuantes, podrá tomarse como referencia el ANEXO B (INFORMATIVO): AYUDA DE CÁLCULO PARA ESFUERZOS A FLEXIÓN.

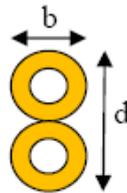
8.6.3 ESTABILIDAD PARA ELEMENTOS EN FLEXIÓN

Debe arriostrarse para evitar el pandeo lateral de las fibras en compresión.

8.6.3.1 Un bambú, es estable naturalmente.

8.6.3.2 Dos ó más bambús son necesariamente inestables, requieren restricción en los apoyos.

8.6.3.3 En el caso de vigas de sección compuesta (dos o más guaduas), cuya relación alto (d) ancho (b) sea mayor que 1 ($d/b > 1$), deben incluirse soportes laterales para prevenir el pandeo o la rotación.



8.6.3.4 Estabilidad Lateral de Vigas Compuestas: Para vigas de sección compuesta por dos o más bambús se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión (F_b), por el valor de C_L de la TABLA 8.6.3.4.

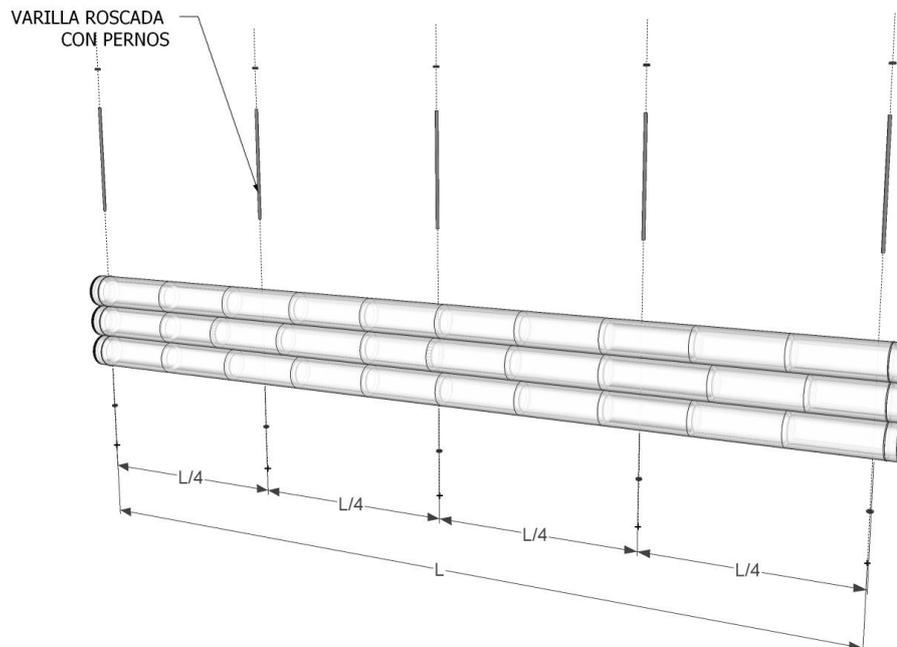
TABLA 8.6.3.4
Coeficientes C_L para diferentes relaciones d/b

d/b	C_L
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

- 8.6.3.5 Estabilidad Lateral: En vigas compuestas por más de un bambú y cuya altura sea mayor que su ancho debe investigarse la necesidad de proveer soporte lateral a la zona comprimida del elemento, según las siguientes recomendaciones:
- Si $d/b = 2$ no se requerirá soporte lateral
 - Si $d/b = 3$ se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos.
 - Si $d/b = 4$ se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y del borde en compresión mediante correas o viguetas.
 - Si $d/b = 5$ se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y proveer soporte continuo del borde en compresión mediante un entablado.

8.6.4 DISTRIBUCIÓN DE CONECTORES EN VIGAS DE SECCIÓN COMPUESTA:

Cuando se construyen vigas con dos o más bambús se debe garantizar su estabilidad por medio de conectores transversales de acero, que garanticen el trabajo en conjunto. El máximo espaciamiento de los conectores no puede exceder el menor valor de tres veces el alto de la viga o un cuarto de la luz.



Detalle de conectores de sección compuesta



8.7 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

Los elementos que serán diseñados por fuerza axial son aquellos solicitados en la misma dirección que el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal.

8.7.1 ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN AXIAL:

El esfuerzo de tensión axial actuante (f_t) para cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo admisible a tensión axial (F_t') modificado por los coeficientes de modificación correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t'$$

En donde:

f_t	=	esfuerzo a tensión actuante, en MPa
T	=	fuerza de tensión axial aplicada, en N
F_t'	=	esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
A_n	=	área neta del elemento, en mm^2

8.7.2 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL:

8.7.2.1 La longitud efectiva es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$l_e = l_u k$$

Donde:

l_u	=	longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm
l_e	=	longitud efectiva, en mm
K	=	coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos de la siguiente tabla.

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.0

8.7.2.2 Para columnas, la esbeltez se da por la fórmula:

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

En donde:

λ	=	relación de esbeltez del elemento.
-----------	---	------------------------------------



L_e = longitud efectiva del elemento, en mm
 r = radio de giro de la sección, en mm

8.7.2.3 Clasificación de columnas: según su relación de esbeltez, las columnas de guadua rolliza se clasifican en cortas, intermedias o largas:

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

La esbeltez C_k es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas y esta dado por la siguiente formula:

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

Donde

F'_c = esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa

$E_{0.05}$ = módulo de elasticidad percentil 5, en MPa

Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150.

8.7.3 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN Y CARGA AXIAL.

Elementos solicitados a flexión con tensión axial: Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a fuerzas de tensión axial y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

Donde:

f_t = esfuerzo a tensión actuante, en MPa.

F'_t = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa.

F_b = esfuerzo a flexión actuante, en MPa.

F'_b = esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa.

Elementos solicitados a flexo-compresión: Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a fuerzas de compresión y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

Donde:

f_c = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa.

F'_c = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa

f_b = esfuerzo a flexión actuante, en MPa.

F'_b = esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa.



K_m = coeficiente de magnificación de momentos, calculado con la siguiente fórmula :

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$$

Donde:

K_m = coeficiente de magnificación de momentos
 N_a = carga de compresión actuante, en N
 N_{cr} = carga crítica de Euler, calculada con la siguiente fórmula:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{\ell_e^2}$$

Donde:

N_{cr} = carga crítica de Euler, en N
 $E_{0.05}$ = módulo de elasticidad del percentil 5, en MPa
 I = momento de inercia de la sección, en mm^4
 ℓ_e = longitud efectiva del elemento, en mm

8.7.4 ESFUERZOS ADMISIBLES

- 8.7.4.1 Los esfuerzos admisibles usados en el diseño deberán ser los indicados en la TABLA 8.4.1
- 8.7.4.2 Para el diseño de los entramados se pueden incrementar estos esfuerzos en un 10 %, si se asegura el trabajo de conjunto de los pie-derechos.

8.7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

- 8.7.5.1 Los módulos de elasticidad usados en el diseño de columnas deben ser iguales a los de flexión. (Ver TABLA 8.5 MÓDULOS DE ELASTICIDAD).
- 8.7.5.2 Se deberá usar el módulo de elasticidad promedio para el diseño de entramados y el módulo mínimo para el diseño de columnas aisladas.

8.7.6 CARGAS ADMISIBLES EN ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN

- 8.7.6.1 Los elementos sometidos a compresión axial deben ser diseñados si considerar una excentricidad mínima, siempre que se utilicen las expresiones presentadas en los tres párrafos siguientes.
- 8.7.6.2 Columnas cortas. Su carga admisible debe calcularse multiplicando el valor del esfuerzo admisibles en compresión paralela a las fibras por el área de la sección.

$$N_{adm} = f_c A$$



- 8.7.6.3 Columnas intermedias. Para columnas intermedias, que fallan por una combinación de aplastamiento e inestabilidad se podrá adoptar la ecuación.¹

$$N_{adm} = f_c A \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

- 8.7.6.4 La carga admisible de columnas largas se debe determinar por consideraciones de elasticidad. Considerando una adecuada seguridad al pandeo la carga máxima se determinará por la fórmula de Euler. La fórmula general de las columnas de secciones de cualquier forma es:

$$N_{adm} = \frac{\pi^2 EA}{2,5(\lambda)^2}$$

Para columnas circulares

$$N_{adm} = 0,2467 \frac{EA}{(\lambda)^2}$$

8.7.7 DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESIÓN

- 8.7.7.1 Los elementos sometidos a esfuerzos de flexión y compresión combinados deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m |M|}{Z f_m} < 1$$

- 8.7.7.2 Cuando existen flexión y compresión combinadas los momentos flectores se amplifican por acción de las cargas axiales. Este efecto de incluirse multiplicando el momento por " K_m ".

$$K_m = \frac{1}{1 - 1,5 \frac{N}{N_{cr}}}$$

Donde:

N Carga axial aplicada.

N_{adm} Carga axial admisible, calculada según las fórmulas de las columnas.

K_m Factor de magnificación de momentos.

$|M|$ Valor absoluto del momento flector máximo en los elementos.

Z Módulo de sección con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión.

f_m Esfuerzo admisible en flexión.

N_{cr} Carga crítica de Euler para pandeo en la sección en que se aplican los momentos de flexión.



8.8 MUROS DE CORTE, CARGA LATERAL SISMO O VIENTO

8.8.1 REQUISITOS DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ

- 8.8.1.1 El conjunto de diafragmas y muros de corte debe diseñarse para resistir el 100 % de las cargas laterales aplicadas, tales como acciones de viento o sismo y excepcionalmente empuje de suelos o materiales almacenados.
- 8.8.1.2 Los diafragmas y muros de corte deben ser suficientemente rígidos para:
- a) Limitar los desplazamientos laterales, evitando daños a otros elementos no estructurales.
 - b) Reducir la amplitud de las vibraciones en muros y pisos a límites aceptables.
 - c) Proporcionar arriostramiento a otros elementos para impedir su pandeo lateral o lateral torsional.
- 8.8.1.3 Las uniones de los diafragmas y muros de corte, tanto entre si como en otros elementos deben ser adecuadas para transmitir y resistir las fuerzas cortantes de sismo o vientos.
- 8.8.1.4 Deben ponerse especial atención en los anclajes de los muros de corte a la cimentación. Cada panel independiente debe estar conectado a la cimentación por lo menos en dos puntos y la separación entre ellas no debe ser mayor que 2 m
- 8.8.1.5 Los muros cuya relación de altura a la longitud en planta sea mayor que 2, no deben considerarse como resistencia.
- 8.8.1.6 Bajo condiciones normales de servicio, como podrían ser sobrecargas de viento habitual o de sismos pequeños a moderados, deberá verificarse que las deformaciones de los muros no exceden de $h/1200$ ("h" es la altura del muro).
- 8.8.1.7 Cada muro de corte considerado por separado, debe ser capaz de resistir la carga lateral proporcional correspondiente a la generada por la masa que se apoya sobre el, a menos que se haga un análisis detallado de la distribución de fuerzas cortantes considerando la flexibilidad de los diafragmas horizontales.
- 8.8.1.8 La fuerza cortante actuante debida a la acción del viento o sismo se determinará a partir de lo que especifica la Norma E.030 Diseño Sismorresistente para ambos tipo de carga o mediante procedimientos más elaborados compatibles con la buena práctica de la ingeniería.
- 8.8.1.9 Para calcular la fuerza cortante actuante por sismo o viento en edificaciones de hasta dos pisos de altura, se puede utilizar lo dispuesto en el ANEXO C (INFORMATIVO): PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE ACTUANTE POR SISMO O VIENTO EN EDIFICACIONES DE HASTA DOS PISOS DE ALTURA.
- 8.8.1.10 Los muros de corte de una edificación deben estar dispuestos en dos direcciones ortogonales, con espaciamiento menores de 4 m en cada dirección. La distribución de estos elementos debe ser más o menos uniforme, con rigideces aproximadamente proporcionales a sus áreas de influencia.
- 8.8.1.11 Si los espaciamientos de los muros son mayores que 4 m y la flexibilidad en planta de los diagramas (entrepisos, techos, etc.) es tal que no garantice un comportamiento en conjunto, este procedimiento no es aplicable.
- 8.8.1.12 Para el cálculo de la resistencia de los muros de corte, el profesional responsable puede tomar como referencia el artículo 8 "Muros de corte, carga lateral, sismo o viento", de la norma E.010 Madera, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

8.9 DISEÑO DE UNIONES

La resistencia de las uniones dependerá del tipo de unión y de los elementos utilizados. Los valores admisibles se determinarán en base a los resultados de cinco ensayos como mínimo, con los materiales y el diseño a utilizar en la obra, considerando un Factor de Seguridad de 3.

En el ANEXO D (INFORMATIVO): DISEÑO DE UNIONES, se dan como referencia detalles de algunas uniones y valores admisibles para casos estudiados.



9 PROCESO CONSTRUCTIVO

En caso de aplicar un proceso constructivo diferente al mostrado en el presente numeral, debe sustentarse los cálculos técnicos respectivos y estar a cargo del Profesional Responsable de la Obra:

9.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

9.1.1 MADERA

- La calidad de la madera aserrada debe regirse por la Norma E.010 Madera (vigente), del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- La clasificación mecánica de las maderas usadas en muros, entrepisos y cubiertas debe corresponder como mínimo, al Grupo C, según lo establecido en la Norma E.010 Madera (vigente), del Reglamento Nacional de Edificaciones.

9.1.2 ELEMENTOS METÁLICOS

- Son elementos metálicos de unión, anclaje y de refuerzo las tuercas de acero, pernos, tornillos y arandelas.
- Las tuercas de acero deben cumplir lo establecido en la NTP 341.026:1970 Barras de acero al carbono laminadas en caliente para tuercas.
- Los pernos, tornillos y arandelas deben cumplir lo establecido en la NTP 341.028:1970 Barras de acero al carbono laminadas en caliente para pernos y tornillos formados en caliente.
- Los tornillos, pernos, tuercas y pletinas, deberán tener tratamientos anticorrosivo como el zincado o galvanizado, especialmente en áreas exteriores y ambientes húmedos.

9.1.3 MORTERO

- La calidad del mortero de cemento para el relleno de los entrenudos deberá ser en una proporción máxima de 1:4 (cemento – arena gruesa) y debe cumplir con la Norma E.70 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- La calidad del mortero de cemento para el revoque de muros debe cumplir con la Norma E.70 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones.

9.1.4 CONCRETO SIMPLE Y ARMADO

- La calidad del concreto y del refuerzo del acero se regirá por lo establecido en la Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones.

9.1.5 MALLAS DE REFUERZO DEL REVOQUE

Se usarán los siguientes tipos:

- Malla de alambre trenzado con diámetro máximo de 1,25 mm de abertura hexagonal no mayor a 25,4 mm
- Malla de alambre electro soldado con diámetro máximo de 1,25 mm de abertura cuadrada no mayor a 25,4 mm
- Otras mallas que cumplan la función de adherencia y estabilidad del revoque.

9.2 ACTIVIDADES PRELIMINARES AL PROCESO CONSTRUCTIVO.

- Evitar la incidencia de la humedad estableciendo las condiciones adecuadas en el terreno sobre el cual se va a construir la edificación (obras preliminares, trabajos provisionales, etc.).
- Para la descarga, almacenamiento y montaje de piezas de Bambú así como para todo el proceso de construcción, debe tomarse en cuenta lo establecido en la Norma G.050 Seguridad Durante la Construcción (vigente) del Reglamento Nacional de Edificaciones.



- Por la forma irregular de las cañas de bambú, los elementos constructivos de bambú deben conformarse tomando como referencia sus ejes.
- El manejo y los procesos constructivos de las piezas de madera deben seguir los requisitos y recomendaciones de la NTE E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones.

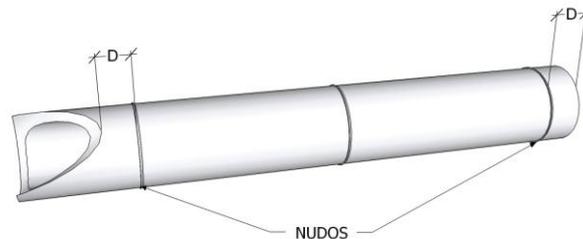
9.3 PROCESO CONSTRUCTIVO.

9.3.1 CIMIENTOS, SOBRECIMENTOS, LOSAS Y PISOS.

- Se regirán por lo establecido en la Norma E. 050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Se debe construir un sobre cimiento de una altura mínima de 20 cm sobre el nivel del terreno natural para recibir todos los elementos estructurales verticales de bambú (columnas y muros estructurales).

9.3.2 UNIONES ENTRE PIEZAS DE BAMBÚ

Las piezas de bambú, deben ser cortadas de tal forma que quede un nudo entero en cada extremo o próximo a él, a una distancia máxima $D = 6$ cm del nudo.

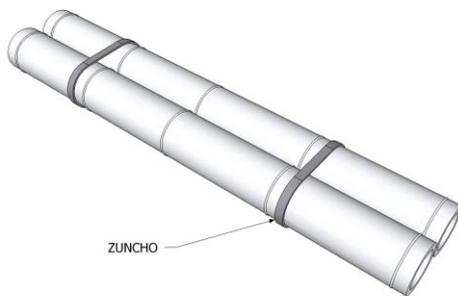


Las piezas de bambú, no se deben unir con clavos.

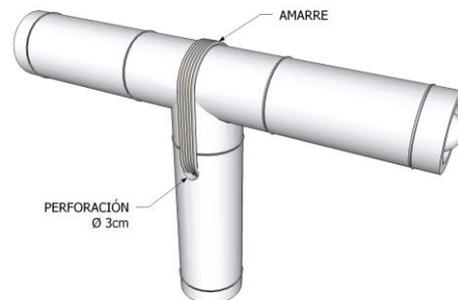
9.3.2.1 TIPOS DE UNIONES DE PIEZAS DE BAMBÚ

9.3.2.1.1 UNIONES ZUNCHADAS O AMARRADAS

- a) Se debe impedir el desplazamiento del zuncho o del amarre.
- b) Se puede usar otros materiales no metálicos como: sogas, cueros, plásticos u otros similares. El uso de estas uniones deben estar debidamente justificadas por el proyectista.



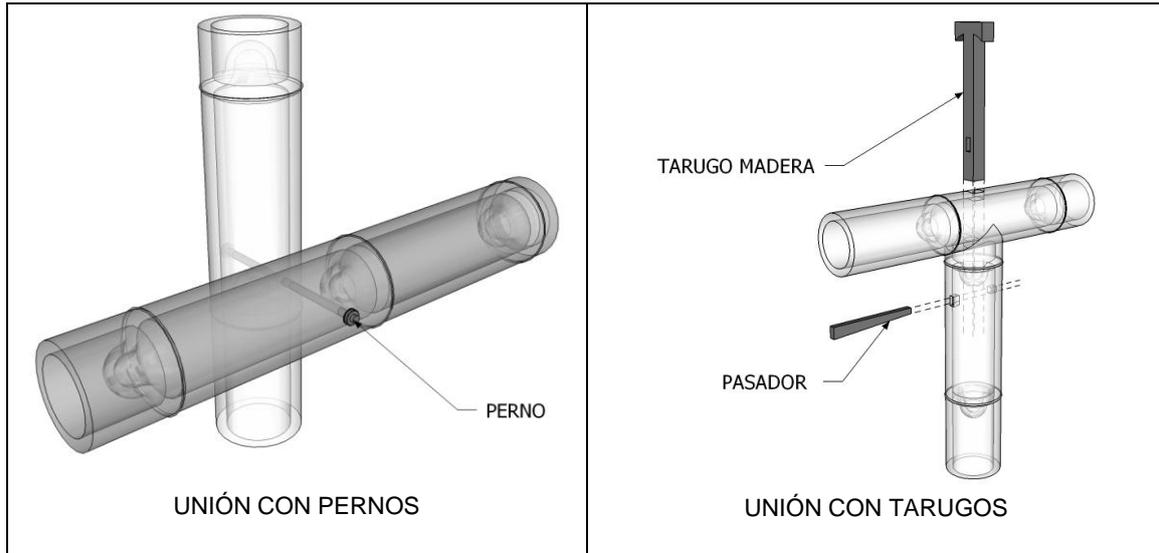
UNION ZUNCHADA



UNION AMARRADA

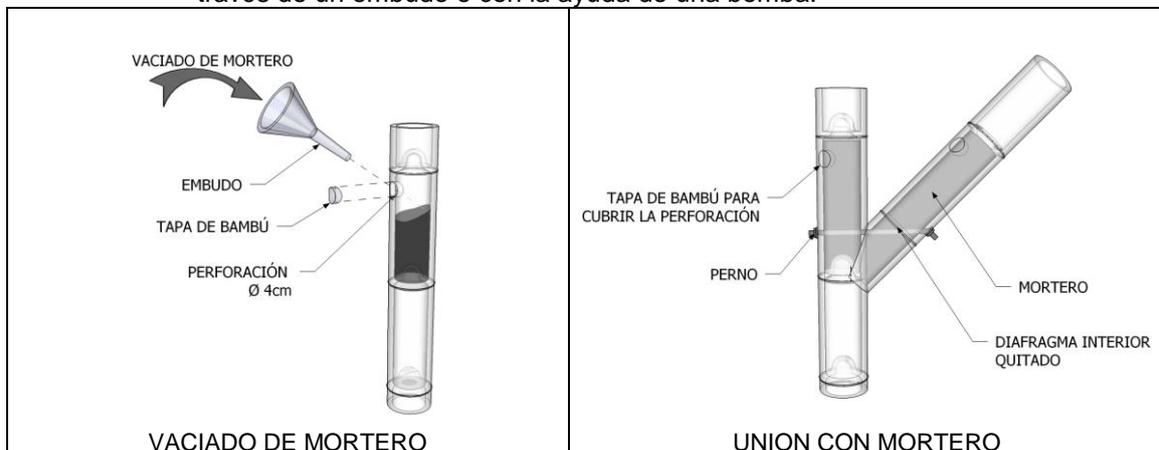
9.3.2.1.2**UNIONES CON TARUGOS O PERNOS.**

- Los tarugos serán de madera estructural ó de otros materiales de resistencia similar. Deberán colocarse arandelas, pletinas metálicas u otro material de resistencia similar entre la cabeza o tuerca del perno y el bambú.
- Los pernos pueden fabricarse con barras de refuerzo roscadas en obra o con barras comerciales de rosca continua según 9.1.2 ELEMENTOS METÁLICOS.
- La perforación del entrenudo para el perno debe pasar por el eje central del bambú.

**9.3.2.1.3****UNIÓN CON MORTERO**

Cuando un entrenudo está sujeto a una fuerza de aplastamiento, o cuando se requiera por diseño ser rellenado con mortero, se procederá de la siguiente manera:

- El mortero se elaborará de acuerdo a 9.1.3 MORTERO, debiendo ser lo suficientemente fluido para llenar completamente el entrenudo. Pueden usarse aditivos reductores de agua de mezclado, no corrosivos.
- Para vaciar el mortero, debe realizarse una perforación con un diámetro de 4cm como máximo, en el punto más cercano del nudo superior de la pieza de bambú. A través de la perforación se inyectará el mortero presionándolo a través de un embudo o con la ayuda de una bomba.



9.3.2.1.4 UNIONES LONGITUDINALES

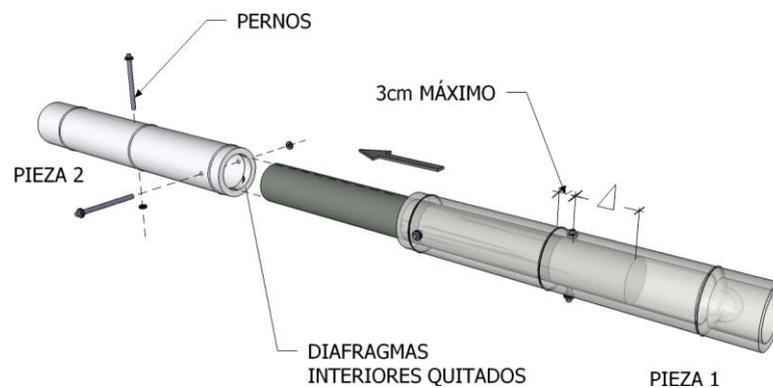
Para unir longitudinalmente, dos piezas de bambú, se deben seleccionar piezas con diámetros similares y unir las mediante elementos de conexión, según los casos 1, 2 y 3.

