

Universidade de Évora - Escola de Artes

Mestrado Integrado em Arquitetura

Dissertação

Bambú en la construcción Análisis de diferentes casos de estudio con sistemas constructivos en Bambú

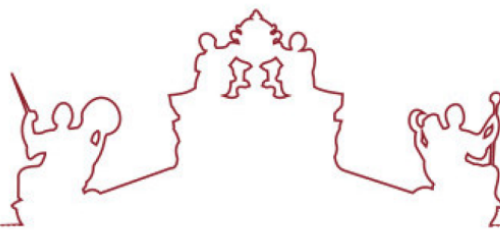
Vanessa Mishell Andrade Molina

Orientador(es) | António Álvaro Borges Abel

M^a Teresa Pinheiro-Alves

Évora 2019





Universidade de Évora - Escola de Artes

Mestrado Integrado em Arquitetura

Dissertação

Bambú en la construcción Análisis de diferentes casos de estudio con sistemas constructivos en Bambú

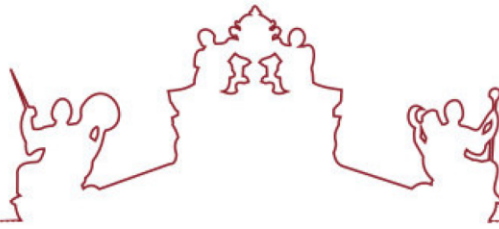
Vanessa Mishell Andrade Molina

Orientador(es) | António Álvaro Borges Abel

M^a Teresa Pinheiro-Alves

Évora 2019





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Artes:

- Presidente | João Barros Matos (Universidade de Évora)
- Vogal | Sofia Aleixo (Universidade de Évora)
- Vogal-orientador | M^a Teresa Pinheiro-Alves (Universidade de Évora)

-

Évora 2019

| A la memoria de António Álvaro Borges Abel |

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mis orientadores, M^a Teresa Pinheiro-Alves y António Borges Abel, por todos los conocimientos compartidos, por la entrega, dedicación, y en especial por su constante motivación que me permitió llegar hasta aquí.

A los estudios *Chiangmai Life Construction Architects* y *Lucila Aguilar Arquitectos* por su tiempo, ayuda y disponibilidad de recursos, que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

A mis padres, por su constante trabajo, sacrificio y amor infinito, pero en especial por ser mi apoyo incondicional a lo largo de los años, más aun cuando me encontraba lejos de casa, gracias por enseñarme a no rendirme y volar alto.

A mi hermano, por ser mi compañero desde que tengo memoria, mi mejor amigo a pesar de la distancia, y uno de mis mejores ejemplos a seguir.

A Daniela, por haber compartido tantas experiencias estos años y ser como mi familia; asimismo a Fernando y Paola por todo el apoyo y motivación; y a todos los amigos, familia, colegas y profesores que de una forma u otra estuvieron presentes en mi recorrido, gracias.

RESUMEN

En la arquitectura el uso de materiales naturales ha sido implementado desde la antigüedad. Uno de los primeros materiales utilizados fue el bambú, el mismo que por sus características físicas y mecánicas ha trascendido hasta la actualidad convirtiéndose en una de las opciones más acertadas para crear arquitectura sustentable y de gran calidad. Los principales continentes que hacen uso de este material son Asia y América, en específico la zona de Latinoamérica, debido a que cuentan con las características propicias para su desarrollo y uso en la construcción. Serán destacados métodos de tratamiento, secado, unión y aplicación en obra más comunes en estos continentes, asimismo serán analizados dos casos de estudio que utilizan el bambú como elemento principal del proyecto. El primer referente es *“Bamboo Sports Hall Panyaden International School”* localizado en Tailandia (Asia), mientras que el referente Latinoamericano es el edificio de dormitorios de *“La Ceiba”* localizado en México.

Palabras Clave: Bambú, Sistemas constructivos, Sustentabilidad, Estructuras, Material

Bamboo in construction

Analysis of different case studies with bamboo construction systems

ABSTRACT

In architecture the use of natural materials has been implemented since ancient times. Bamboo was one of the first materials used in construction, which, due to its physical and mechanical characteristics, has transcended until nowadays, becoming one of wisest option for creating sustainable and high quality architecture. The main continents that make use of this material are Asia and America, specifically Latin America, due to their characteristics that enhance their development and use in construction. The most common treatment, drying, structural joints, and application methods on these continents will be highlighted, as well as two case studies that use bamboo as the main element of the project. The first reference is “Bamboo Sports Hall Panyaden International School” located in Thailand, while the Latin American reference is the “La Ceiba” dormitory building located in Mexico.