Caso 1: Con pieza de madera

Dos piezas de bambú se conectan mediante una pieza de madera y se deben unir con dos pernos de 9 mm como mínimo, perpendiculares entre si, en cada una de las piezas.

Los pernos estarán ubicados como máximo a 30 mm de los nudos.

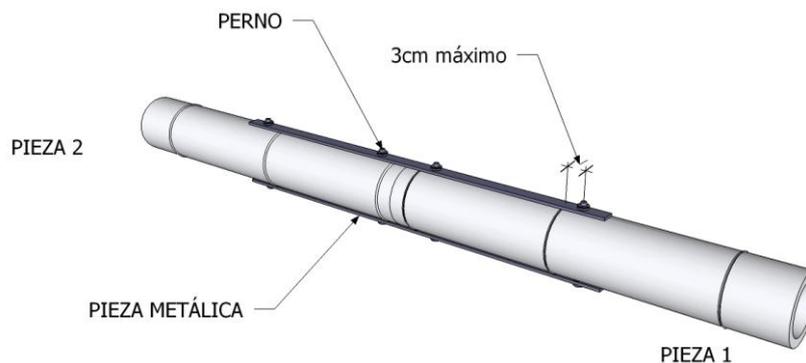
 (Delta) = Distancia existente entre el perno y el borde de la pieza de madera que conecta a los dos bambús. El valor de Delta será de cinco (05) diámetros del perno como mínimo.



Caso 2: Con dos piezas metálicas

Dos piezas de bambú se conectan entre sí mediante dos elementos metálicos, sujetos con pernos de 9 mm como mínimo, paralelos al eje longitudinal de la unión.

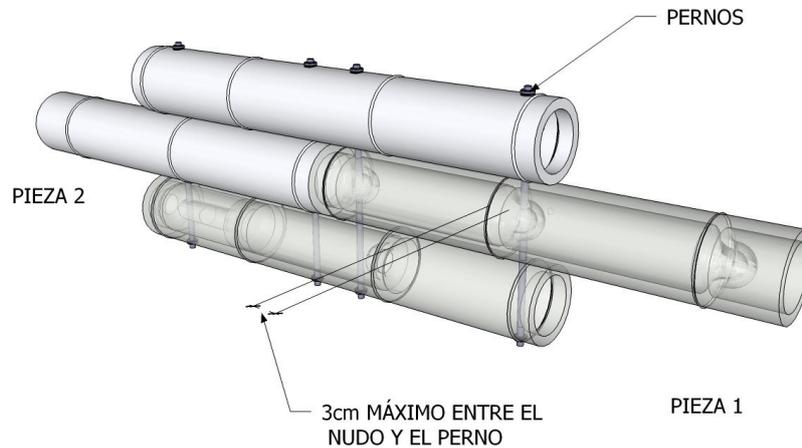
Los pernos estarán ubicados como máximo a 30 mm de los nudos.



Caso 3: Con dos piezas de bambú

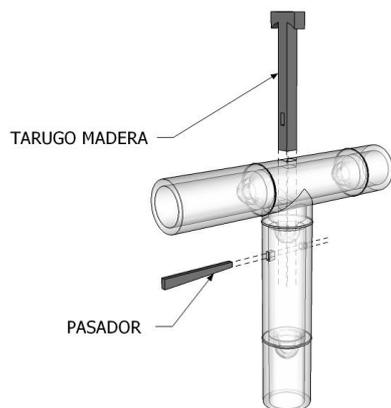
Dos elementos de bambú se conectan entre sí mediante dos piezas de bambú, sujetos con pernos de 9 mm como mínimo, paralelos al eje longitudinal de la unión.

Los pernos estarán ubicados como máximo a 30 mm de los nudos.

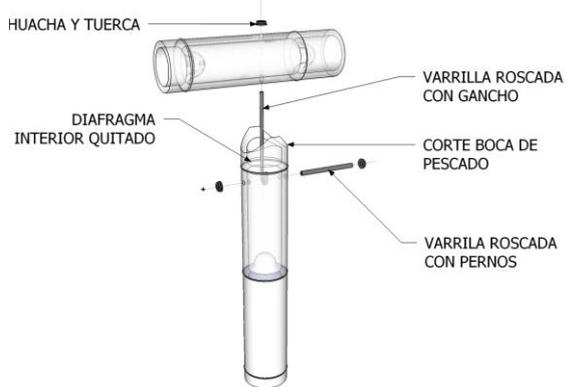
**9.3.2.1.5****UNIONES PERPENDICULARES Y EN DIAGONAL.**

Estas uniones tienen que reunir las siguientes características:

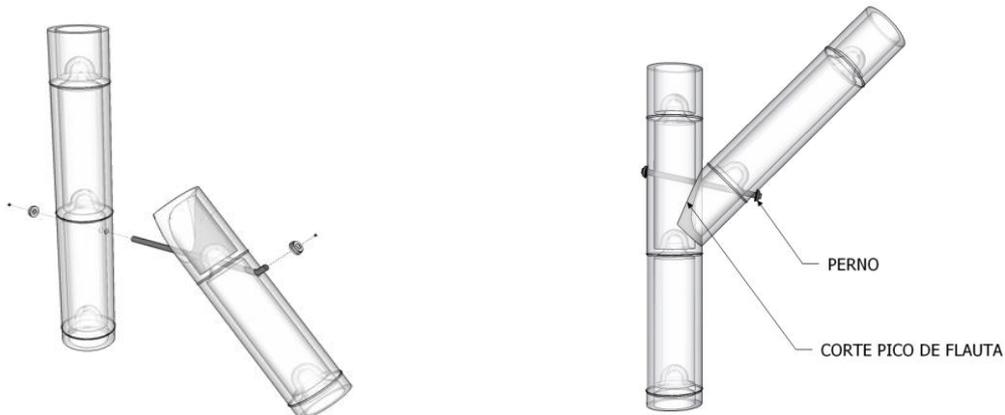
- Se debe lograr el mayor contacto entre las piezas, realizando los cortes según lo establecido en el ANEXO A (INFORMATIVO): TIPOS DE CORTES DE PIEZAS DE BAMBÚ, o cualquier otro mecanismo para lograr dicho objetivo.
- Se debe asegurar la rigidez de la unión, utilizando los refuerzos señalados en las uniones de los ítems 9.3.2.1.2 UNIONES CON TARUGOS O PERNOS y/o 9.3.2.1.3 UNIÓN CON MORTERO.



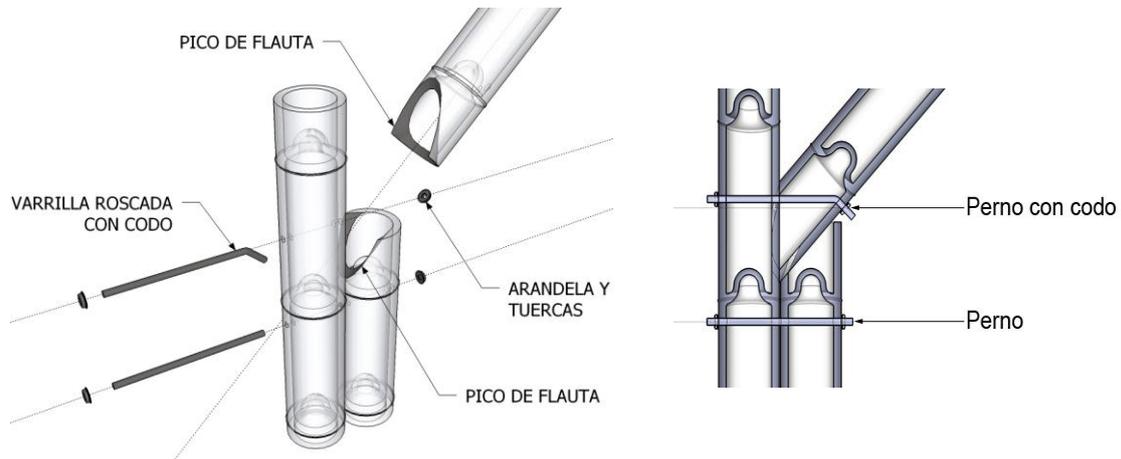
UNION PERPENDICULAR
CON TARUGO DE MADERA



UNION PERPENDICULAR
CON PERNO



UNION DIAGONAL SIMPLE



UNION DIAGONAL CON BAMBÚ DE APOYO

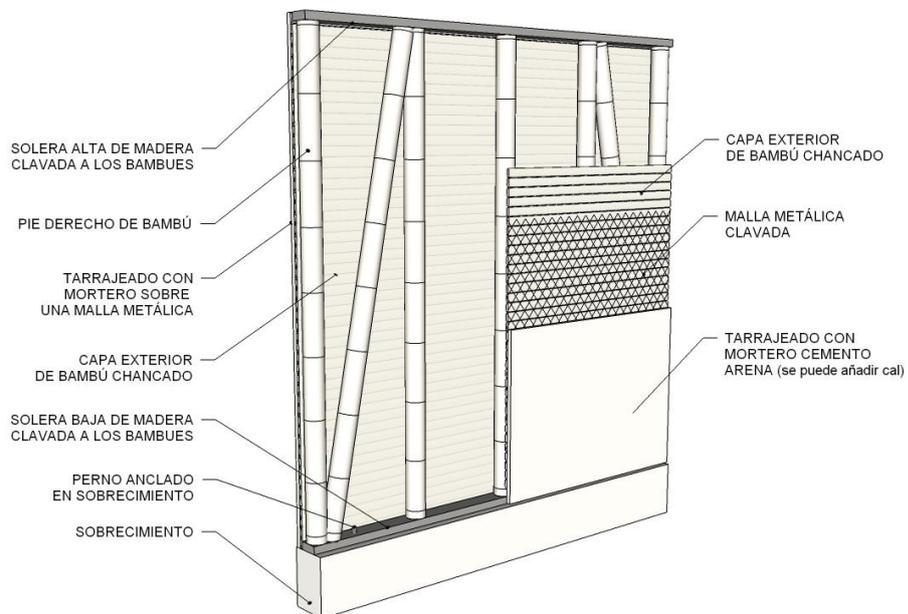
9.3.3 COLUMNAS Y MUROS ESTRUCTURALES (ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS VERTICALES).

9.3.3.1 COLUMNAS

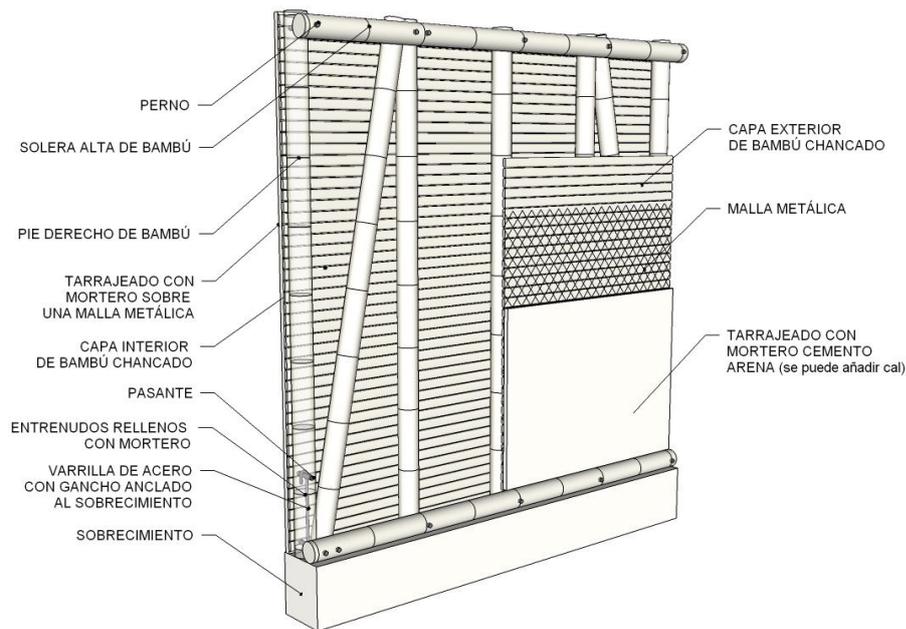
- Las columnas deben conformarse de una pieza de bambú o de la unión de dos o más piezas de bambú, colocadas de forma vertical con las bases orientadas hacia abajo.
- Las columnas compuestas de más de una pieza de bambú, deben unirse entre sí con zunchos o pernos, con espaciamientos que no excedan un tercio de la altura de la columna.

9.3.3.2 MUROS ESTRUCTURALES

- Los muros estructurales de bambú deben componerse de un entramado de bambúes o de bambúes y madera, constituidos por elementos horizontales llamados soleras, elementos verticales llamados pie – derechos y recubrimientos.
- Los bambúes no deben tener un diámetro inferior a 80 mm
- La distancia entre los pies derechos y el número de diagonales estará definido por el diseño estructural.
- En caso de soleras de madera, estas tendrán un ancho mínimo igual al diámetro de los bambúes usados como pie - derechos. El espesor mínimo de la solera superior e inferior será de 35 mm y 25 mm respectivamente.
- En caso de soleras de bambú, estas tendrán que ser reforzadas según lo establecido en 9.3.4.2.3 DEL ENTREPISO DE BAMBÚ, a fin de evitar su aplastamiento.



MURO CON SOLERAS DE MADERA

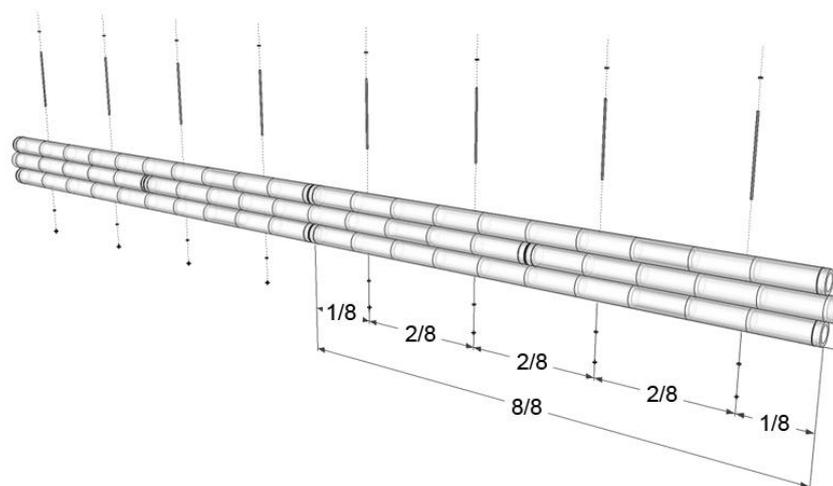


MURO CON SOLERAS DE BAMBÚ

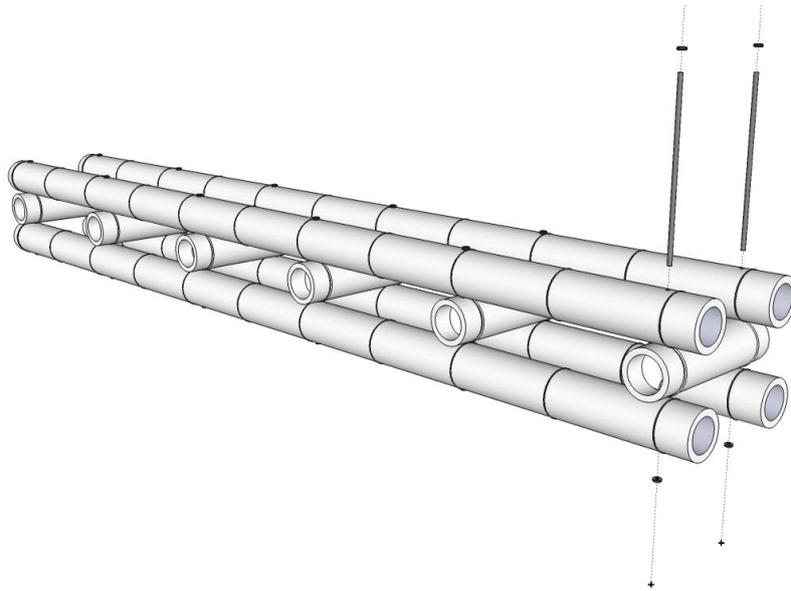
9.3.4 VIGAS Y ENTREPISOS (ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS HORIZONTALES)

9.3.4.1 VIGAS

- Las vigas deberán conformarse de una o de la unión de dos o más piezas de bambú.
- Las vigas compuestas de más de una pieza de bambú, deben unirse entre sí con zunchos o pernos espaciados como mínimo de un cuarto de la longitud de la viga.
- Para obtener vigas de longitudes mayores a las piezas de bambú, se deben unir dos bambúes longitudinalmente, según lo establecido en 9.3.2.1.3 UNIÓN CON MORTERO.
- Las uniones de las piezas de bambú en las vigas compuestas, deben ser alternadas.

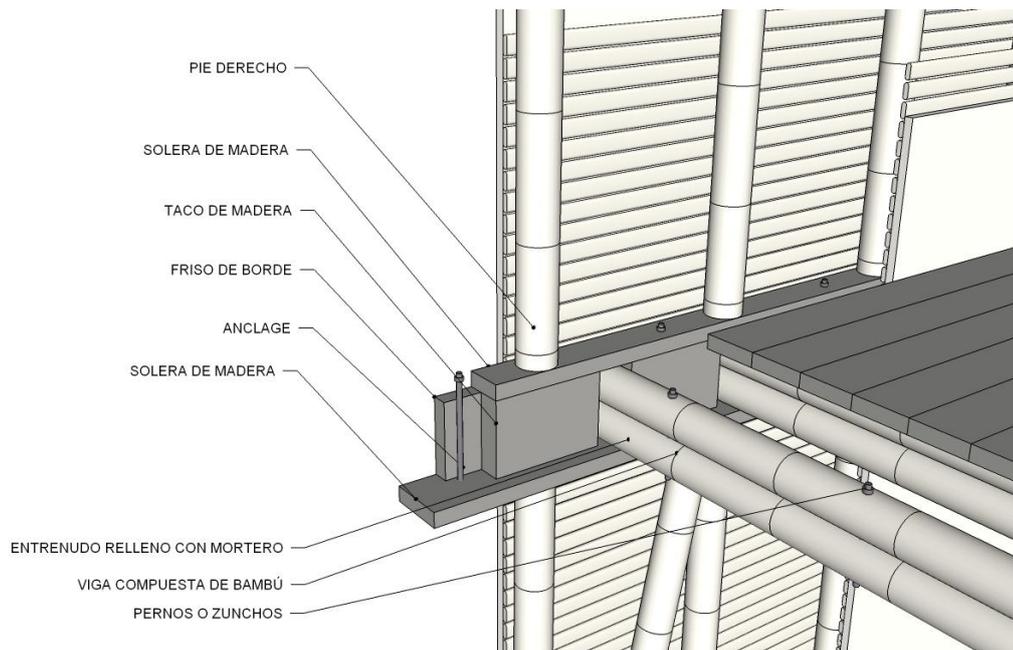
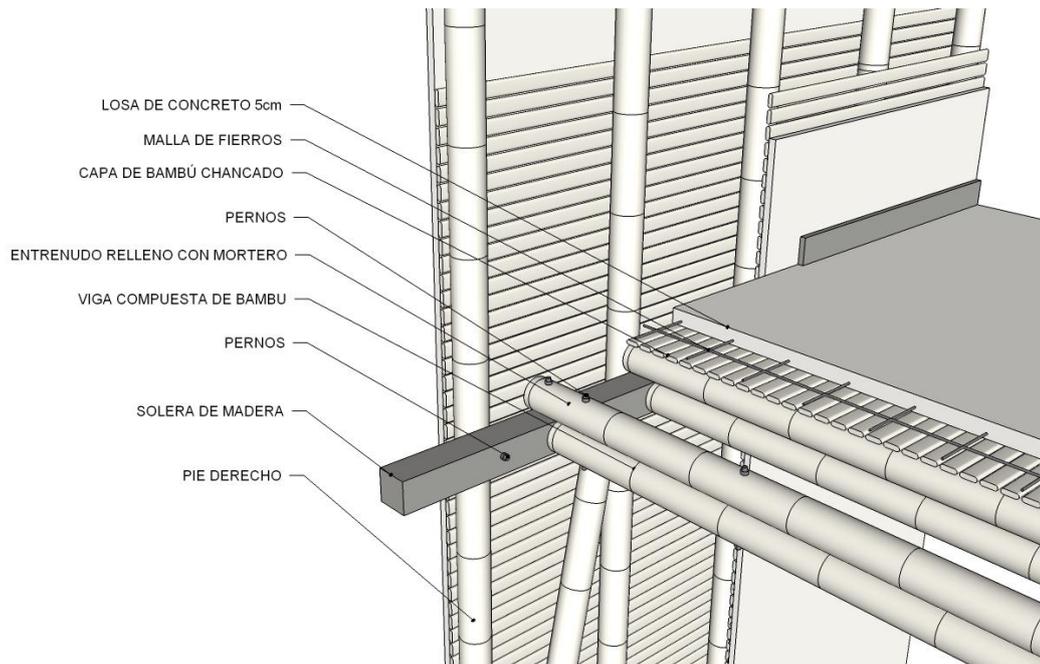


VIGA COMPUESTA TIPO A

**VIGA COMPUESTA TIPO B**

9.3.4.2 ENTREPISOS

- 9.3.4.2.1 No se permiten entrepisos de losa de concreto para edificaciones con bambú construidas de acuerdo a la presente norma, salvo que se justifique con el cálculo estructural correspondiente.
- 9.3.4.2.2 El proceso constructivo del entrepiso debe seguir las normas técnicas establecidas en el Título III.2 Estructuras del Reglamento Nacional de Edificaciones, según el material utilizado.
- 9.3.4.2.3 Del entrepiso de bambú
- El diseño estructural del entrepiso de bambú, se regirá de acuerdo al numeral 8. ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL, de la presente norma.
 - En los entrepisos se debe evitar el aplastamiento de las vigas de bambú en sus extremos, con las dos alternativas siguientes:
Colocando tacos de madera, de peralte igual al de la viga de bambú.
Rellenando con mortero de cemento los entrenudos de apoyo de las vigas.
 - En caso de vigas compuestas, conformadas por piezas de bambú superpuestas, se tendrá que prever el arriostramiento necesario para evitar el pandeo lateral.
- 9.3.4.2.4 Del recubrimiento del entrepiso
- El recubrimiento del entrepiso debe ser con materiales livianos, con peso máximo de 120 Kg/m², salvo que se justifique con el cálculo estructural correspondiente.
 - Si se construye cielo raso debajo de la estructura de entrepiso, debe facilitarse la ventilación de los espacios interiores.



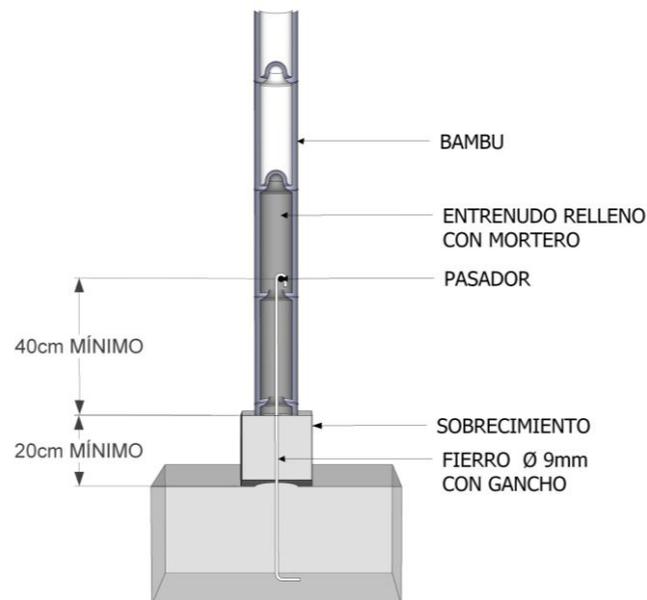
9.3.5 UNIONES DE ACUERDO A LA FUNCIÓN

9.3.5.1 UNIÓN ENTRE SOBRE CIMIENTO Y COLUMNA

- Las fuerzas de tracción se deben transmitir a través de conexiones emperradas. Un perno debe atravesar el primero o el segundo entrenudo del bambú.
- Cada columna debe tener como mínimo una pieza de bambú conectada a la cimentación o al sobre-cimiento.
- Se rellenarán los entrenudos atravesados por la pieza metálica y el pasador con una mezcla de mortero según las especificaciones de 9.1.3 MORTERO de la presente norma.
- Se debe evitar el contacto del bambú con el concreto o la mampostería con una barrera impermeable a base de un sistema hidrófugo.
- La unión entre sobre cimiento y columna se realizará de acuerdo a los casos 1 y 2:

Caso 1: Unión con Anclaje Interno

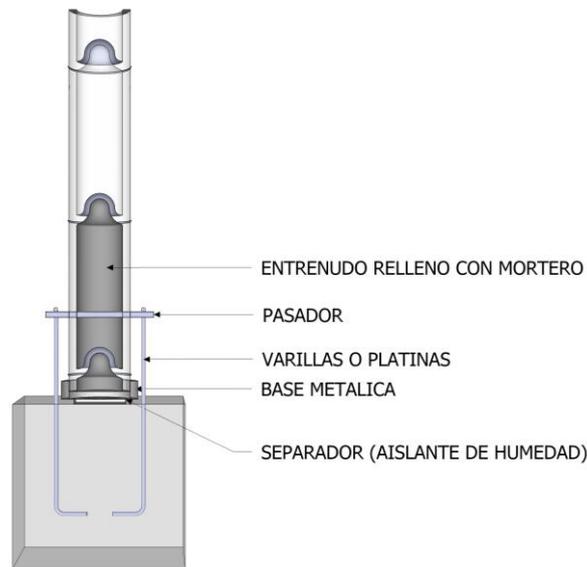
- a. Se deja empotrada a la cimentación una barra de fierro 9mm de diámetro como mínimo con terminación en gancho. Esta barra tendrá una longitud mínima de 40 cm sobre la cimentación.
- b. Antes del montaje de la columna de bambú, se perforan como mínimo los diafragmas de los dos primeros nudos de la base de la columna.
- c. Se coloca un pasador (perno) con diámetro mínimo de 9mm, que pasará por el gancho de la barra.
- d. Los entrenudos atravesados por la barra se rellenarán con mortero de acuerdo al numeral 9.1.3 MORTERO.



Caso 2: Unión con Anclaje Externo

Se deja empotrada a la cimentación una base metálica con dos varillas o platinas de fierro de 9mm de diámetro como mínimo. Estas varillas o platinas tendrán una longitud mínima de 40 cm sobre la cimentación.

Se coloca un pasador (perno) con diámetro mínimo de 9mm, que unirá las dos varillas o platinas, sujetando la columna de bambú.



9.3.5.2 UNIÓN ENTRE SOBRE CIMIENTO Y MUROS

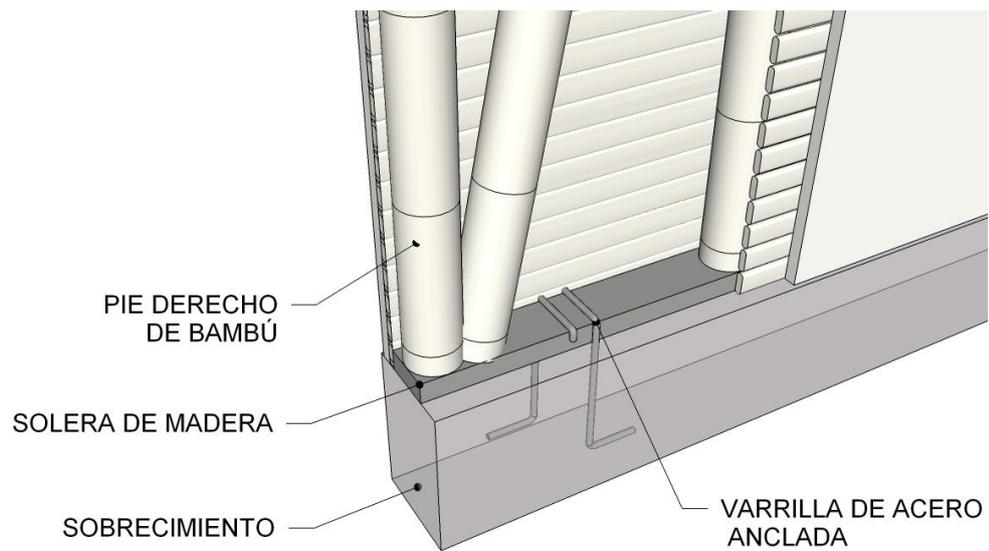
9.3.5.2.1 Cada muro debe tener como mínimo dos puntos de anclaje conectados a la cimentación o al sobre-cimiento mediante conectores metálicos. Los puntos de anclajes no pueden estar separados a una distancia superior a 2.50 m

9.3.5.2.2 En caso de las puertas habrá un punto de anclaje en ambos lados.

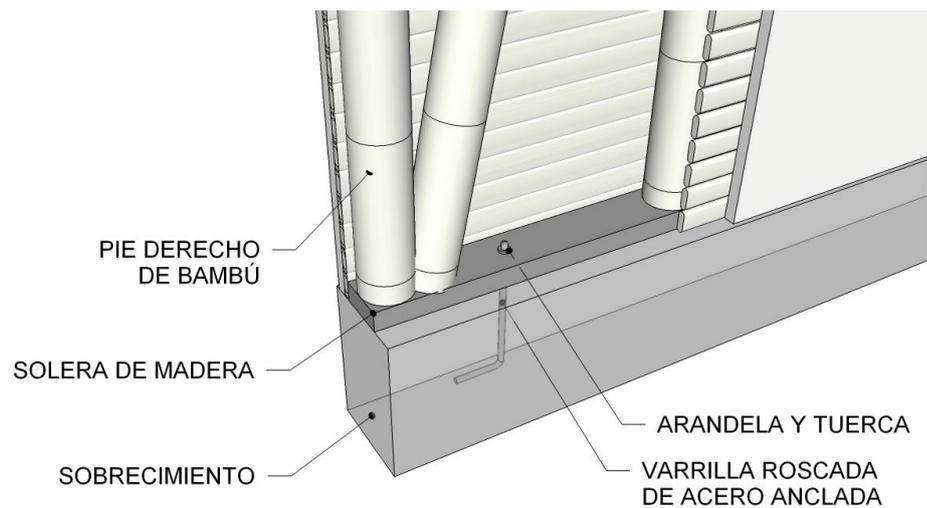
9.3.5.2.3 Tipos:

- Unión con soleras de madera aserrada

En este caso las soleras se fijan a los cimientos con barras de fierros roscadas, fijadas a éstas, con tuercas y arandelas que cumplan con lo establecido en 9.1.2 ELEMENTOS METALICOS de la presente norma. La madera debe separarse del concreto o de la mampostería con una barrera impermeable.



CON VARRILLA DE ACERO ANCLADA

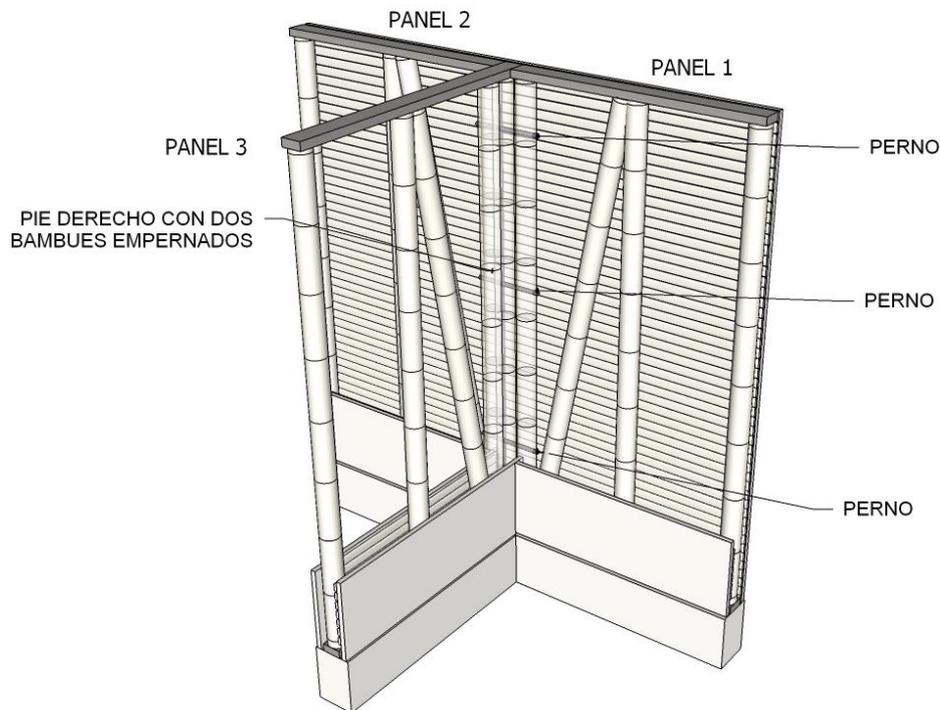


CON VARILLA DE ACERO ROSCADA

- Unión con soleras de bambú
Para este caso, los muros deben conectarse a los cimientos fijando los pies-derechos necesarios, tal como se establece para columnas de bambú según 9.3.5.1 UNIÓN ENTRE SOBRE CIMIENTO Y COLUMNA.

9.3.5.3**UNIÓN ENTRE MUROS**

Se unen entre sí mediante pernos o zunchos. Debe tener como mínimo tres conexiones por unión, colocadas a cada tercio de la altura del muro. El perno debe tener, por lo menos 9 mm de diámetro.

**9.3.5.4****UNIÓN ENTRE MUROS Y ENTREPISO MEDIANTE CORREA DE MADERA ESTRUCTURAL**

La unión entre muros y entrepisos (Ver 9.3.4.2 ENTREPISOS) debe seguir los siguientes lineamientos:

- Debe existir una viga de amarre a nivel del entrepiso.
- Se debe lograr la continuidad estructural de los muros del primer y segundo piso.
- La estructura del entrepiso y del muro deben estar fijados de tal manera que garantice su comportamiento de conjunto.
- Garantizar que no se produzca aplastamiento de las vigas de bambú.

9.3.5.5**UNIÓN ENTRE MUROS Y CUBIERTA**

La unión entre muros y cubierta debe seguir los siguientes lineamientos:

- Debe existir una viga de amarre a nivel de cubierta.
- Se debe lograr la continuidad estructural de la cubierta con los muros que lo soportan.
- La estructura de la cubierta debe estar fijada a los muros de tal manera que garantice su comportamiento de conjunto.
- Garantizar que no se produzca aplastamiento del bambú.

9.3.5.6**UNIÓN ENTRE COLUMNA CUBIERTA**

La estructura de la cubierta debe estar fijada a las columnas de tal manera que garantice su comportamiento de conjunto.

**9.3.6 CUBIERTA.****9.3.6.1 ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA.**

- Los elementos portantes de la cubierta deben conformar un conjunto estable para cargas verticales y laterales, para lo cual tendrán los anclajes y arriostramientos requeridos.
- El proceso constructivo de la cubierta debe seguir las normas técnicas establecidas en el Título III.2. Estructuras del Reglamento Nacional de Edificaciones, según el material utilizado.
- En caso de una estructura de bambú, se deben cumplir con los siguientes requisitos:

La cubierta debe ser liviana.

Los materiales utilizados para la cubierta deben garantizar una impermeabilidad suficiente para proteger de la humedad a los bambúes y a la madera de la estructura de soporte.

Para aleros mayores de 60 cm deberá proveerse de un apoyo adicional, salvo que se justifique estructuralmente.

9.3.6.2 RECUBRIMIENTO DE LA CUBIERTA.

- Los materiales de la cobertura se regirán de acuerdo a las normas técnicas establecidas en el Título III.2 Estructuras del Reglamento Nacional de Edificaciones..
- Estos materiales deben garantizar impermeabilidad que proteja de la humedad a los bambúes y a la madera de la estructura de soporte.
- Cuando se utilicen materiales que transmiten humedad por capilaridad, como las cubiertas de teja de barro, debe evitarse su contacto directo con el bambú, a fin de prevenir su pudrición.
- El material utilizado deberá proteger la estructura de bambú de la radiación solar.

9.3.6.3 CIELO RASO DE LA CUBIERTA.

En caso de colocar un cielo-raso debe construirse con materiales livianos anclados a la estructura del entrepiso o de la cubierta y permitir la ventilación de cubiertas y entrepisos.

9.3.7 INSTALACIONES SANITARIAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS**9.3.7.1 INSTALACIONES SANITARIAS**

- Las instalaciones sanitarias se regirán según lo establecido en el Título III.3 del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Las instalaciones sanitarias no deben estar empotradas dentro de los elementos estructurales de bambú.

9.3.7.2 INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS

- Las instalaciones eléctricas y mecánicas se regirán según lo establecido en el Título III.4 del Reglamento Nacional de Edificaciones, según sea el caso.
- Las instalaciones eléctricas pueden ser empotradas dentro de los muros estructurales de bambú. En caso de requerirse perforaciones estas no deberán exceder de 1/5 del diámetro de la pieza de bambú.
- Los conductores eléctricos deben ser entubados o de tipo blindado, con terminación en cajas de pases metálicos o de otro material incombustible. Los



empalmes y derivaciones serán debidamente aisladas y hechas en las cajas de pase.

- La instalación eléctrica no debe ser perforada o interrumpida por los clavos que unen los elementos estructurales.

10 MANTENIMIENTO

Toda edificación de bambú, debe ser sometida a revisiones, ajustes y reparaciones a lo largo de su vida útil.

El mantenimiento del bambú, se debe realizar con materiales como: ceras, lacas, barnices o pintura y según los siguientes criterios:

- Para piezas de bambú expuestas a la intemperie se debe realizar el mantenimiento como mínimo cada 6 meses.
- Para piezas de bambú en exteriores, protegidas de la intemperie, se debe realizar el mantenimiento como mínimo cada 1 año.
- Para piezas estructurales de bambú en interiores, se debe realizar el mantenimiento como mínimo cada 2 años.
- Se deberán reajustar los elementos que por contracción del bambú, por vibraciones o por cualquier otra razón se hayan desajustado.
- Si se encuentran roturas, deformaciones excesivas, podredumbres o ataques de insectos xilófagos en las piezas estructurales, éstas deberán ser cambiadas.
- Si se detecta la presencia de insectos xilófagos, se deberá realizar el tratamiento del caso para su eliminación.
- Garantizar que los mecanismos de ventilación previstos en el diseño original funcione adecuadamente.
- Evitar la humedad que puede propiciar la formación de hongos y eliminar las causas.
- Deberá verificarse los sistemas especiales de protección contra incendios y las instalaciones eléctricas.
- Aquellas partes de la edificación próximas a las fuentes de calor, deben aislarse o protegerse con material incombustible o con sustancias retardantes o ignífugos, aprobados por la legislación peruana, que garanticen una resistencia mínima de una hora frente a la propagación del fuego.
- Los elementos y componentes de bambú, deben ser sobredimensionados con la finalidad de resistir la acción del fuego por un tiempo adicional predeterminado.
- Revisar la unión periódicamente, para remplazarla en caso de aflojamiento.

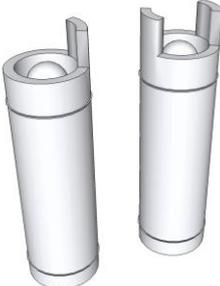


ANEXOS INFORMATIVOS

ANEXO A: TIPOS DE CORTES DE PIEZAS DE BAMBÚ

- Cuando dos piezas de bambú se encuentran en el mismo plano y según los tipos de uniones que se quieran realizar, se recomienda efectuar cortes que permitan un mayor contacto entre ellas o utilizar piezas de conexión que cumplan esta función.
- Los cortes básicos que se pueden utilizar son los siguientes:

A.1 RECTO

Corte sin orejas	Corte con orejas
	

A.1.2 A BISEL

Corte sin orejas	Corte con orejas
	

A.1.3 BOCA DE PESCADO

Corte sin orejas	Corte con orejas
	

A.1.4 PICO DE FLAUTA

Corte sin orejas	Corte con orejas
	



ANEXO B: AYUDA DE CÁLCULO PARA ESFUERZOS A FLEXIÓN.

B.1 ESFUERZO A FLEXIÓN

El esfuerzo a flexión actuante (f_b) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisibles (f'_b) modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

f_m = M / S ≤ f'_m

- f_m = esfuerzo a flexión actuante, en Mpa
f'_m = esfuerzo admisible modificado, en Mpa
M = momento actuante sobre el elemento N mm
S = módulo de sección en mm^3.

El módulo de sección S, para una guadua se expresa con la siguiente ecuación:

S = (pi * (D_e^4 - [D_e - 2t]^4)) / (32 D_e)

- En donde:
S = módulo de sección en mm^3.
D_e = diámetro promedio exterior del bambu en mm
t = espesor promedio de la pared del bambú en mm

B.2 Para verificar la resistencia a la flexión de secciones compuestas de 2 o más bambúes, se debe calcular el modulo de sección para cada condición particular. En la siguiente tabla se presentan algunos módulos de sección para secciones compuestas.

Table with 2 columns: Sección and S (mm^3). It contains two rows of diagrams and formulas for composite sections of bamboo. The first row shows two bamboo rings with formula (G.12.8-6). The second row shows three bamboo rings with formula (G.12.8-7).



- B.3 Cuando se empleen varios bambúes para conformar un elemento a flexión, la inercia del conjunto se calcula como la suma de las inercias individuales de cada uno de los bambúes ($I = \sum I_i$). Si el constructor garantiza un trabajo en conjunto la inercia podrá ser calculada con el teorema de los ejes paralelos:

$$I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$$

- I = inercia de la sección compuesta, en mm^4 .
 A_i = área para el i-esimo bambú, en mm^2 .
 D_i = distancia entre el centroide del conjunto de bambúes y el centroide de i-esimo bambu, en mm
 I_i = la inercia individual de cada bambu referida a su propio centroide, en mm^4 .

- B.4 Los esfuerzos máximos de corte serán calculados a una distancia del apoyo igual a la altura (h) del elemento. Para vigas conformadas por un solo bambú dicha altura será igual al diámetro exterior (D_e) de la misma, exceptuando en voladizos donde el esfuerzo máximo de corte será calculado en la cara del apoyo. Para vigas conformadas por dos bambúes la altura (h) corresponde a la altura real del elemento. El máximo esfuerzo cortante debe ser determinado teniendo en cuenta la distribución no uniforme de los esfuerzos en la sección y debe ser inferior al máximo esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras (F'_v) establecido para los bambúes rollizos TABLA N° 8.4.1. ESFUERZOS ADMISIBLES, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

B.5 ESFUERZO CORTANTE PARALELO A LAS FIBRAS

El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante (f'_v) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante paralelo a las fibras admisible (F'_v), modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f'_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$$

Dónde:

- f'_v = esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante, en MPa
 A = área de la sección transversal del elemento de guadua rolliza, en mm^2
 D_e = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
 t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
 F'_v = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
 v = fuerza cortante en la sección considerada, en N

**B.6 APLASTAMIENTO**

Los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras (f_p), deben verificarse especialmente en los apoyos y lugares en los que haya cargas concentradas en áreas pequeñas. El esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras actuante no debe exceder al esfuerzo admisible de compresión perpendicular modificado por los coeficientes a que haya lugar.

B.7 APLASTAMIENTO

El esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra actuante se calcula con la siguiente fórmula:

$$f'_{c \perp} = \frac{3 R D_e}{2 t^2 I} < F'_p$$

En donde:

$f'_{c \perp}$	=	esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
d_c	=	esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, en MPa
D_e	=	diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
t	=	espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
I	=	longitud de apoyo, en mm
R	=	Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, en N.

B.8 APLASTAMIENTO

Todos los entrenudos que estén sometidos a esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra deben estar llenos de mortero de cemento, tacos de madera u otro material que garantice una rigidez similar. En el caso en que esto no se cumpla el valor del esfuerzo admisible F'_p se debe reducir a la cuarta parte $F'_p/4$

B.9 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESION AXIAL

El radio de giro de la sección constituido por un solo bambú será calculado con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{\left(D_e^2 + (D_e - 2t)^2 \right)}}{4}$$

En donde:

D_e	=	diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
t	=	espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
r	=	radio de giro de la sección.

B.10 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESION AXIAL

En el diseño de elementos solicitados a compresión constituidos por dos o mas bambús la medida de esbeltez será calculada usando la ecuación B.9 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL de este mismo Anexo, con el radio de giro r calculado con la siguiente expresión

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



En donde:

- I = Inercia de la sección calculada de acuerdo con B.11
ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL.
- A = área de la sección transversal, en mm².
- r = radio de giro de la sección.

B.11 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESION AXIAL

Cuando se empleen varios bambúes para conformar un elemento a compresión, la inercia del conjunto se calcula como la suma de las inercias individuales de cada uno de los bambúes ($I = \sum I_i$). Si el constructor garantiza un trabajo conjunto la inercia podrá ser calculada con las siguientes expresiones:

- Para elementos de compresión tipo celosía, la inercia será calculada como ($I = \sum (A_i d_i^2)$), siendo A_i el area para el i-esimo bambu y d_i la distancia entre el centroide del conjunto de bambu y centroide del i-esimo bambu.
- Para elementos de compresión unidos en toda su longitud, la inercia será calculada como ($I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$), siendo I_i la inercia individual de cada bambú referida a su propio centroide.



ANEXO C: PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE ACTUANTE POR SISMO O VIENTO PARA EDIFICACIONES DE HASTA DOS PISOS DE ALTURA.

C.1 SISMO:

La fuerza cortante debida al sismo puede determinarse multiplicando el área techada de la edificación por los valores que se presentan en la tabla siguiente:

C.1.1. Edificaciones con cobertura liviana, tal como cartón bituminoso, planchas de asbesto cemento, calamina, etc.

C.1.1.1 Estructuras de un piso: 10,7 kg por m² de área techada

C.1.1.2 Estructuras de dos pisos:

Segundo nivel: 16,1 kg por m² de área techada en el segundo nivel.

Primer nivel: 16,1 kg por m² de área total techada

C.1.2 Edificaciones con coberturas pesadas de tejas o similares

C.1.2.1 Estructuras de un piso: 29,5 kg por m² de área techada

C.1.2.2 Estructuras de dos pisos:

Segundo nivel: 29,8 kg por m² de área techada en el segundo nivel.