Key Words: Bamboo, Construction systems, Sustainability, Structures, Material

Bambú na construção

Análise de diferentes casos de estudo com sistemas de construção em bambu

RESUMO

Na arquitetura, utilizam-se materiais naturais desde a antigüidade. Um dos primeiros materiais a serem utilizados foi o bambú, que, devido às suas características físicas e mecânicas, transcendeu até à atualidade, tornando-se uma das opções mais bem-sucedidas na criação de uma arquitetura sustentável e de elevada qualidade. Os principais continentes que fazem uso deste material são a Ásia e a América, especificamente a zona da América Latina, pois possuem características propícias para o seu desenvolvimento e uso na construção. Nesta dissertação destacam-se os principais métodos de tratamento, secagem, união e aplicação do bambú nesses continentes, além de dois casos de estudo que usam o bambu como principal material de construção. O primer projeto que foi analisado foi o “Bamboo Sports Hall Panyaden International School” localizado na Tailândia, enquanto que o segundo projeto foi o edifício do dormitório “La Ceiba” localizado no México na Latino-américa.

Palavras chave: Bambú, Sistemas construtivos, Sustentabilidade, Estruturas, Material.

ÍNDICE

RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
RESUMO	VII
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XV
GLOSARIO	XVII
1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Pertinencia	20
1.2. Objetivo.....	21
1.3. Objeto de Estudio	22
1.4. Generalidades	22
1.5. Estructura de la Tesis	23
2. EL BAMBÚ COMO MATERIAL.....	25
2.1. Antecedentes Bibliográficos.....	11
2.1.1. Bienal Internacional de Arquitectura en Bambú.....	12
2.1.2. Manuales de Construcción.....	15
2.1.3. Organizaciones dedicadas al bambú	17
2.2. Historia del Bambú en la Construcción	18
2.3. Cualidades Generales del Bambú.....	19
2.3.1. El bambú en construcciones de emergencia	22
2.3.2. Versatilidad del Bambú con otros materiales	27
2.4. Diferentes Especies de Bambú	30

2.5.	Características Físicas del material.....	37
2.6.	Características Mecánicas del Material	43
2.6.1.	Contenido de Humedad	45
2.6.2.	Resistencia a Compresión	49
2.6.3.	Resistencia a Tracción	52
2.6.4.	Módulo de Elasticidad	57
2.6.5.	Módulo de Ruptura	59
2.7.	Resumen del Capítulo	63
3.	EL BAMBÚ EN LA CONSTRUCCIÓN.....	65
3.1.	Proceso de Tratamiento	67
3.1.1.	Selección y Corte de los Culmos	67
3.1.2.	Tratamiento de Preservación	69
3.1.3.	Secado.....	80
3.2.	Diseño de Uniones.....	88
3.3.	Cimentaciones	98
3.4.	Otras formas de utilizar el Bambú.....	101
3.4.1.	Latas	101
3.4.2.	Esterillas	103
3.4.3.	Pasadores de Bambú	104
3.5.	Resumen del Capítulo	107
4.	CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS.....	109
4.1.	Metodología de Análisis.....	116
4.2.	Continente Asiático	120
	“BAMBOO SPORTS HALL PANYADEN INTERNATIONAL SCHOOL”	130
4.3.	Continente Americano.....	140

DORMITORIOS “LA CEIBA”	147
4.4. Análisis Comparativo de los sistemas de construcción	154
4.5. Resumen del Capítulo	176
5. CONSIDERACIONES FINALES	179
6. BIBLIOGRAFÍA	188

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. - DIFERENTES PRESENTACIONES DE BAMBÚ	20
FIGURA 2 EXPOSICIÓN SIMÓN VÉLEZ BIENAL DE VENECIA 2016.....	26
FIGURA 3 SIMÓN VÉLEZ JUNTO AL MODELO DE SU OBRA CATEDRAL SIN RELIGIÓN EN COLOMBIA	26
FIGURA 4 PUENTE DE BAMBÚ REALIZADO POR GE QIANTAO.....	13
FIGURA 5 ALBERGUE REALIZADO POR ANNA HERINGER EN LA BIENAL DE ARQUITECTURA EN BAMBÚ	13
FIGURA 6 TALLER DE CERÁMICA REALIZADO POR KEISUKE MAEDA	14
FIGURA 7 PORTADAS DE DIFERENTES MANUALES DE CONSTRUCCIÓN CON BAMBÚ	15
FIGURA 8 CURSO IMPARTIDO POR BAMBOO U EN GREEN SCHOOL BALI.....	17
FIGURA 9 PARTES DE LA PLANTA DE BAMBÚ	20
FIGURA 10 DISTRIBUCIÓN DEL BAMBÚ A NIVEL MUNDIAL	21
FIGURA 11 CASA Bb BLOOMING BAMBOO	23
FIGURA 12 CASA Bb BLOOMING BAMBOO	23
FIGURA 13 ESTRUCTURA CUBIERTA REALIZADA EN BAMBÚ EN NEPAL	25
FIGURA 14 CUBIERTA VIVIENDAS DE EMERGENCIA EN NEPAL.....	25
FIGURA 15 VISTA EXTERIOR DORMITORIOS CDC.....	26
FIGURA 16 BAMBÚ COMO ESTRUCTURA COMBINADO CON TIERRA Y PAJA	28
FIGURA 17 USO DE CEMENTO EN LAS UNIONES DEL BAMBÚ	29
FIGURA 18 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL BAHAREQUE	30
FIGURA 19 CULTIVO DE ESPECIES DE BAMBÚ LEÑOSO.....	32
FIGURA 20 MUESTRA DE ESPECIE DE BAMBÚ HERBÁCEO	32
FIGURA 21 EJEMPLOS DE DIFERENTES TIPOS DE BAMBÚ.....	32

FIGURA 22 GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH.....	35
FIGURA 23 DENDROCALAMUS STRICTUS.....	35
FIGURA 24 DENDROCALAMUS ASPER NIGRA EN THE MINANG HOUSE	36
FIGURA 25 GIGANTOCHLOA ATROVIOLACEA EN MOON HOUSE.....	36
FIGURA 26 NODOS INTERIORES DEL BAMBÚ SECCIONADO.....	39
FIGURA 27 BAMBÚ SECCIONADO CON SU INTERIOR HUECO	39
FIGURA 28 BAMBÚ EN SUS PRIMEROS AÑOS CON TONALIDADES DE VERDE INTENSO.....	42
FIGURA 29 DIFERENTES TONALIDADES Y RASGOS ESTÉTICOS DEL BAMBÚ MADURO	42
FIGURA 30 CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	46
FIGURA 31 EJEMPLO DE FALLAS PRESENTADAS EN EL BAMBÚ POR ESFUERZOS A COMPRESIÓN.....	52
FIGURA 32 EJEMPLO DE FALLAS PRESENTADAS EN EL BAMBÚ POR ESFUERZOS A TRACCIÓN	55
FIGURA 33 FUERZAS APLICADAS A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.....	56
FIGURA 34 FALLAS PRESENTADAS POR ESFUERZOS A FLEXIÓN EN EL CULMO DE BAMBÚ.....	60
FIGURA 35 TALLO DE BAMBÚ TIERNO	68
FIGURA 36 TALLO DE BAMBÚ MADURO.....	68
FIGURA 37 TALLO DE BAMBÚ SOBRE MADURO.....	68
FIGURA 38 DIFERENTES USOS DEL BAMBÚ SEGÚN SU EDAD	68
FIGURA 39 PRESERVACIÓN DE BAMBÚ.....	70
FIGURA 40 MÉTODO DE INMERSIÓN EN AGUA	71
FIGURA 41 CURADO DE BAMBÚ EN LA MATA.....	72
FIGURA 42 CURADO DE BAMBÚ AL CALOR	73
FIGURA 43 CURADO DE BAMBÚ AL HUMO	73
FIGURA 44 MÉTODO DE INMERSIÓN CON SALES DE BORO.....	75
FIGURA 45 MÉTODO DE BOUCHERIE POR GRAVEDAD.....	76
FIGURA 46 MÉTODO DE BOUCHERIE POR PRESIÓN	77
FIGURA 47 INYECCIÓN DE SALES DE BORO	78
FIGURA 48 APLICACIÓN DE CAL AÉREA AL BAMBÚ CON BROCHA.....	79
FIGURA 49 SECADO AL AIRE LIBRE CON CABALLETE	82
FIGURA 50 SECADO AL AIRE LIBRE BAJO CUBIERTA	82
FIGURA 51 SECADO CON HORNO.....	84