Primer nivel: 22 kg por m² de área total techada

C.2 VIENTO:

Para determinar la fuerza cortante debido a cargas de viento se deberá multiplicar en cada dirección el área proyectada por los coeficientes de la tabla siguiente:

C.2.1 Estructuras de un piso: 21 kg por m² de área proyectada

C.2.2 Estructuras de dos pisos:

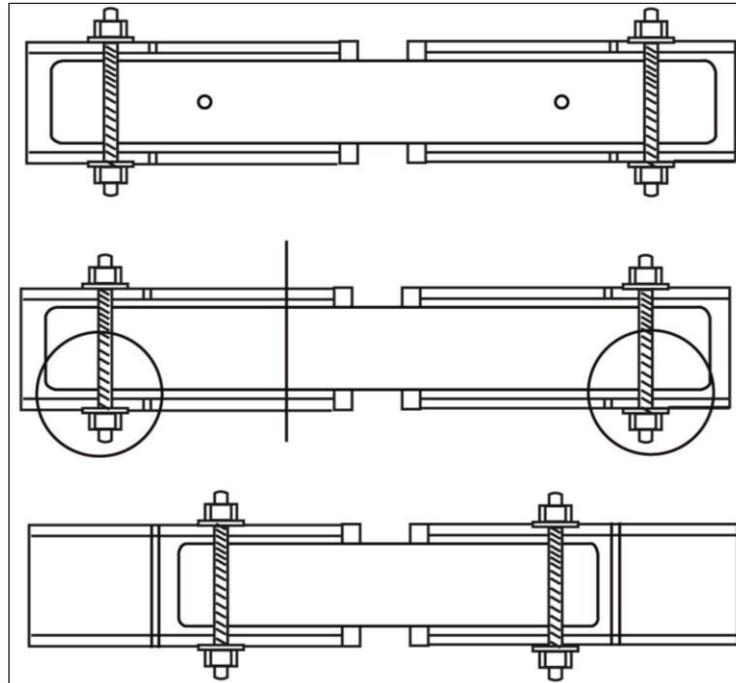
Segundo nivel: 21 kg por m² de área proyectada correspondiente al segundo nivel.

Primer nivel: 21 kg por m² de área total

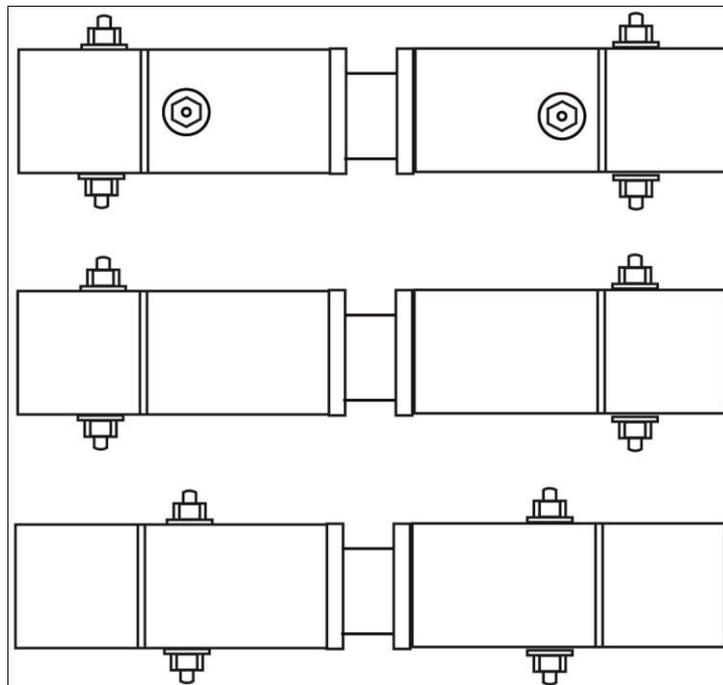


ANEXO D: DISEÑO DE UNIONES

D.1 **UNIONES COLINEALES:** Utilizar tarugos de madera y 1 perno de 3/8" en cada extremo para una resistencia admisible de 200 Kg. Utilizar tarugos de madera y 2 perno de 3/8" en cada extremo para una resistencia admisible 350 Kg.



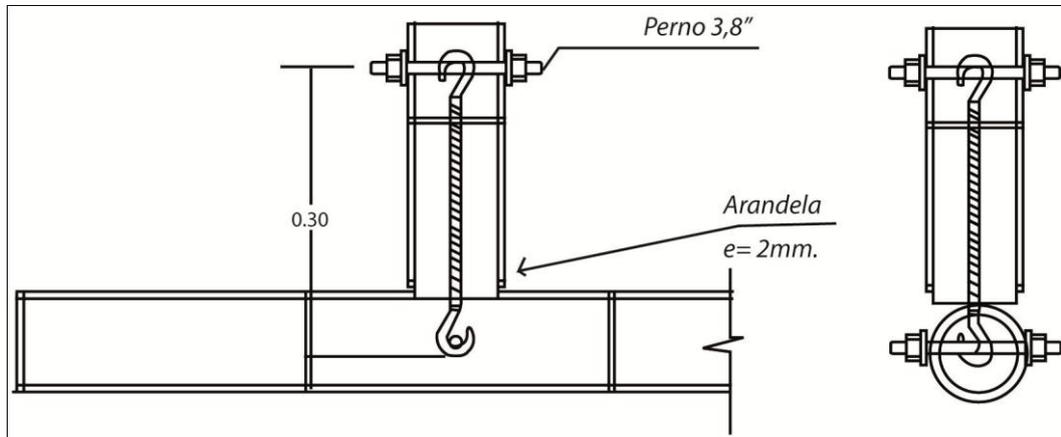
Corte



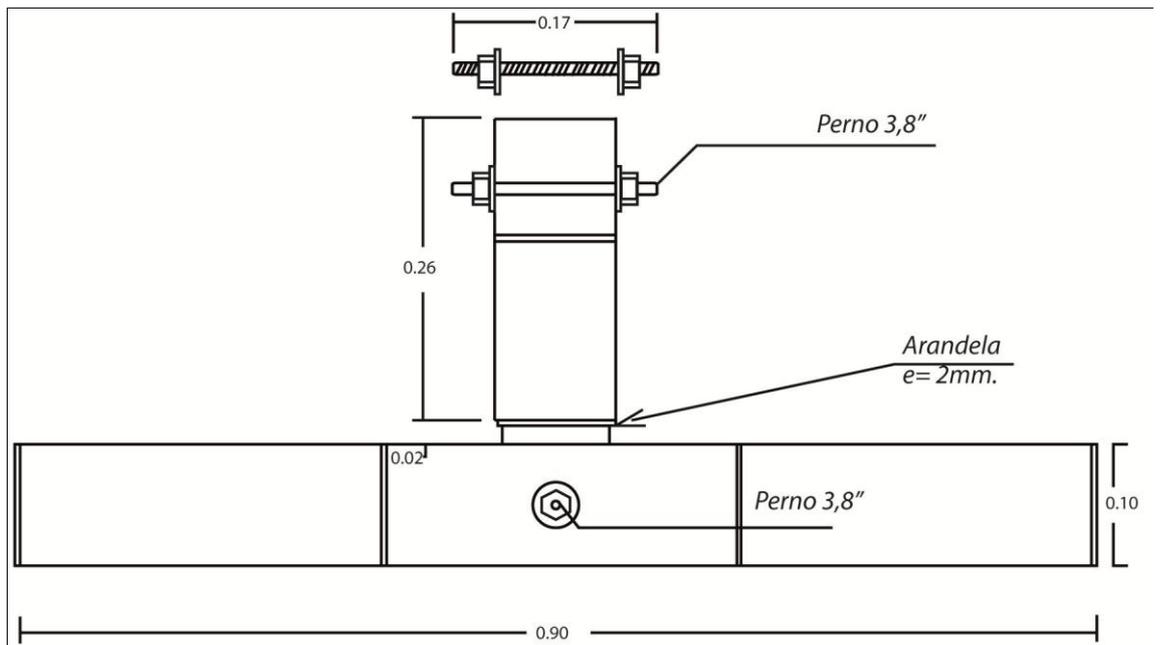
Vista



D.2 UNIONES PERPENDICULARES: Utilizar barra, pernos y pasadores de 3/8" según los siguientes gráficos para una resistencia admisible de 200kg.



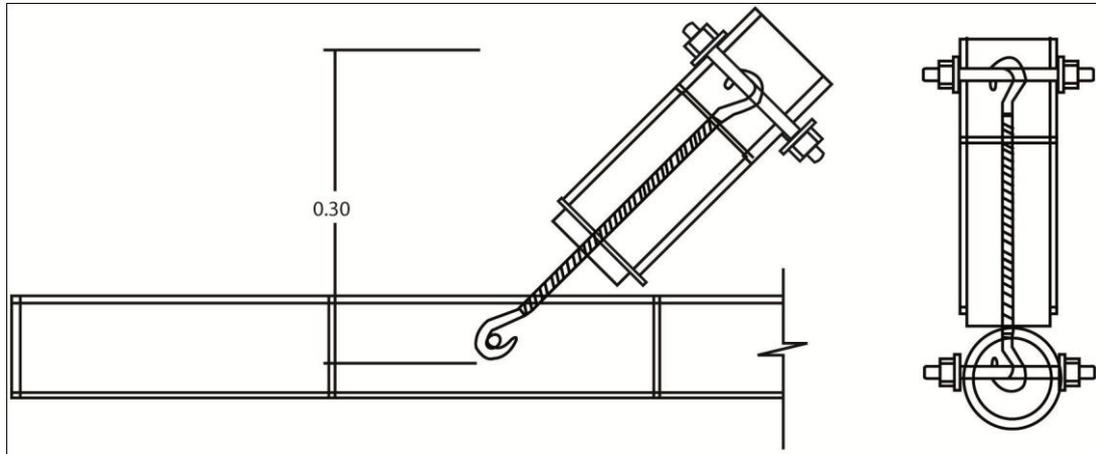
Corte



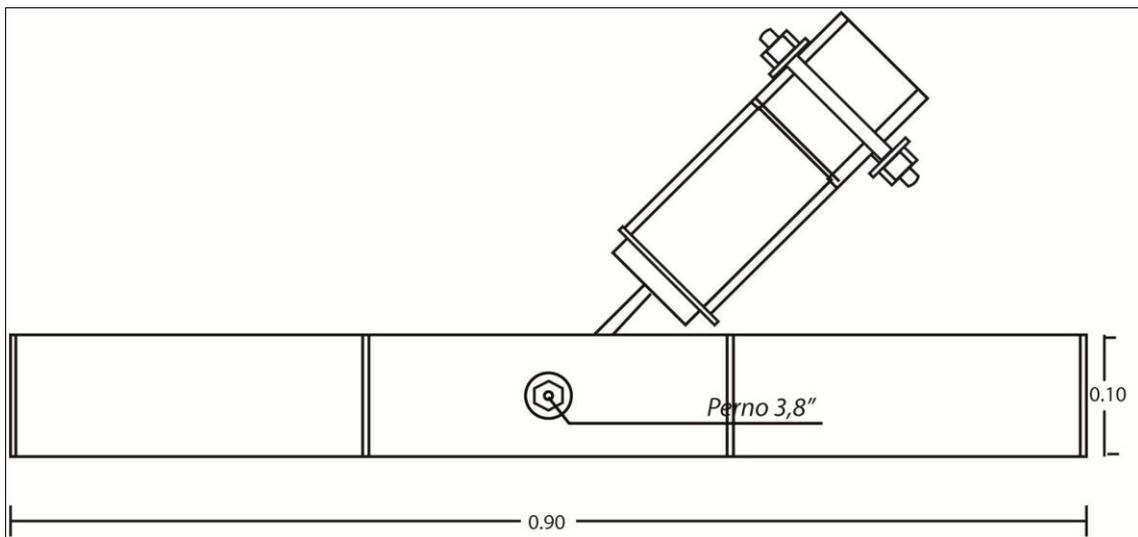
Vista



D.3 UNIONES DIAGONALES: Utilizar barra, pernos y pasadores de 3/8" con mortero (1:3 cemento : arena), según los siguientes gráficos para resistencia admisible de 200 Kg.



Corte



Vista



ANEXO E: CRITERIOS DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO EN EDIFICACIONES CON BAMBÚ

E.1 TIEMPO MÍNIMO DE RESISTENCIA AL FUEGO ENTRE EDIFICACIONES A BASE DE BAMBÚ SEGÚN EL TIPO DE OCUPACIÓN PREDOMINANTE.

TIEMPO MÍNIMO DE RESISTENCIA AL FUEGO (HORAS)	Uso													
	Público			Institucional			Residencial		Financ. y Serv.		Comercial		Industrial	
1	SALAS CINEMATOGRAFICAS ESTUDIOS DE TELEVISION LOCALS PARA OPERA TEATROS, TEATRINES, ETC.			GALERIAS DE ARTE AUDITORIOS, ESCUELAS MUSEOS BIBLIOTECAS, ETC.			COMPLEJOS DEPORTIVOS ESTADIOS COLISEOS CERRADOS, ETC.		PARQUES DE DIVERSION GRADERIAS ESCENARIOS AL AIRE LIBRE, ETC.		CARCELES HOSPITALES Siquiatricos ESTACIONES DE POLICIA REFORMATARIOS		GUARDERIAS INFANTILES	
2	VIVIENDAS HOTELES CONVENTOS INTERNADOS, ETC.			BANCOS PELLUQUERIAS MEDICOS CONSULTORIAS, ETC.			TIENDAS DE EXHIBICION MERCADOS DE ABASTO ALMACENES SUPERMERCADOS, ETC.		DESTILERIAS FABRICAS DE PINTURAS FABRICAS DE PRODUCTOS QUIMICOS ESTACIONES SERVICIOS, ETC.		HANGARES CARPINTERIA ESTACIONES ELECTRICAS TALLERES, ALMACENES, ETC.			
NP														
2														

Leyenda
 NP = No Permitido
 NR = No Requerido

• ADAPTADA DEL CODIGO NACIONAL DE CONSTRUCCION DEL CANADA

Fuente: Norma E.010 Madera

**E.2 TIEMPO ASIGNADO A TABLEROS DE REVESTIMIENTO**

DESCRIPCIÓN DEL TABLERO	TIEMPO (min)
Tablero de fibra de 12,5 mm	5
Tablero contrachapado de 8 mm con pegamento fenólico	5
Tablero contrachapado de 11 mm con pegamento fenólico	10
Tablero contrachapado de 14 mm con pegamento fenólico	15
Tablero de yeso de 9,5 mm	10
Tablero de yeso de 12,7 mm	15
Tablero de yeso de 15,9 mm	30
Doble tablero de yeso de 9,5 mm	25
Tablero de yeso de 12,7 mm y 9,5 mm	35
Doble Tablero de yeso de 12, 7 mm	40
Tablero de asbesto cemento de 4,5 mm y tablero de yeso de 9,5 mm	40(*)
Tablero de asbesto cemento de 4,5 mm y tablero de yeso de 12.7 mm	50(*)

(*) Valores aplicados a muros solamente.

Fuente: Norma E.010 Madera

E.3 RESISTENCIA AL FUEGO DE REVOQUES

MATERIAL DE BASE	ESPESOR DEL REVOQUE (mm)	REVOQUE	
		ARENAS Y CEMENTO PORTLAND	ARENA Y YESO
Listones de madera	13	5 min	20 min
Tablero de fibra de 12,5 mm	13	-----	20 min
Tablero de yeso de 9,5 mm	13	-----	35 min
Tablero de yeso de 9,5 mm	16	-----	40 min
Tablero de yeso de 9,5 mm	19	-----	50 min
Malla expandida	19	20 min	50 min
Malla expandida	23	25 min	60 min
Malla expandida	26	30 min	80 min

Fuente: Norma E.010 Madera

**E.4 DISTANCIA LÍMITE ENTRE EDIFICACIONES**

Fachada expuesta al fuego		ÁREA DE VANOS SIN PROTECCIÓN (%)											
		RETIRO DE PROTECCIÓN (M)											
Área m ²	Relación L/H o H/L	Menor 1:2	1,2	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6	7	8	9
10	Menos de 3:1	0	8	10	18	29	46	91	100				
	3:1 a 10:1	0	8	12	21	33	50	96	100				
	Mas de 10:1	0	11	18	32	48	68	100					
15	Menos de 3:1	0	7	9	14	22	33	63	100				
	3:1 a 10:1	0	8	10	17	25	37	67	100				
	Mas de 10:1	0	10	15	26	39	53	87	100				
20	Menos de 3:1	0	7	9	12	18	26	49	81	100			
	3:1 a 10:1	0	8	10	15	21	30	53	85	100			
	Mas de 10:1	0	9	14	23	33	45	72	100				
25	Menos de 3:1	0	7	8	11	16	23	41	66	98	100		
	3:1 a 10:1	0	8	9	13	19	26	45	70	100			
	Mas de 10:1	0	9	13	21	30	39	62	90	100			
30	Menos de 3:1	0	7	8	11	15	20	35	56	83	100		
	3:1 a 10:1	0	7	9	12	17	23	39	61	88	100		
	Mas de 10:1	0	8	12	19	27	36	56	79	100			
40	Menos de 3:1	0	7	8	10	13	17	28	44	64	89	100	
	3:1 a 10:1	0	7	8	11	15	20	32	48	69	93	100	
	Mas de 10:1	0	8	11	17	24	31	47	66	88	100		
50	Menos de 3:1	0	7	8	9	12	15	24	37	53	72	96	100
	3:1 a 10:1	0	7	8	10	14	18	28	41	57	77	100	
	Mas de 10:1	0	8	10	14	20	25	38	51	67	85	100	
60	Menos de 3:1	0	7	8	9	11	14	21	32	45	62	81	100
	3:1 a 10:1	0	7	8	10	13	16	25	36	49	66	85	100
	Mas de 10:1	0	8	10	14	20	25	38	51	67	85	100	

Fuente: Norma E.010 Madera

**ANEXO F: INFORMACIÓN DEL BAMBÚ EN EL PERÚ****F.1. CLASIFICACIÓN**

- Grupo : Angiospermas
- Clase: Monocotiledóneas
- Orden: Poales
- Familia : POACEAE
- Subfamilia : BAMBÚESOIDEAE
 - Tribu: Bambúeseae (leñoso)
 - Tribu Olyreae (herbáceo)

F.2 ESPECIES DEL PERÚ

En el Perú se ha reportado a la fecha la presencia de aproximadamente 50 especies nativas y exóticas de bambues leñosos (entre otras sin identificar), pertenecientes a las Subtribus y Géneros siguientes:

Especies Nativas: 38

- Sub Tribu Anthrostylydiinae
 - ◆ *Arthrotylidium* 02 especies
 - ◆ *Alounemia* 07 especies
 - ◆ *Elytrostachys* 01 especie
 - ◆ *Merostachys* 01 especie
 - ◆ *Riphiocladium* 02 especies
- Sub Tribu Chusqueinae
 - ◆ *Chusquea* 19 especies
 - ◆ *Neurolepsis* 01 especie
- Sub Tribu Guaduinae
 - ◆ *Guadua* 05 especies

Especies Exóticas o Introducidas: 12

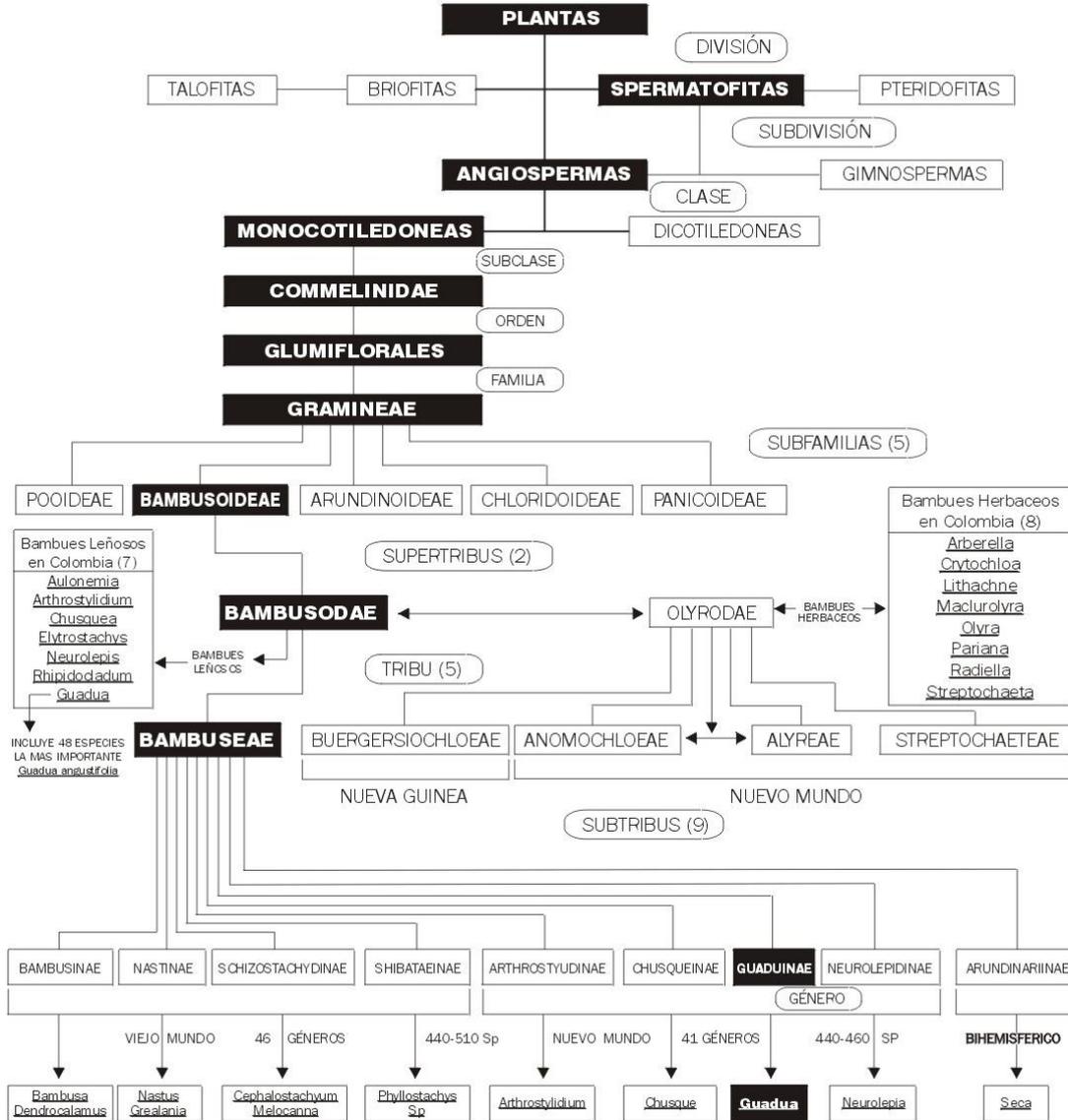
- Sub Tribu Bambúesinae
 - ◆ *Bambúesa* 07 especies
 - ◆ *Dendrocalamus* 02 especies
 - ◆ *Gigantochloa* 01 especies
- Sub Tribu Shibataeinae
 - ◆ *Phyllostachys* 02 especies
 - ◆

Especies nativas de género *Guadua*

- ◆ *Guadua angustifolia*
- ◆ *Guadua sarcocarpa*
- ◆ *Guadua superba*
- ◆ *Guadua weberbaueri*
- ◆ *Guadua paniculata*



F.3 TAXONOMÍA DE LA GUADUA



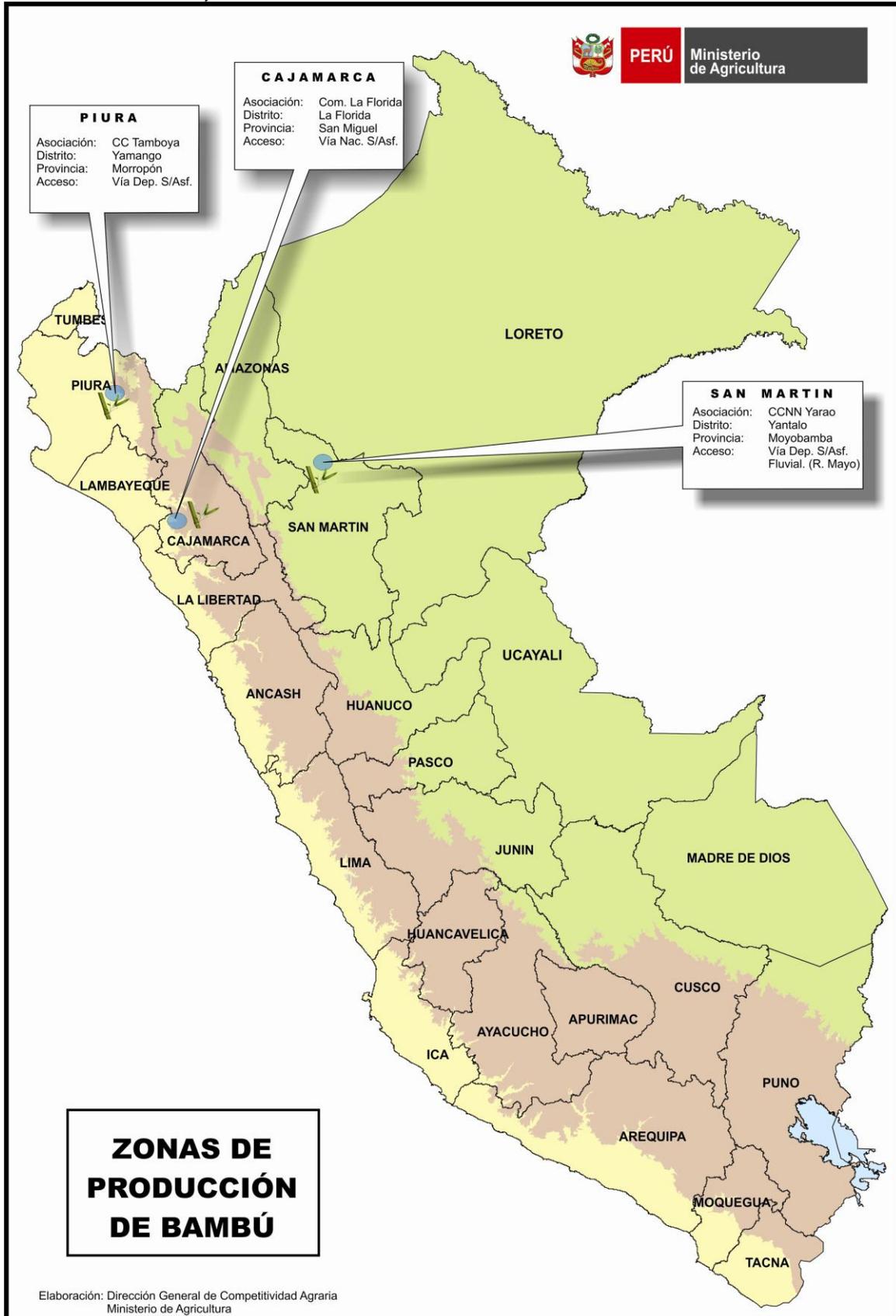
Fuente: International Network of Bambú and Rattan (INBAR).