FIGURA 52 SECADO POR INYECCIÓN DE AIRE CALIENTE.....	85
FIGURA 53 MÉTODO DE SECADO EN CÁMARA SOLAR.....	87
FIGURA 54 EJEMPLO DE UNIONES CON BAMBÚ.....	89
FIGURA 55 CORTES DE BAMBÚ CON RESPECTO AL NUDO.....	90
FIGURA 56 UNIÓN TRANSVERSAL DE PIEZAS CON EL USO DE CUERDA.....	90
FIGURA 57 UNIÓN EN ASPA CON CUERDA DE ELEMENTOS DIAGONALES DE BAMBÚ.....	90
FIGURA 58 DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA USAR CUERDA COMO ELEMENTO DE UNIÓN DE LAS PIEZAS DE BAMBÚ.....	91
FIGURA 59 APLICACIÓN DE AMARRES EN UN PABELLÓN DE BAMBÚ.....	91
FIGURA 60 UNIÓN CON LA COMBINACIÓN DE CUERDAS NATURALES Y ESPÁRRAGOS METÁLICOS.....	92
FIGURA 61 EJEMPLO DE HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EFECTUAR LAS UNIONES DE BAMBÚ.....	93
FIGURA 62 EMPALMES PARA UNIONES EN BAMBÚ.....	94
FIGURA 63 CORTE DEL TALLO DE BAMBÚ CON SIERRA METÁLICA.....	94
FIGURA 64 TALLER DE CARPINTERÍA IMPARTIDO POR BAMBOO U CON ARTESANOS INDONESIOS.....	95
FIGURA 65 CORTE BOCA DE PESCADO.....	95
FIGURA 66 UNIÓN CON PASADORES DE BAMBÚ Y ESPÁRRAGOS METÁLICOS.....	96
FIGURA 67 EJEMPLO DE UNIONES CON EL USO DE LA BOCA DE PESCADO.....	96
FIGURA 68 DETALLE UNIONES DE BAMBÚ UTILIZANDO ESPÁRRAGOS METÁLICOS.....	97
FIGURA 69 APLICACIÓN DE LAS DIFERENTES UNIONES EN ESTRUCTURAS DE BAMBÚ.....	97
FIGURA 70 EJEMPLOS DE ENSAMBLES CON CULMOS DE BAMBÚ.....	98
FIGURA 71 CIMIENTOS CON EL USO DE ZAPATAS PARA ELEVAR EL BAMBÚ.....	99
FIGURA 72 USO DE ELEMENTOS METÁLICOS PARA PROTEGER EL BAMBÚ DEL CONTACTO CON EL SUELO.....	99
FIGURA 73 DETALLE CONSTRUCTIVO DE CIMENTACIÓN CON BAMBÚ.....	100
FIGURA 74 IZQ: ZAB E LEE COOKING SCHOOL DER: CENTRO DE DESARROLLO INFANTIL EL GUADUAL.....	100
FIGURA 75 MÉTODOS PARA ELABORAR LATAS DE BAMBÚ.....	101
FIGURA 76 CENTRO COMUNITARIO CON PAREDES DE BAMBÚ.....	102
FIGURA 77 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA ESTERILLA DE BAMBÚ.....	103
FIGURA 78 PUERTA DE BAMBÚ EN EL CENTRO TINKU DE QUITO, ECUADOR.....	104
FIGURA 79 OBTENCIÓN DE PASADORES DE BAMBÚ UTILIZANDO UNA PLANTILLA METÁLICA.....	106
FIGURA 80 OBTENCIÓN DE PASADORES DE BAMBÚ UTILIZANDO UN CUCHILLO.....	106