PERÚ

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

F.4 ZONAS DE PRODUCCION MASIVA DE BAMBÚ ESTRUCTURAL (GUADUA ANGUSTIFOLIA).



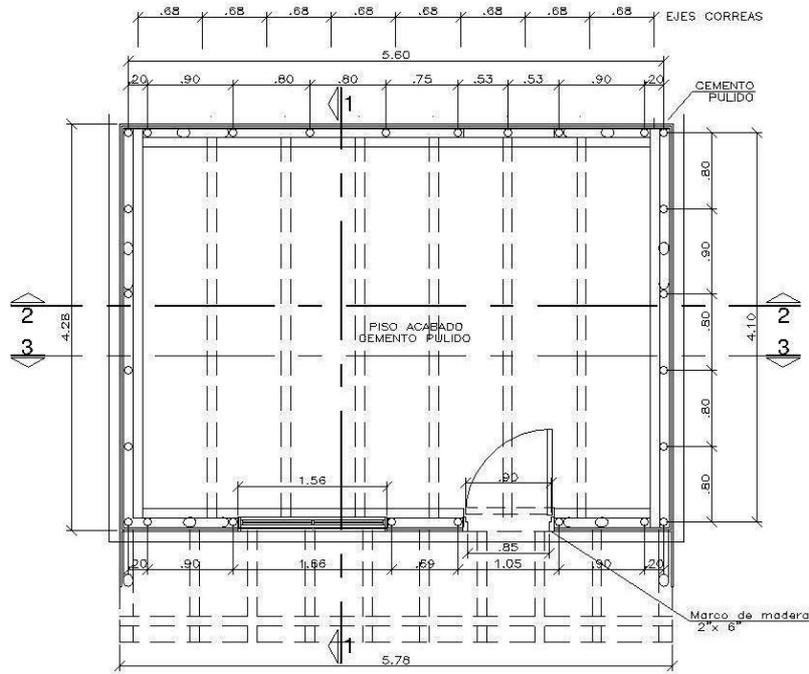
Año: 2011



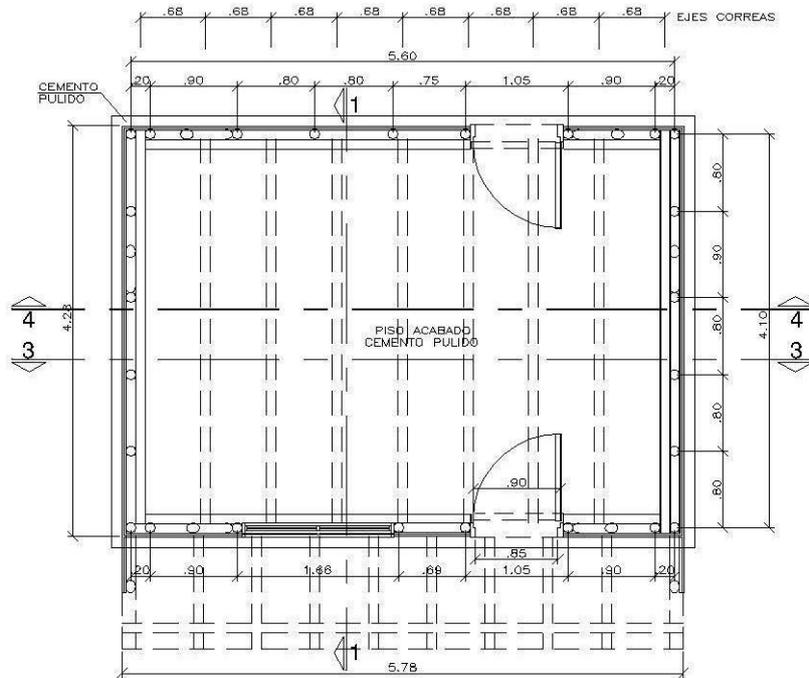
ANEXO G: EJEMPLO DE UN MÓDULO DE BAMBÚ.

(Módulo de un nivel y de una superficie de 4.28 m x 5.78 m.)

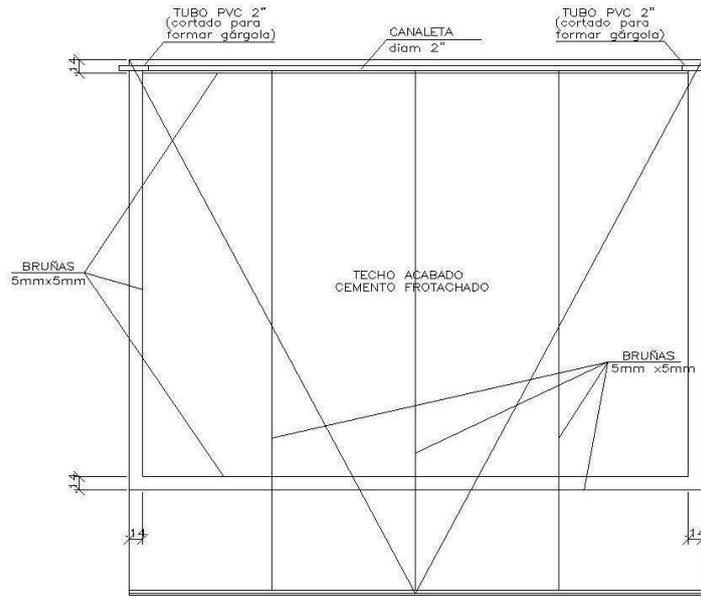
G.1 ARQUITECTURA:



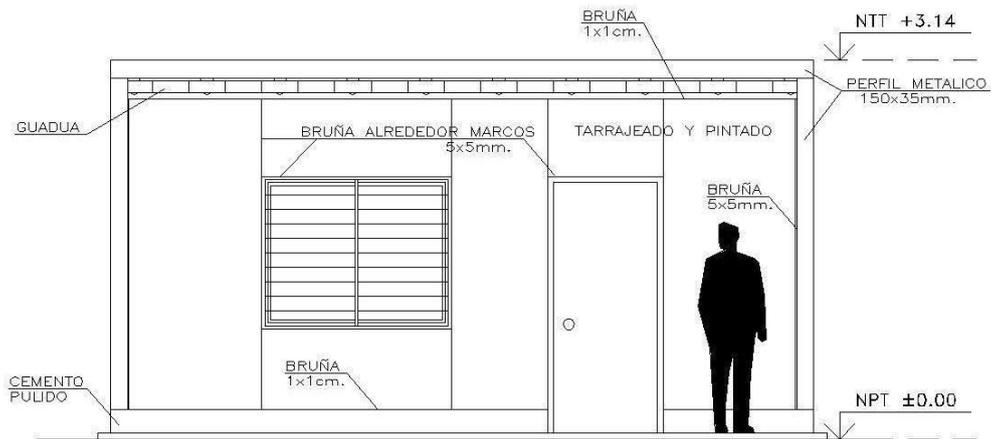
Planta "A" (una puerta)



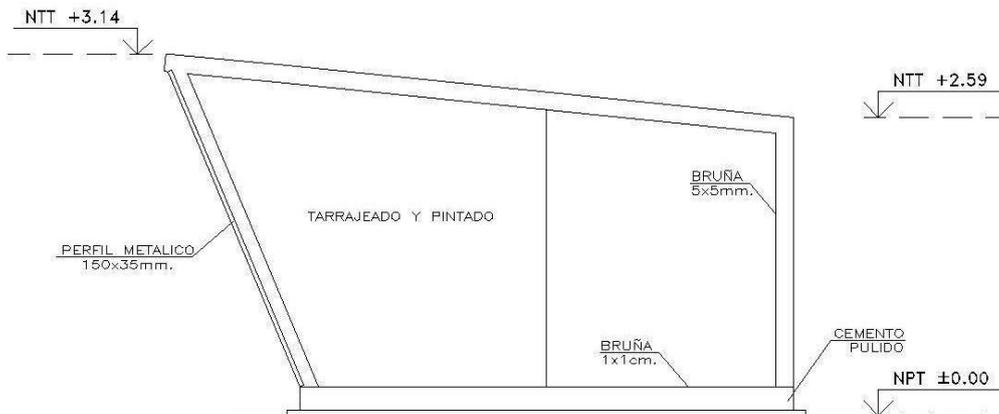
Planta "B" (dos puertas)



Plano de Techo ("A" y "B")



Elevación Frontal ("A" y "B")

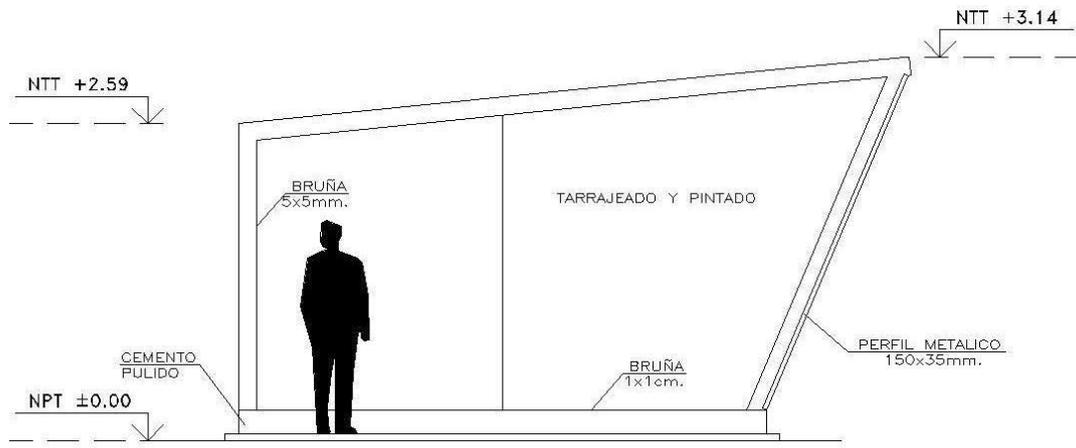


Elevación Lateral Derecha ("A" y "B")

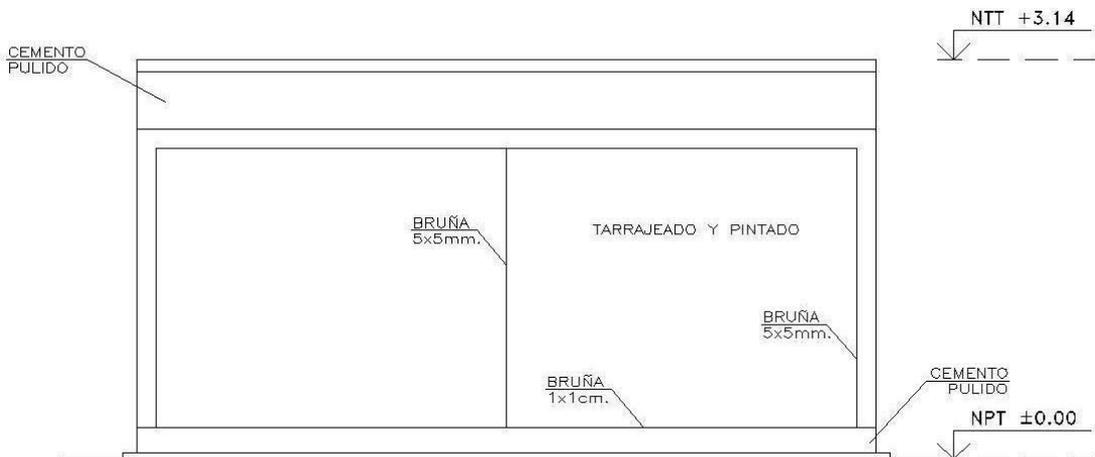


PERÚ

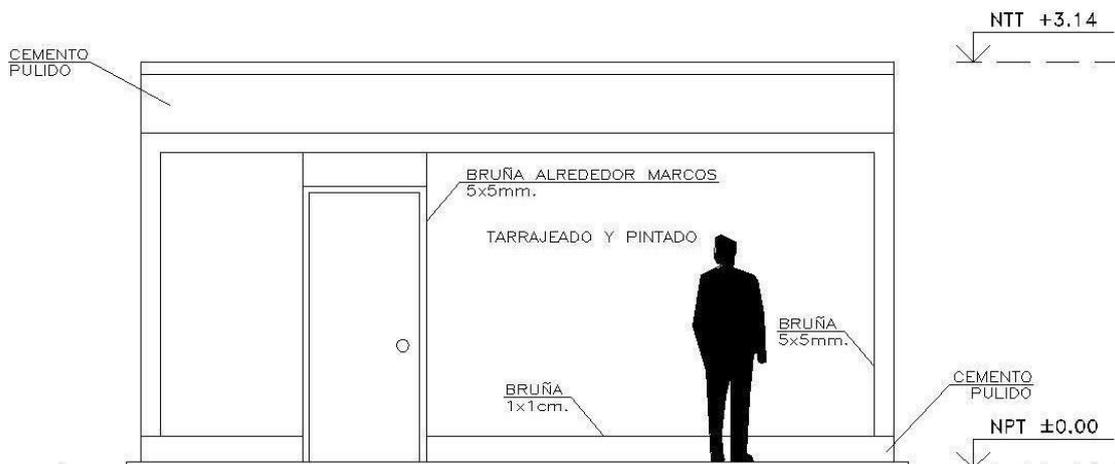
Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento



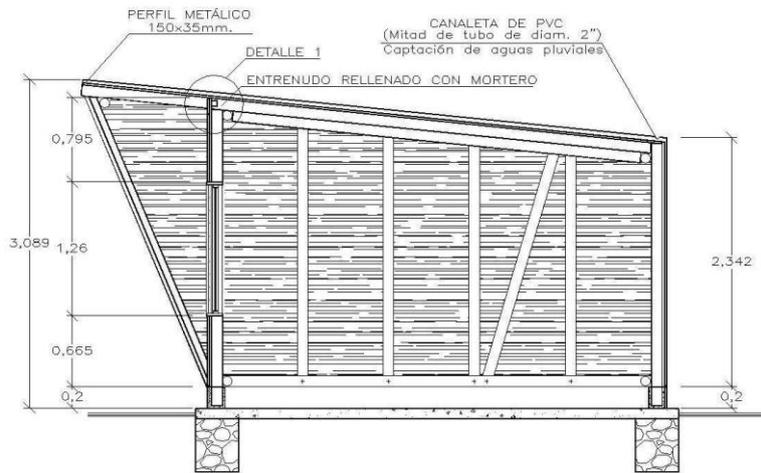
Elevación Lateral Izquierda ("A" y "B")



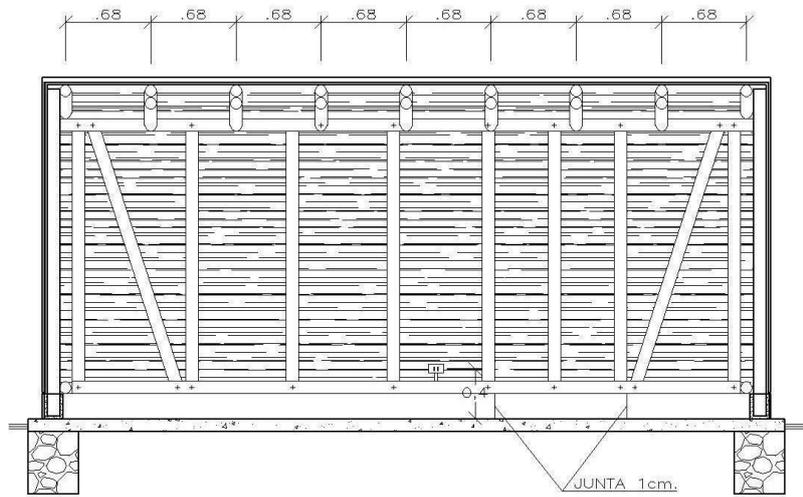
Elevación Posterior "A"



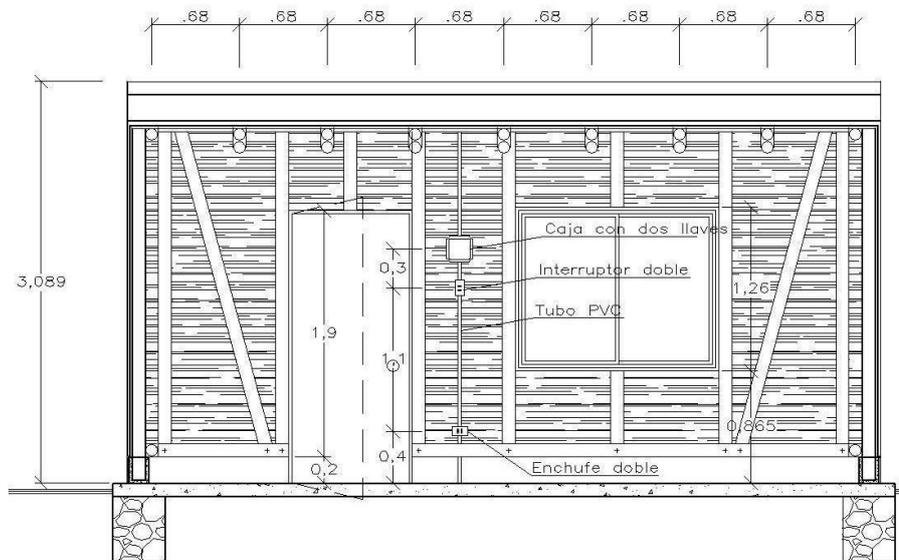
Elevación Posterior "B"



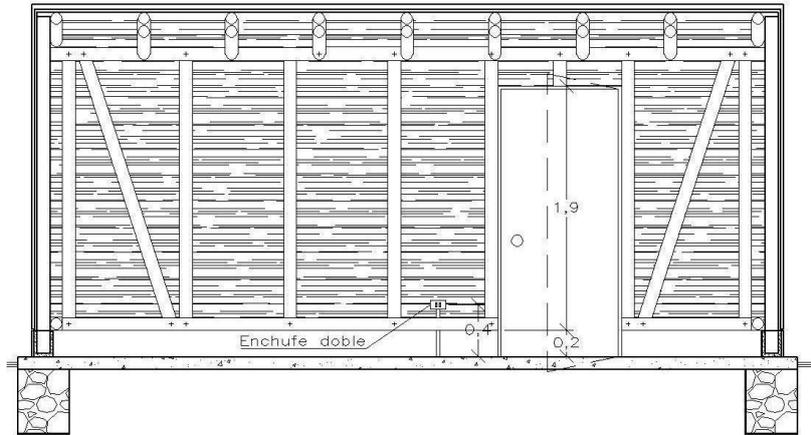
Corte 1-1



Corte 2-2

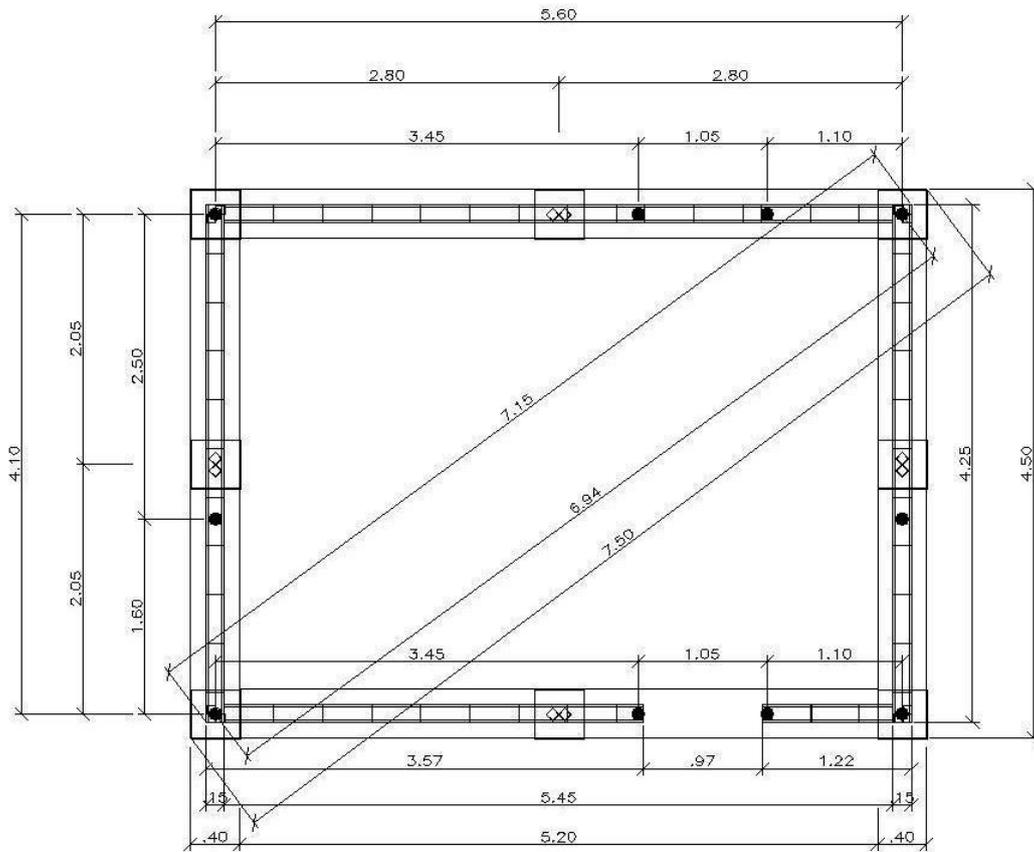


Corte 3-3



Corte 4-4

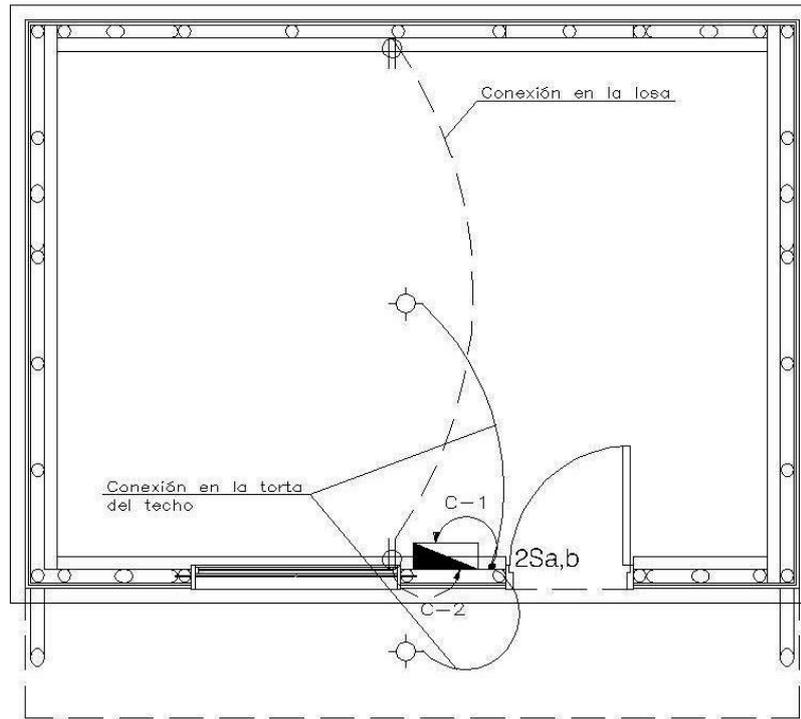
G.2 ESTRUCTURAS



Plano de Cimentación

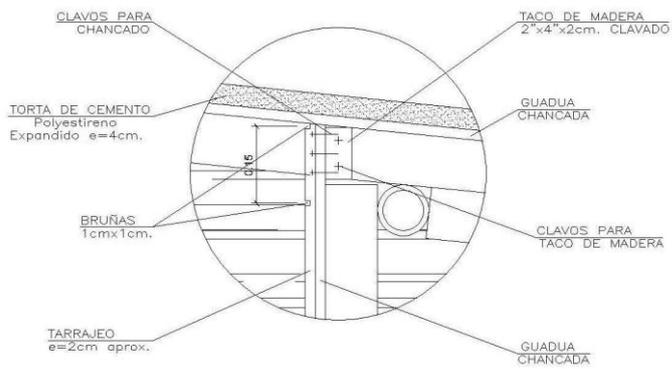


G.3 ELÉCTRICAS

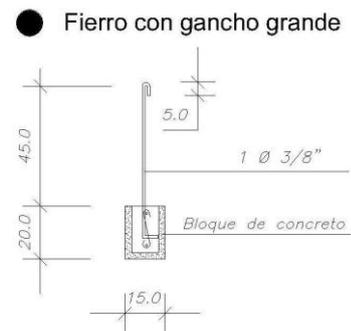


Instalación Eléctrica para Planta "A"

G.4 DETALLES



Detalle 1

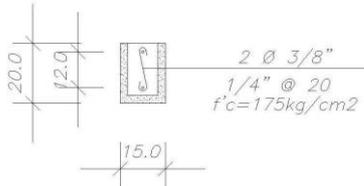


Detalle 2



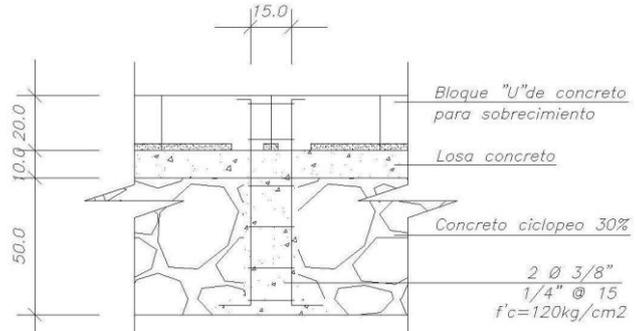
Detalle Típico parva domus U

NOTA: SE NECESITA LA CONTINUIDAD DE LOS FIERROS EN TODOS LOS ÁNGULOS

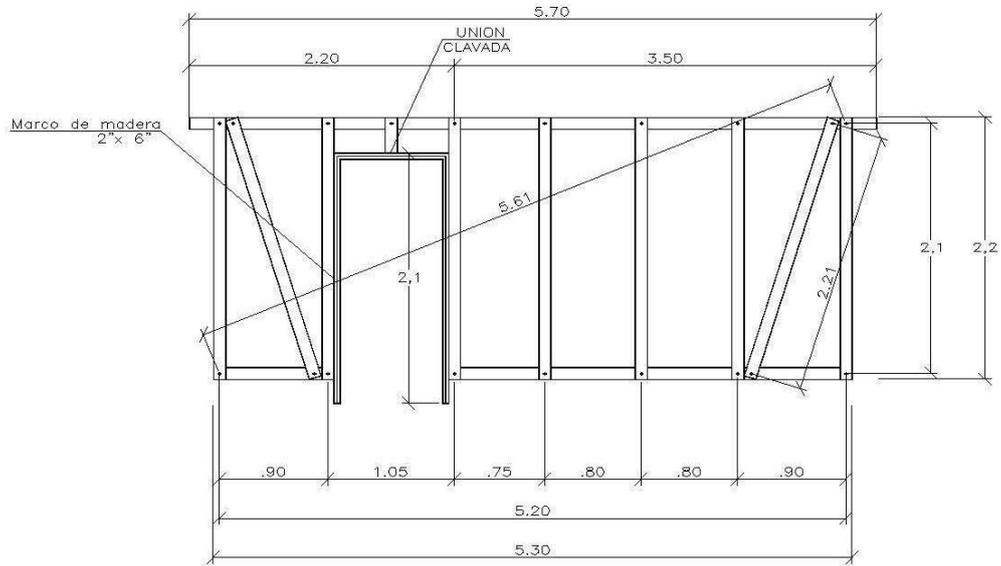


Detalle 3

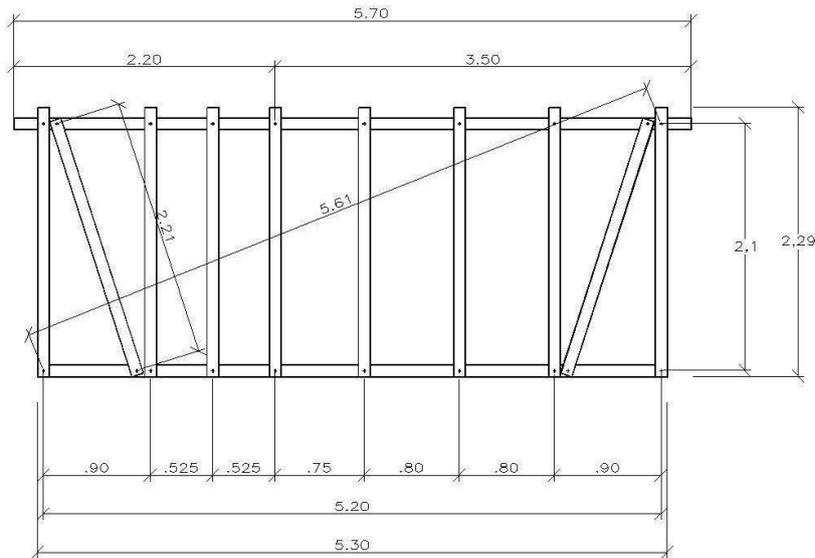
⊠ Anclaje del sobrecimiento - cimentacion



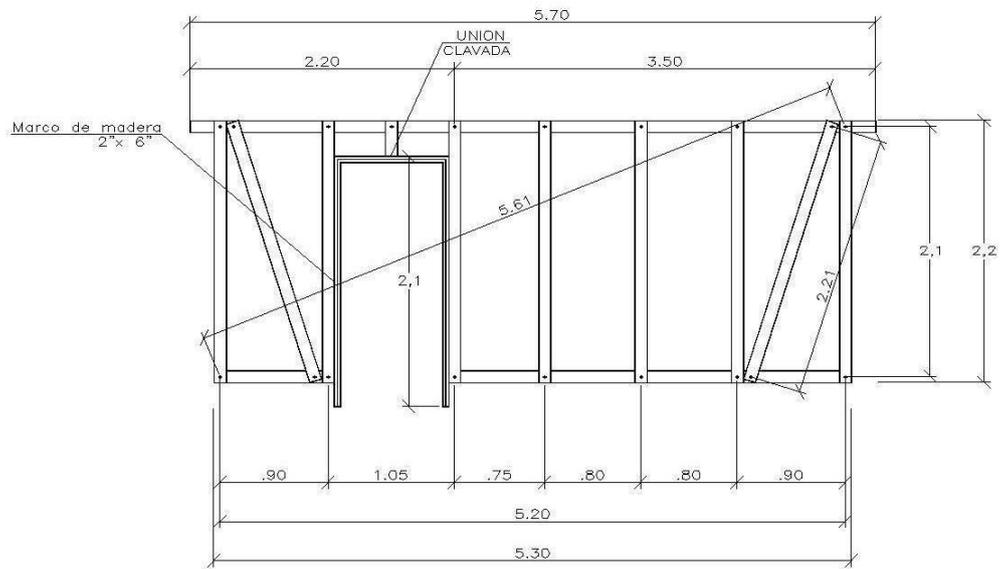
Detalle 4



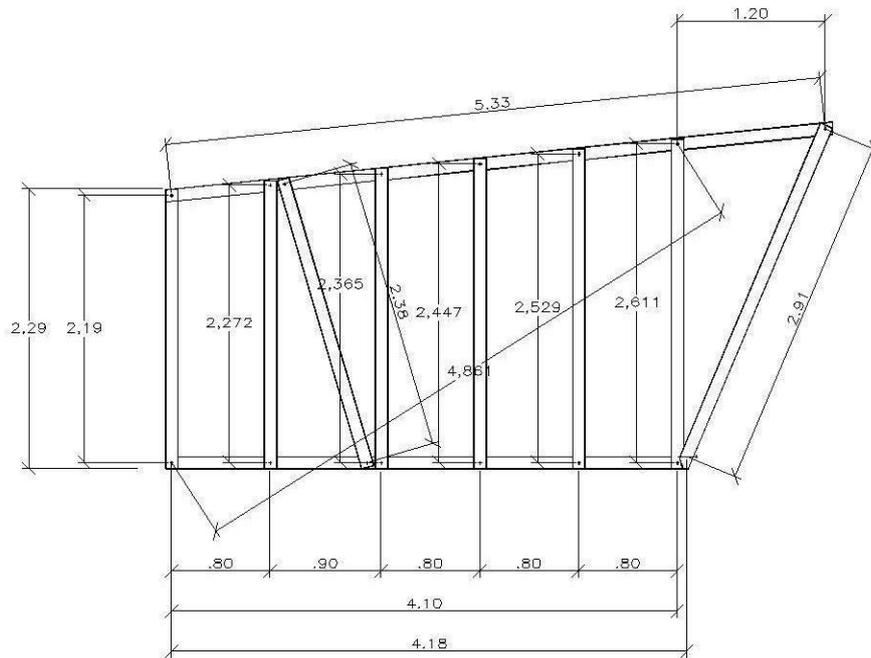
Detalle 5: Panel Longitudinal Frontal



Detalle 6: Panel Longitudinal Posterior "A"



Detalle 7: Panel Longitudinal Posterior "B"



Detalle 8: Panel Lateral

Fuente: Instituto de Vivienda, Urbanismo y Construcción de la Universidad de San Martín de Porres.

**ANEXO H (INFORMATIVO): SÍMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS****H.1. SIMBOLOS**

A	Área
a	distancia, longitud de apoyo, espaciamiento entre elementos de unión
b	espesor, dimensión menor de la escuadría
C_d	coeficiente a dimensional que depende de la posición de la superficie con respecto a la dirección del viento.
C_k	constante que limita la condición de columnas intermedias.
c	distancia del eje neutro a la fibra más alejada.
d	dimensión de la sección transversal que es crítica en un elemento en compresión, diámetro de perno o clavo.
d	como subíndice indica carga muerta
E	módulo de elasticidad o de Young
E_{min}	módulo de elasticidad mínimo
E_{prom}	menor de los módulos de elasticidad promedio para las especies de bambú
f_c	esfuerzo admisible de compresión paralela a las fibras
f_{c⊥}	esfuerzo admisible de compresión perpendicular a las fibras
f_m	esfuerzo admisible de tracción en la dirección paralela a las fibras
f_v	esfuerzo admisible por corte en la dirección paralela a las fibras
f_t	esfuerzo admisible de tracción en la dirección paralela a las fibras
G	módulo de rigidez o de corte
h	peralte de escuadría, altura
I	momento de inercia de la sección
I_x	momento de inercia con respecto al eje X-X
I_y	momento de inercia con respecto al eje Y-Y
i	radio de giro
K	coeficiente de longitud efectiva
K_m	coeficiente de magnificación de momentos
K_d	factor de deflexión
L	luz
l	longitud del elemento
l	como subíndice indica sobrecarga
l_c	distancia entre ejes de correa
l_d	longitud de diagonales o montantes
l_{ef}	longitud efectiva
l_{eq}	longitud equivalente
M	momento de flexión
MPa	mega pascal
N	newton
N_{cr}	fuerza axial que produce pandeo
N_{adm}	fuerza axial admisible
P, Q	fuerza concentrada
P	presión o succión del viento
Pa	pascal
q	presión dinámica
r	radio
S	momento de primer orden de un área plana
s	espaciamiento
t	espesor en planchas
V	fuerza de corte velocidad del viento
w	carga uniformemente repartida
w_d	carga muerta repartida
w_l	carga viva o sobrecarga repartida
Z	módulo de sección
∞	ángulo pendiente

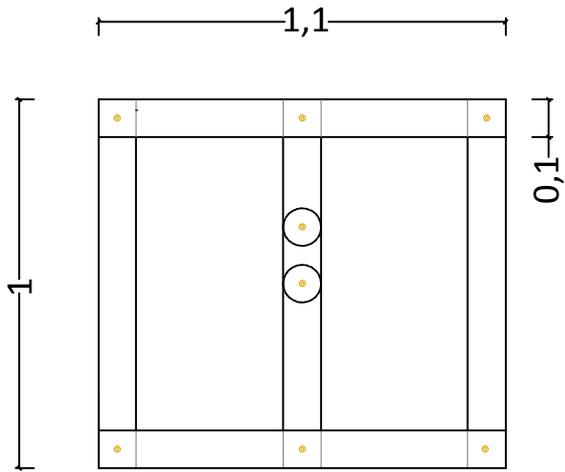


λ	medida de esbeltez
σ_{\parallel}	esfuerzo de compresión aplicado paralelo a las fibras
σ_{\perp}	esfuerzo de compresión aplicado perpendicular a las fibras
σ_m	esfuerzo normal aplicado, de tracción o compresión producido por flexión
σ_t	esfuerzo de tracción aplicado en la dirección paralela a las fibras
τ	esfuerzo de corte

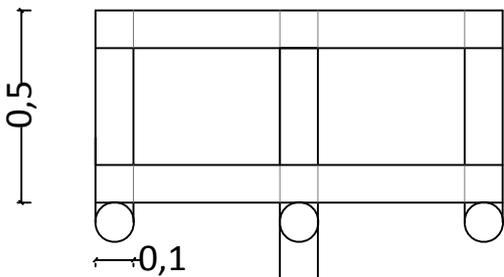
H.2. TÉRMINOS ABREVIADOS

@	a cada
adm	admisible
CH	contenido de humedad
CHE	contenido de humedad de equilibrio
cm	centímetro
DB	densidad básica
ELP	esfuerzo en el límite proporcional

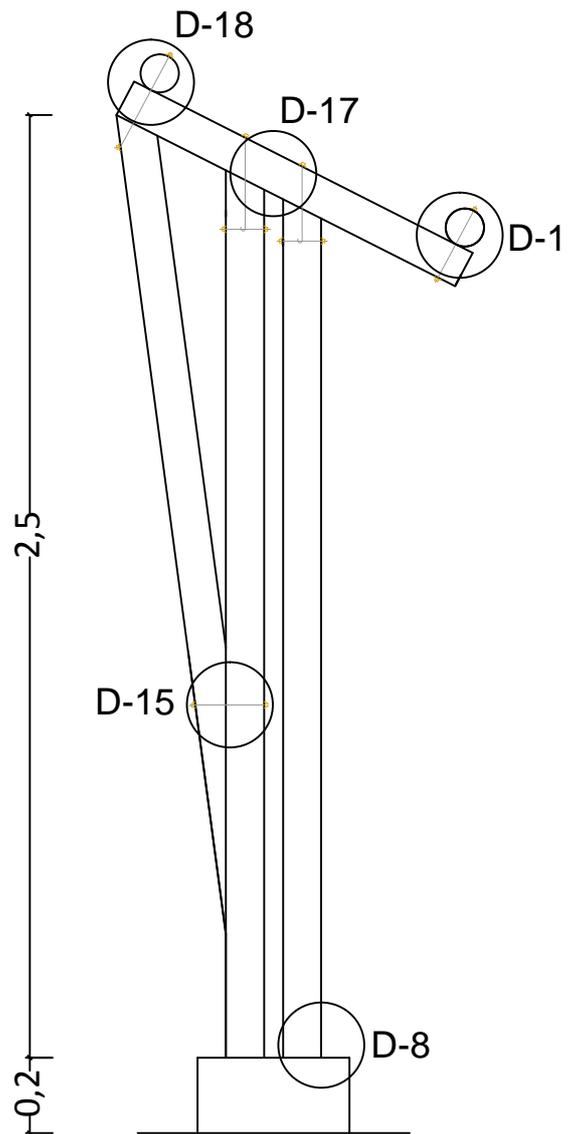
ANEXO 17



VISTA DE PLANTA

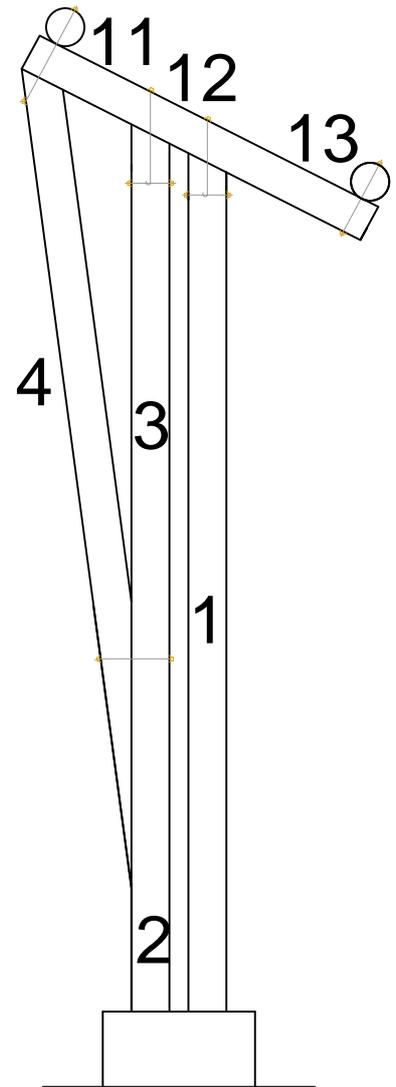
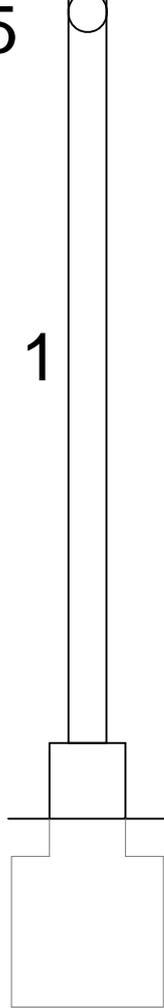
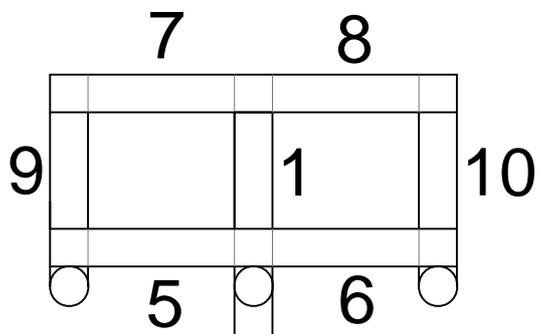
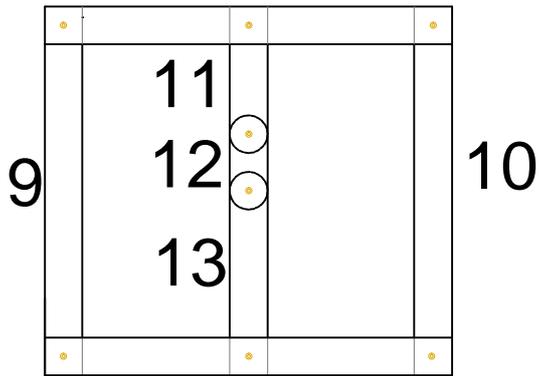


ELEVACIÓN PRINCIPAL



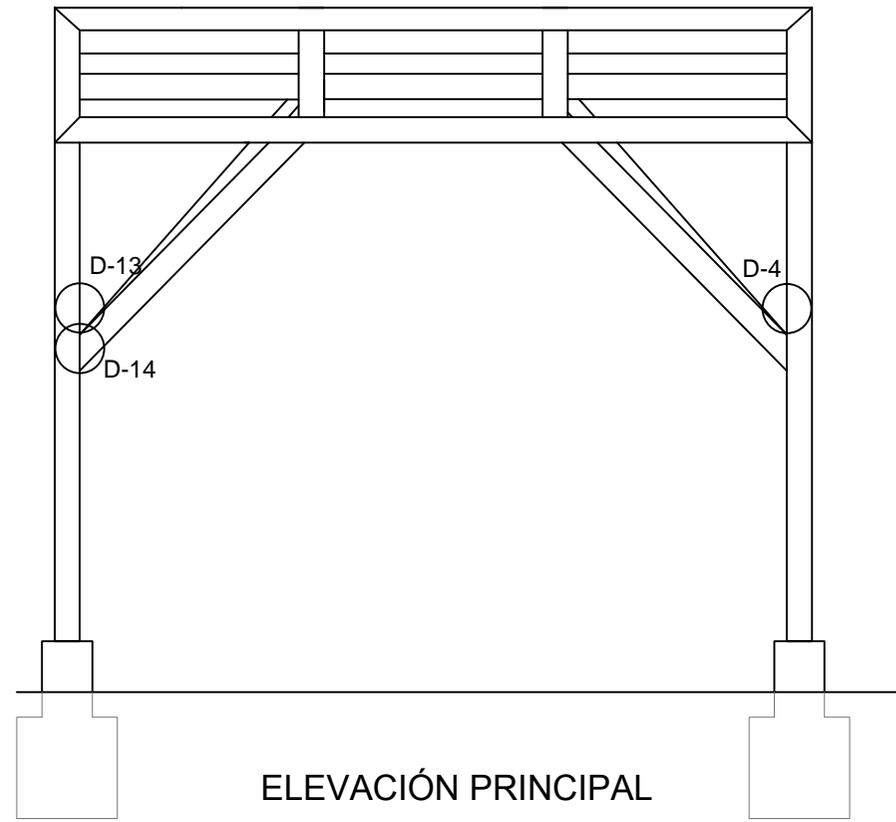
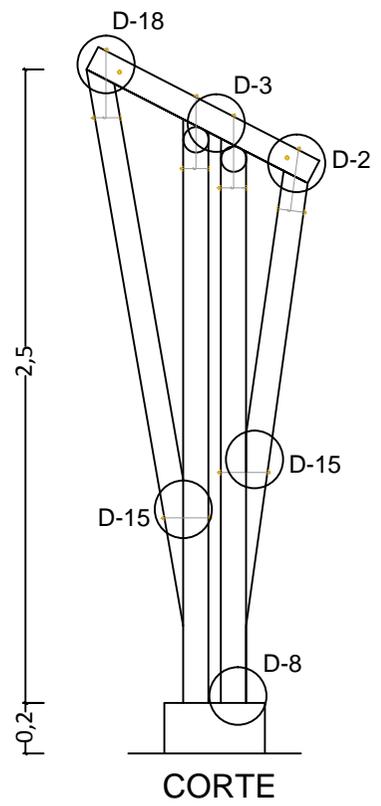
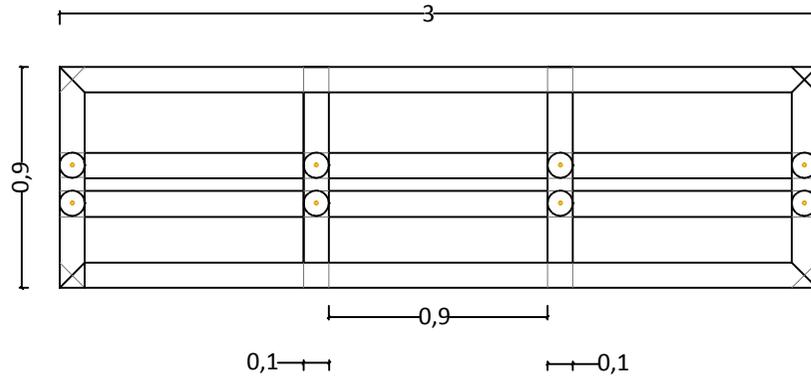
CORTE