FIGURA 81 USO DE LOS PASADORES DE BAMBÚ EN LA ESTRUCTURA	106
FIGURA 82 INTERIOR DEL PABELLÓN TEMPORAL.....	111
FIGURA 83 INTERIOR DEL MPAVILION 2016.....	112
FIGURA 84 REPLICA DEL PABELLÓN ZERI EN MANIZALES	113
FIGURA 85 VISTA DEL VERGIATE PAVILION.....	114
FIGURA 86 VISTA EXTERIOR DE LOW ENERGY BAMBOO HOUSE	115
FIGURA 87 EXTENSIÓN DEL CONTINENTE ASIÁTICO	120
FIGURA 88 REPRESENTACIÓN DE LAS CHOZAS MBARU NIANG EN INDONESIA.....	121
FIGURA 89 ESQUEMA VIVIENDA EN TIMOR	122
FIGURA 90 MATERIALES UTILIZADOS EN LAS VIVIENDAS TIMORENSES.....	123
FIGURA 91 <i>SUNRISE HOUSE AT GREEN VILLAGE</i>	125
FIGURA 92 ESTALACTITA DE BAMBÚ	126
FIGURA 93 <i>GREAT (BAMBOO) WALL HOUSE</i>	127
FIGURA 94 <i>BAMBOO SYMPHONY</i>	128
FIGURA 95 TEMPERATURA ANUAL EN HANG DONG, TAILANDIA.....	132
FIGURA 96 HUMEDAD ANUAL EN HANG DONG, TAILANDIA	132
FIGURA 97 PRECIPITACIÓN ANUAL EN HANG DONG, TAILANDIA.....	132
FIGURA 98 MAPA DE TAILANDIA CON LA UBICACIÓN DEL PROYECTO	133
FIGURA 99 VISTA EXTERIOR DEL PABELLÓN	134
FIGURA 100 BALCONES LATERALES <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	135
FIGURA 101 DETALLE ELEMENTOS DE BAMBÚ QUE CONFORMAN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	137
FIGURA 102 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE BAMBÚ EN EL PROYECTO <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	139
FIGURA 103 ESTRUCTURA PREFABRICADA EN BAMBÚ DEL PROYECTO <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	139
FIGURA 104 EXTENSIÓN DE LATINOAMÉRICA	140
FIGURA 105 EJEMPLO DE VIVIENDAS ABORÍGENES EN AMÉRICA.....	141
FIGURA 106 MUSEO NÓMADA DEL ZÓCALO.....	144
FIGURA 107 TEMPERATURA ANUAL EN PALENQUE, MÉXICO.....	149
FIGURA 108 HUMEDAD ANUAL EN PALENQUE, MÉXICO.....	149
FIGURA 109 PRECIPITACIÓN ANUAL EN PALENQUE, MÉXICO.....	149
FIGURA 110 MAPA DE MÉXICO CON LA UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	150