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S1		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/20	N°: 01

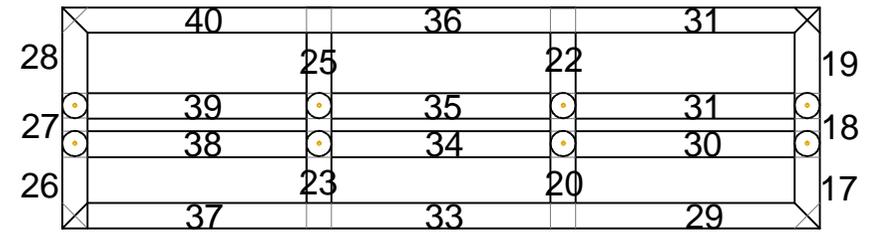
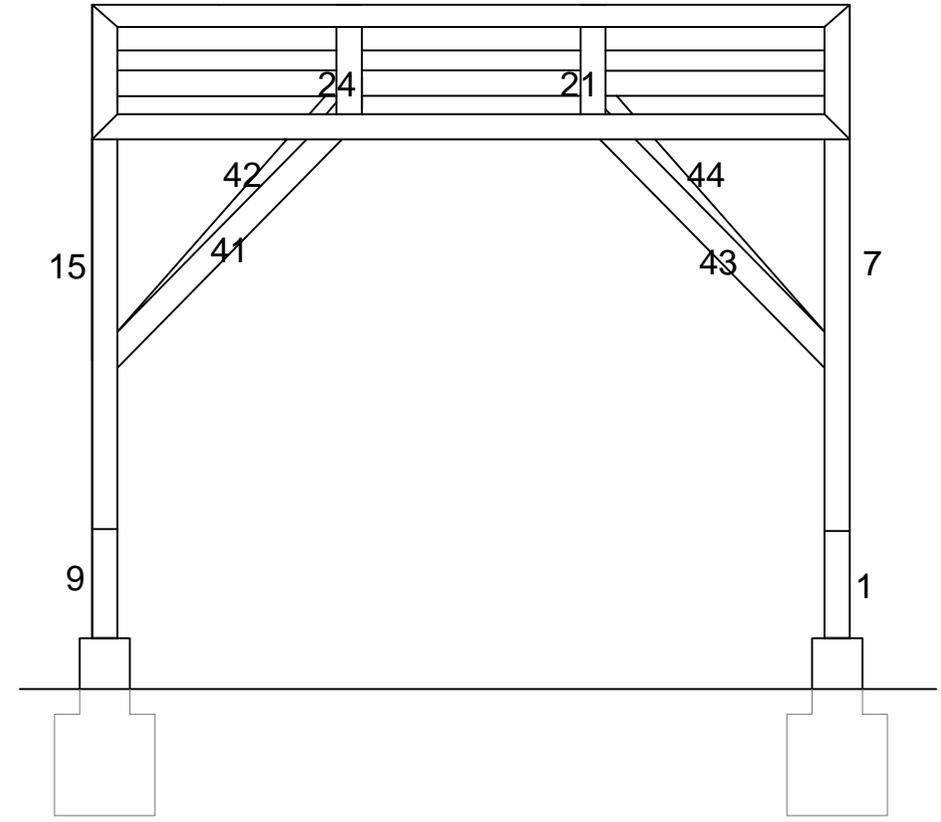
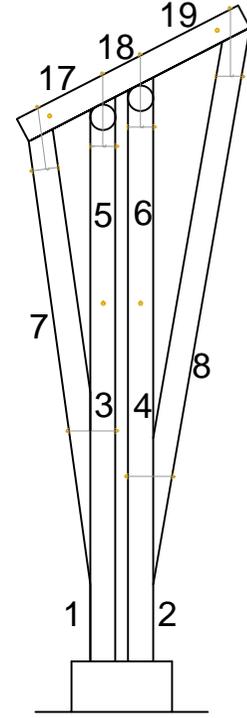
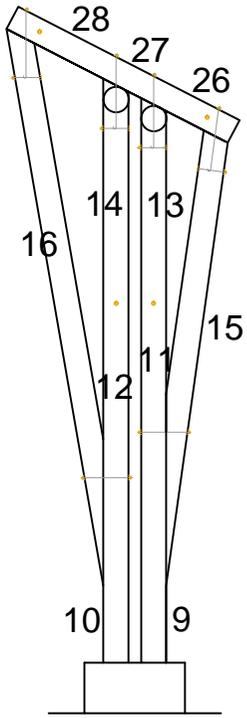


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: BARRAS-ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S1		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/20	N°: 1-A

VISTA DE PLANTA

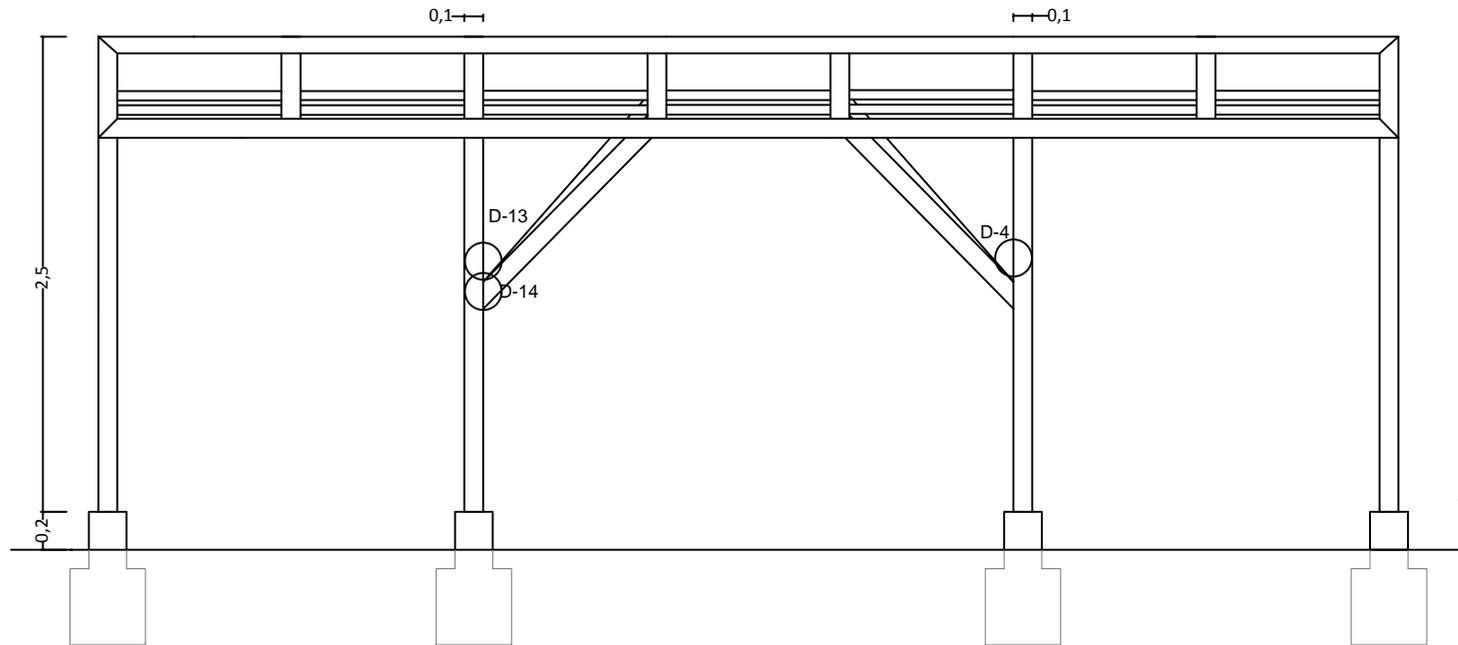
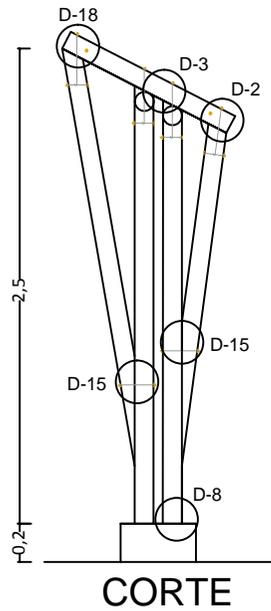
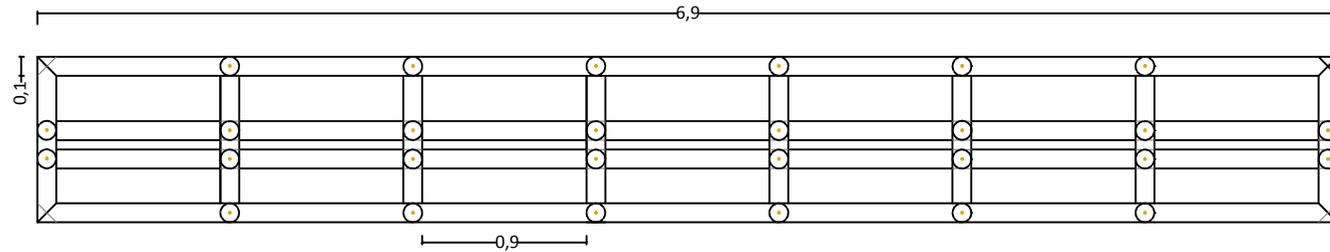


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S1-3		
ELABORADO BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/30	N°: 02



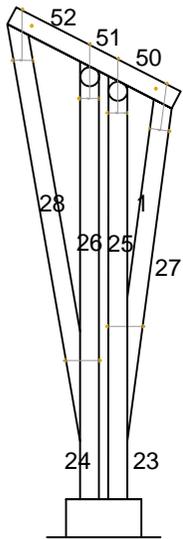
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: BARRAS-ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S1-3		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/30	N°: 2-A

VISTA DE PLANTA

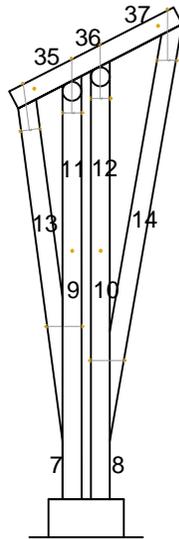


ELEVACIÓN PRINCIPAL

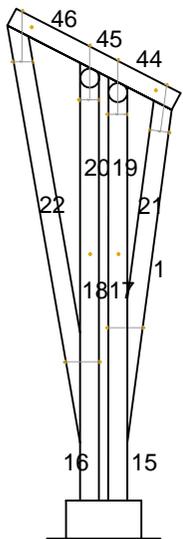
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S1-7		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/40	N°: 03



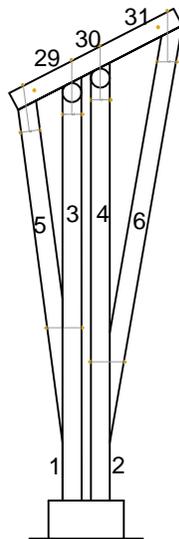
A



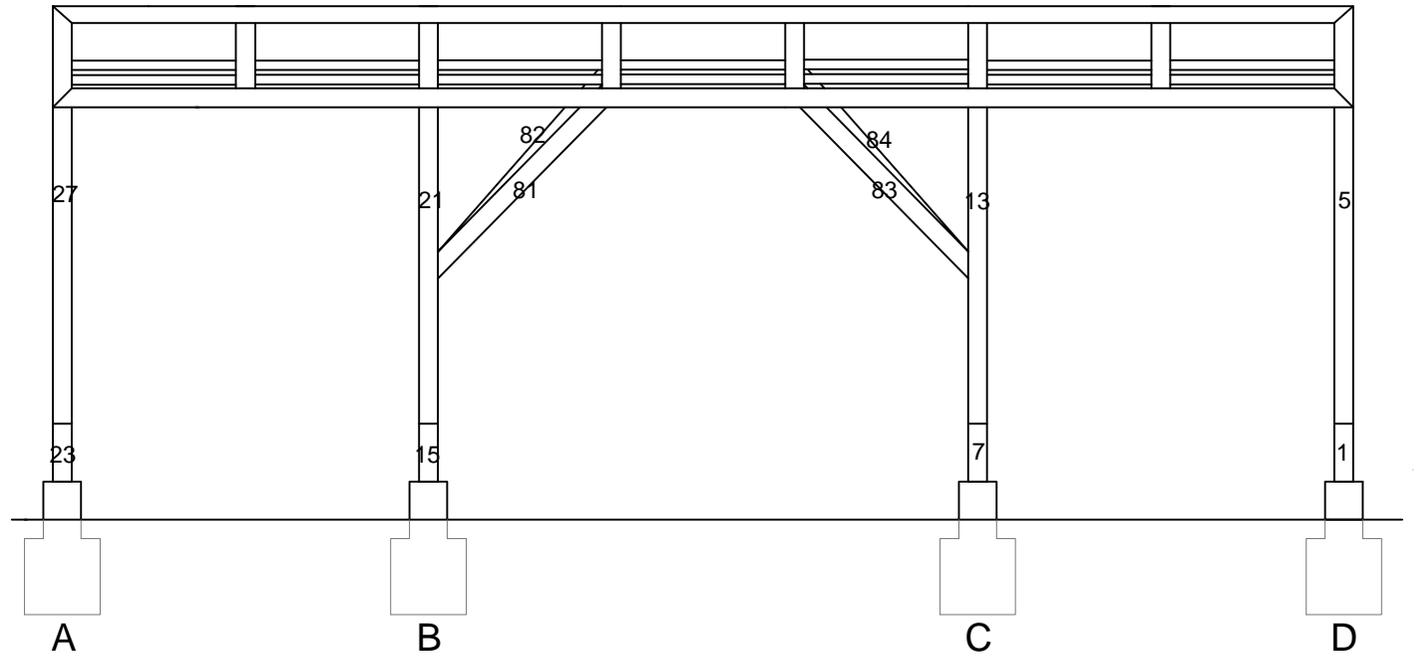
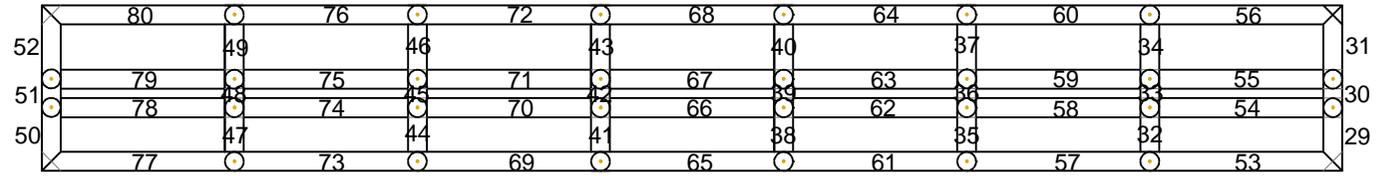
C



B

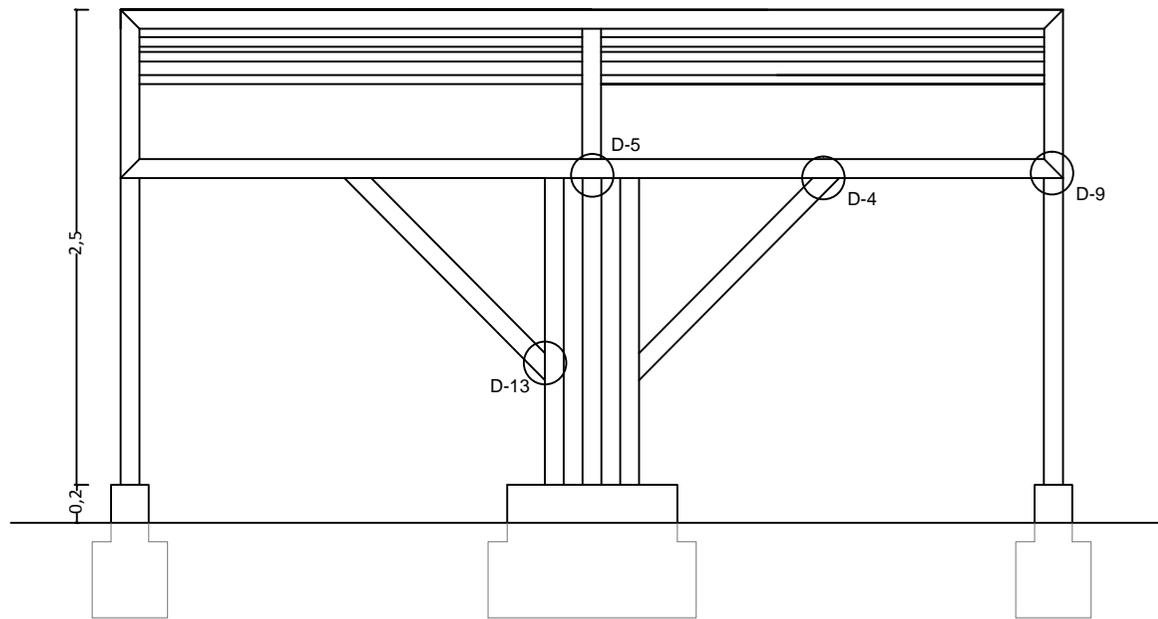
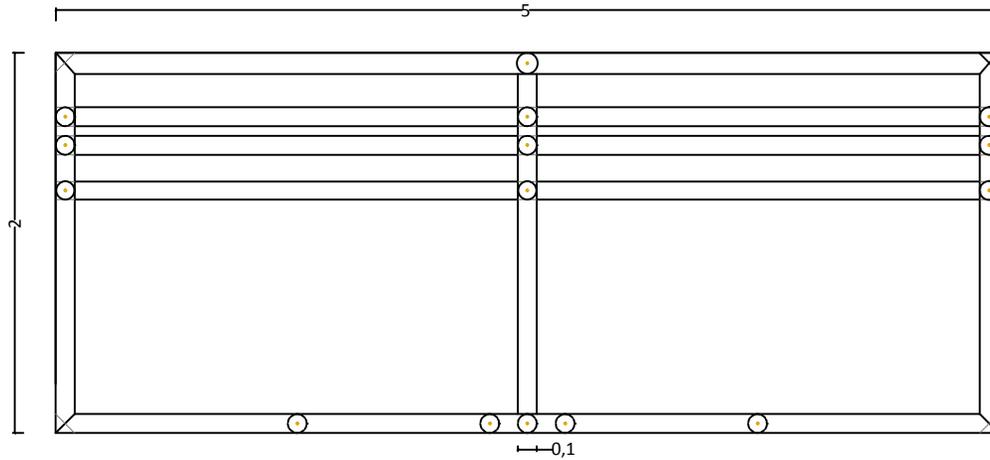


D

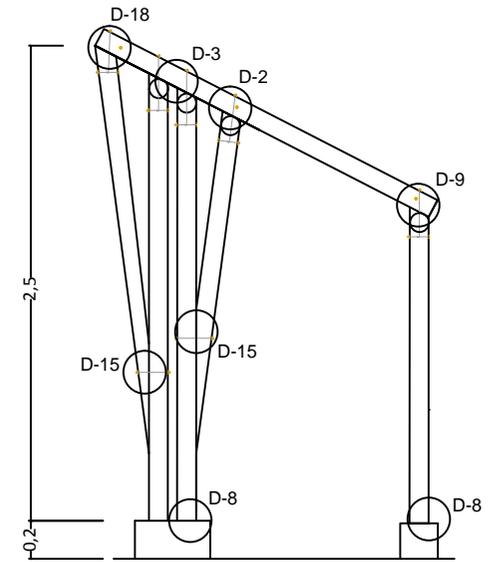


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: BARRAS-ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S1-7		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/40	N°: 3-A

VISTA DE PLANTA

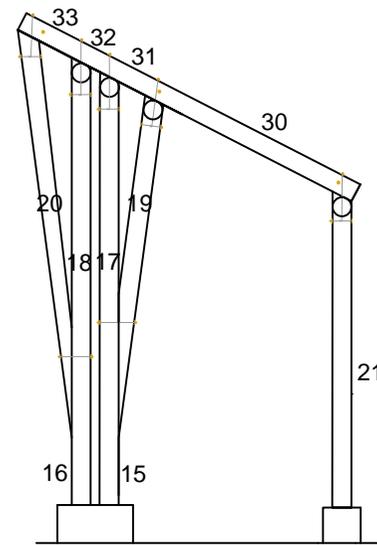
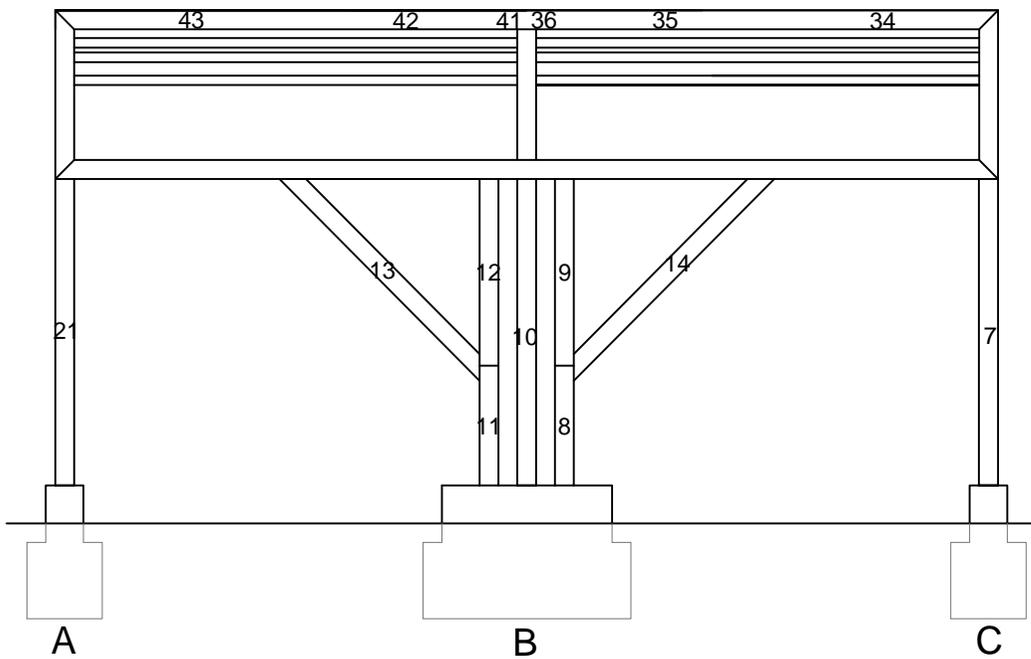
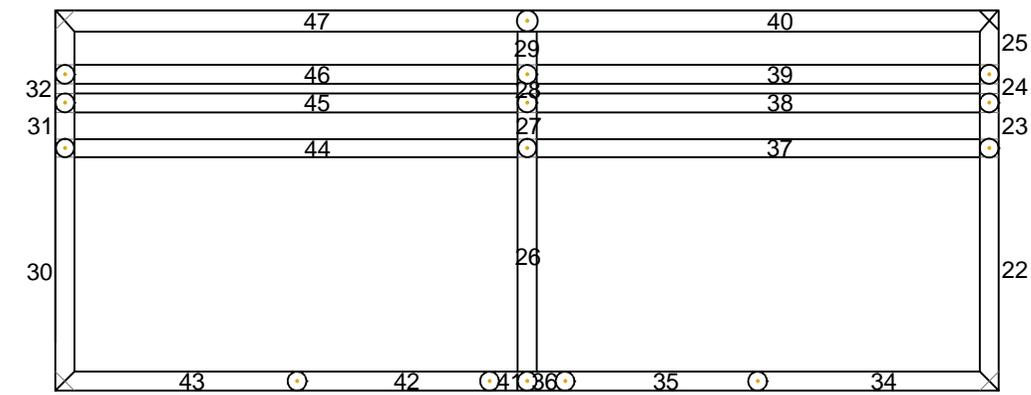


ELEVACIÓN PRINCIPAL

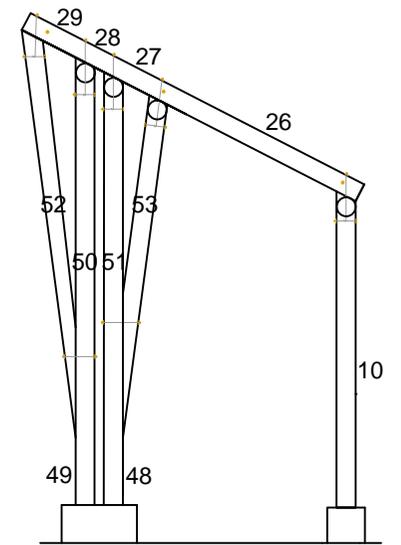


CORTE

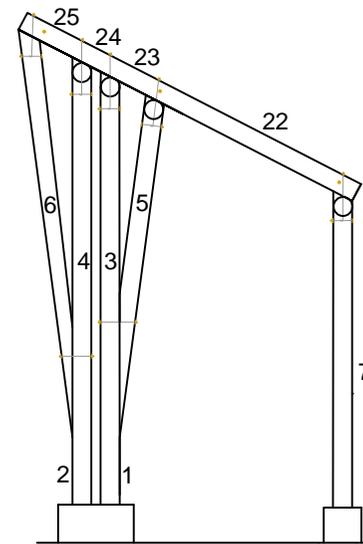
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S2-5		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/40	N°: 04



A

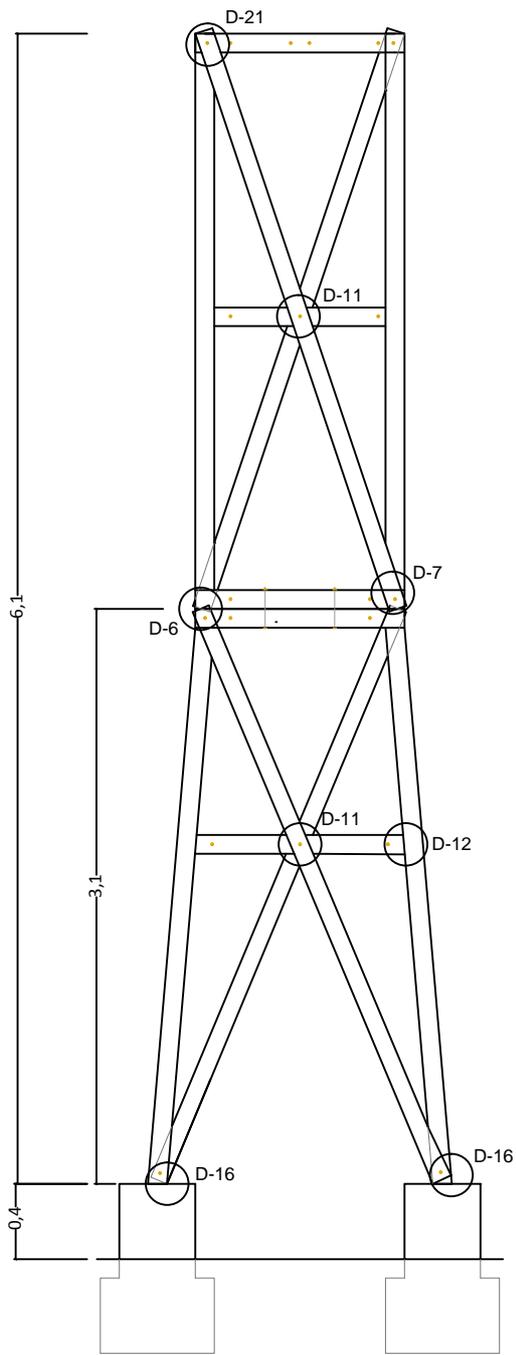


B

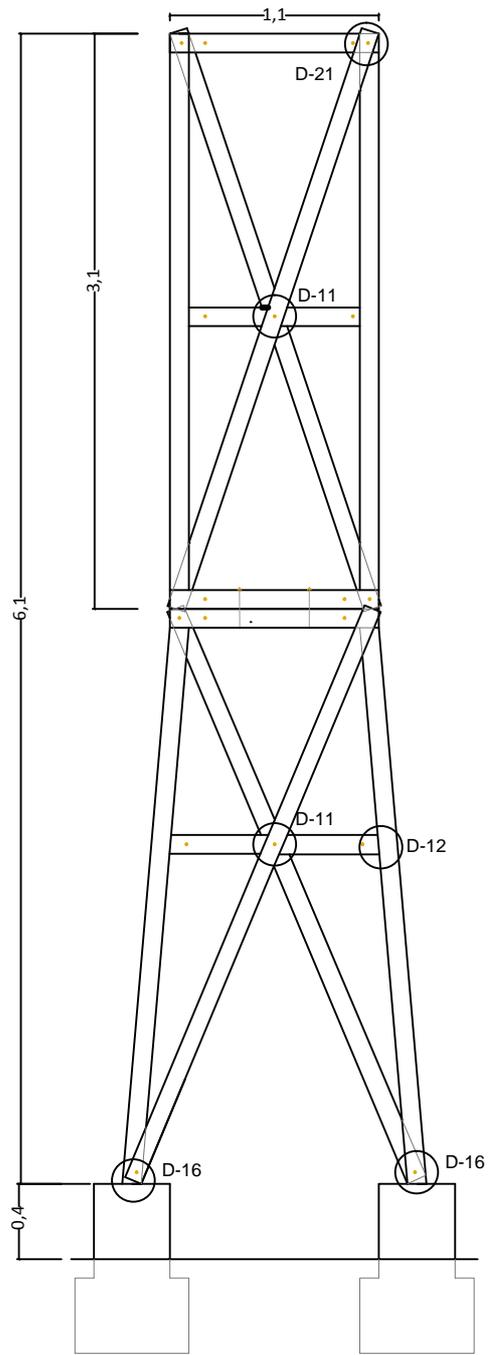


C

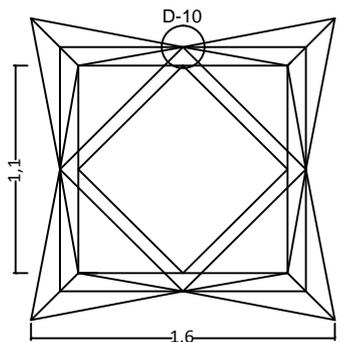
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: BARRA-ESTRUCTURA DE SOPORTE SOLAR S2-5		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/40	N°: 4-A



ELEVACIÓN PRINCIPAL

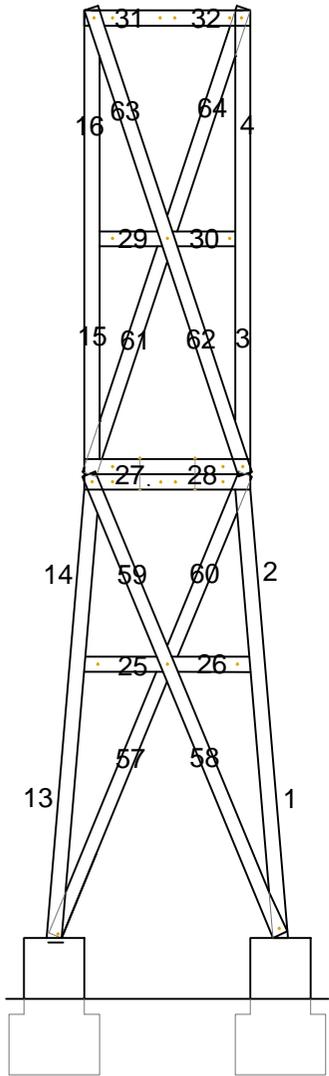


CORTE

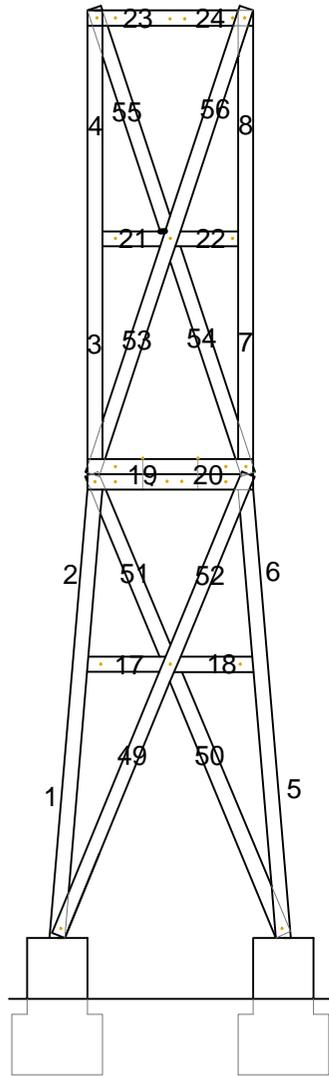


VISTA DE PLANTA

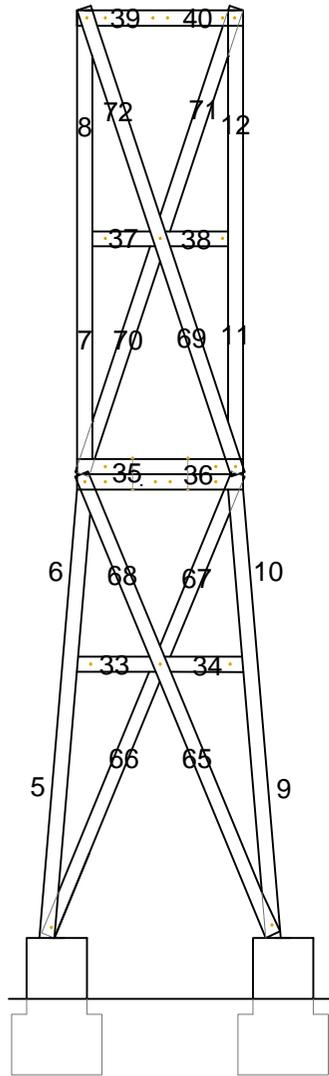
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: ESTRUCTURA DE SOPORTE E1		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/40	N°: 05



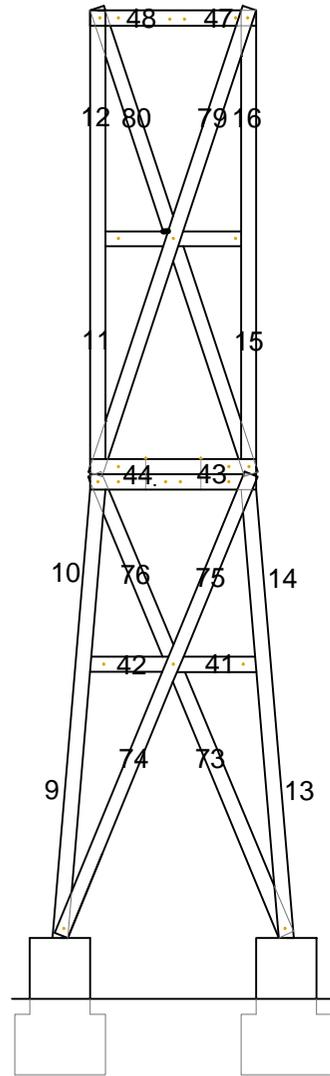
A



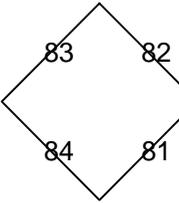
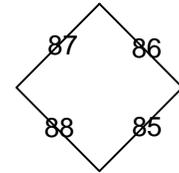
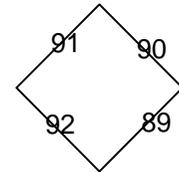
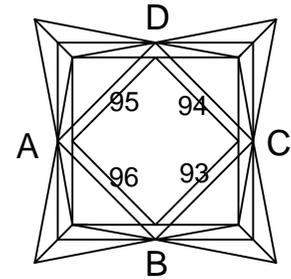
B



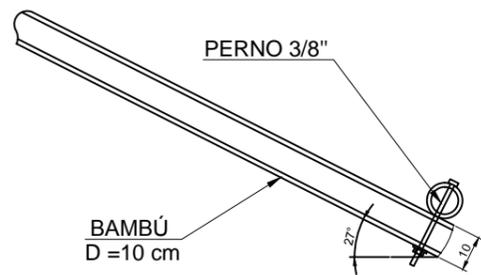
C



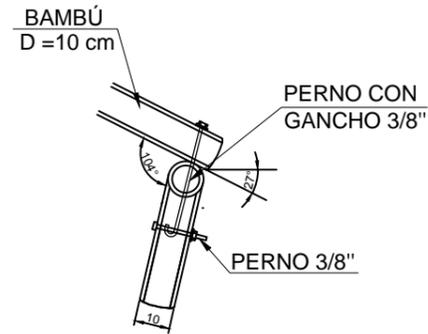
D



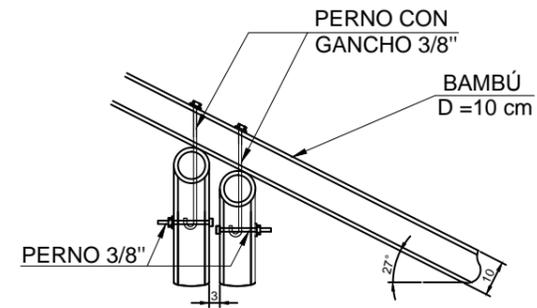
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: BARRA-ESTRUCTURA DE SOPORTE E1		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/50	N°: 5-A



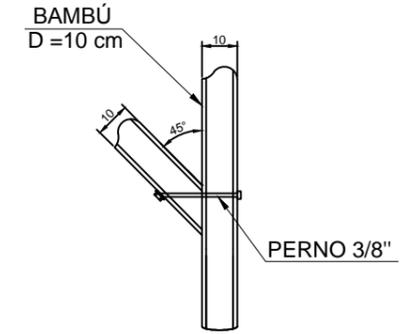
DETALLE 1
S1
ESCALA : 1/2



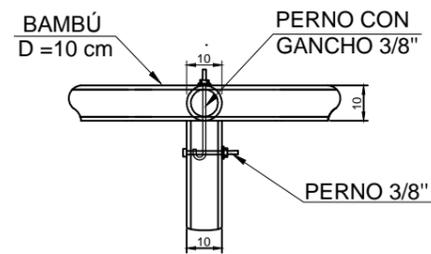
DETALLE 2
S1-3
ESCALA : 1/2



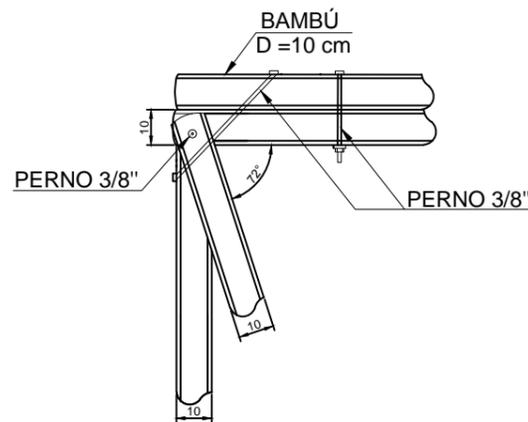
DETALLE 3
S1-3
S1-7
S2-5
ESCALA : 1/2



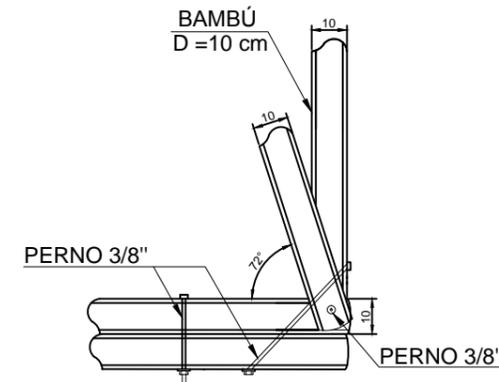
DETALLE 4
S1-3
S1-7
S2-5
ESCALA : 1/2



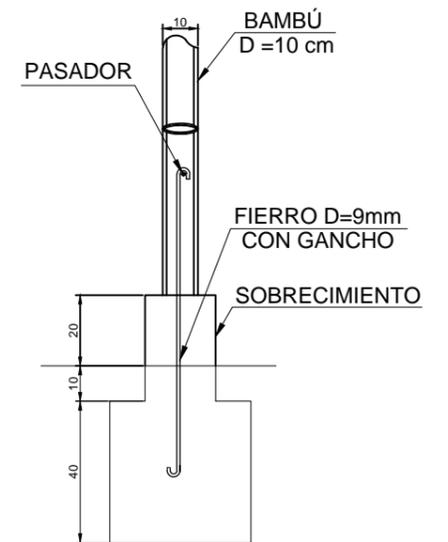
DETALLE 5
S2-5
ESCALA : 1/2



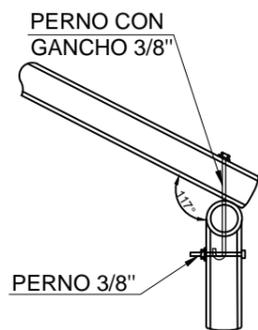
DETALLE 6
E1
ESCALA : 1/2



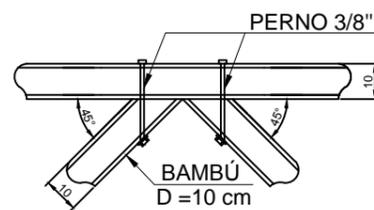
DETALLE 7
E1
ESCALA : 1/2



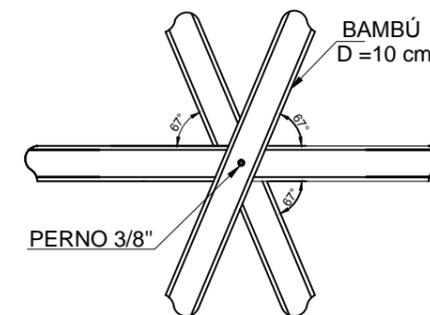
DETALLE 8
S1
S1-3
S1-7
S2-5
E1



DETALLE 9
S2-5
ESCALA : 1/2

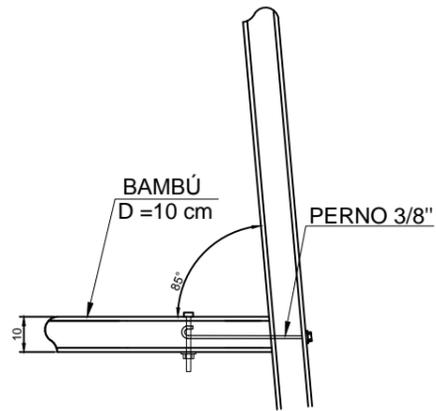


DETALLE 10
E1
ESCALA : 1/2

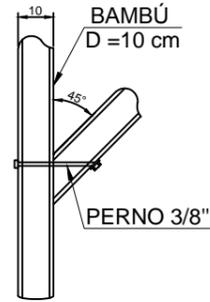


DETALLE 11
E1
ESCALA : 1/2

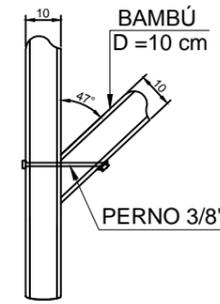
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: DETALLES DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/2	N°: 06



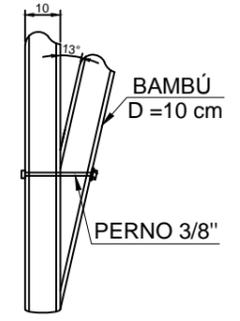
DETALLE 12
E1
ESCALA : 1/2



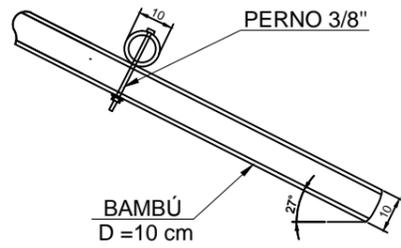
DETALLE 13
S1-3
S1-7
S2-5
ESCALA : 1/2



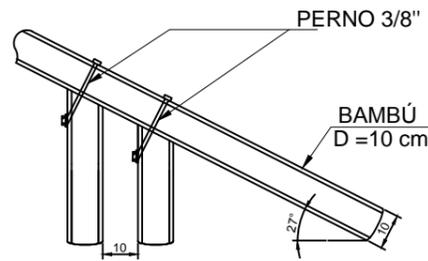
DETALLE 14
S1-3
S1-7
ESCALA : 1/2



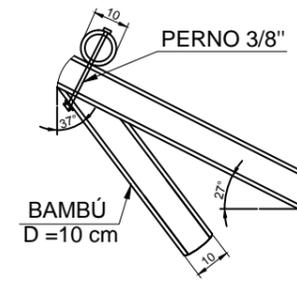
DETALLE 15
S1
S1-3
S1-7
S2-5
ESCALA : 1/2



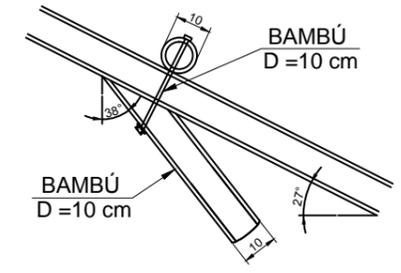
DETALLE 16
S1
ESCALA : 1/2



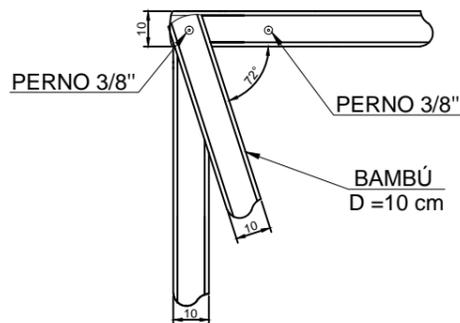
DETALLE 17
S1
ESCALA : 1/2



DETALLE 18
S1
S1-3
S1-7
S2-5
ESCALA : 1/2



DETALLE 19
S1
S1-3
S1-7
S2-5
ESCALA : 1/2



DETALLE 21
E1
ESCALA : 1/2

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		
PLANO: DETALLES DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE		
ELABORADO POR: BACH. DENNIS ALBERT VIDAL LLANOS		
FECHA: 30/10/2017	ESCALA: 1/2	N°: 06