FIGURA 111 CONSTRUCCIÓN EN BAMBÚ LA CEIBA	151
FIGURA 112 DORMITORIOS DE LA CEIBA VINCULADO A SU ENTORNO.....	152
FIGURA 113 PERFORACIÓN DE LOS TALLOS DE BAMBÚ PREVIO A LA INMUNIZACIÓN	153
FIGURA 114 PLANTA ARQUITECTÓNICA BAMBOO SPORTS HALL.....	155
FIGURA 115 PLANTA ARQUITECTÓNICA DORMITORIOS LA CEIBA	155
FIGURA 116 USO DE PASADORES DE BAMBÚ EN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	157
FIGURA 117 USO DE ESPÁRRAGOS METÁLICOS PARA LA UNIÓN DE LAS PIEZAS DE BAMBÚ.....	158
FIGURA 118 CIMENTACIONES UTILIZADAS EN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	159
FIGURA 119 DETALLE CONSTRUCTIVO CIMENTACIÓN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	160
FIGURA 120 INSERCIÓN DE VARILLAS CORRUGADAS METÁLICAS EN EL BAMBÚ	160
FIGURA 121 ESTRUCTURA PARA LA CIMENTACIÓN DE COLUMNAS EN LOS DORMITORIOS LA CEIBA	161
FIGURA 122 CONCEPTO DE LA FLOR DE LOTO EN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	163
FIGURA 123 DILATACIONES EN LA COBERTURA DE <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	163
FIGURA 124 ESTERILLA DE BAMBÚ UTILIZADA EN LA COBERTURA DE <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	164
FIGURA 125 COMPOSICIÓN DEL SUSTRATO Y VEGETACIÓN UTILIZADA EN LA COBERTURA DE LOS DORMITORIOS	164
FIGURA 126 DETALLE DEL FUNCIONAMIENTO DE LA COBERTURA DE LOS DORMITORIOS LA CEIBA.....	165
FIGURA 127 UNIÓN DEL BOTAGUA A LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE LA COBERTURA.....	166
FIGURA 128 PLANTA DE CUBIERTAS ALEROS LATERALES Y CENTRAL.....	166
FIGURA 129 UNIÓN LONGITUDINAL DEL BAMBÚ EN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	168
FIGURA 130 ESQUEMA UNIÓN LONGITUDINAL DEL BAMBÚ EN <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	168
FIGURA 131 CORTE Y UNIÓN LONGITUDINAL DE TALLOS DE BAMBÚ	169
FIGURA 132 PROLONGAMIENTO LONGITUDINAL DEL BAMBÚ EN LA CEIBA	170
FIGURA 133 DETALLES DEL PROCESO DE LIGACIÓN LONGITUDINAL APLICADO EN LOS DORMITORIOS DE LA CEIBA	170
FIGURA 134 PROCESO CONSTRUCTIVO <i>BAMBOO SPORTS HALL</i>	171
FIGURA 135 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS DORMITORIOS DE LA CEIBA	171
FIGURA 136 UNIÓN DE BAMBÚ A TRAVÉS DE CORREAS METÁLICAS	172
FIGURA 137 DETALLE CONSTRUCTIVO DE TALLOS DE BAMBÚ CON VARILLAS METÁLICAS.....	172

FIGURA 138 UNIÓN BOCA DE PESCADO CON ESPÁRRAGOS GALVANIZADOS UTILIZADOS EN LOS DORMITORIOS DE LA CEIBA.....	173
FIGURA 139 UNIÓN TRANSVERSAL MEDIANTE ESPÁRRAGOS GALVANIZADOS EN LOS DORMITORIOS DE LA CEIBA	174
FIGURA 140 SELLANTES DE BAMBÚ UTILIZADOS EN LOS EXTREMOS DE LOS TALLOS DE <i>BAMBOO SPORTS HALL</i> .	175
FIGURA 141 SELLANTE DE ASERRÍN PARA LOS TALLOS DE BAMBÚ EN LOS DORMITORIOS DE LA CEIBA.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CONTENIDO DE HUMEDAD Y FUERZA A COMPRESIÓN DEL BAMBÚ	48
TABLA 2 VALORES DE RESISTENCIA A TRACCIÓN EN MUESTRAS CON Y SIN NUDO	53
TABLA 3 VALORES PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A TENSIÓN EN DIFERENTES ESPECIES Y ZONAS DEL TALLO.....	56
TABLA 4 PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA PARTE BAJA DEL CULMO DE DIFERENTES ESPECIES DE BAMBÚ	62
TABLA 5 TIEMPO DE SECADO EN LOS DIFERENTES MÉTODOS.....	88
TABLA 6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS EN LOS CASOS DE ESTUDIO	156
TABLA 7 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS DOS CASOS DE ESTUDIO	178

“Bamboo buildings are like a living organism, every bamboo pole represents the ‘DNA’ of the building, each unique like real strands of DNA. The strands of the bamboo ‘DNA’ form a network structure, where each pole has its own specific function, be it in the walls, ceilings, stairs or roof. When they come together, to form a body, it waits to be given a soul by those inhabiting the building.”

Defit Wijaya, Ibuku

GLOSARIO

Bahareque: Material usado na construção de casas compostas por juncos ou palitos entrelaçados e unidos a uma mistura de terra úmida e palha.

Carrizo: Carrizo: Com nome científico *Phragmites australis*, É uma espécie de cana do gênero *Phragmites* da família *Poaceae*.

Cerchas: Denominada em português treliça é uma estrutura de diferentes materiais, que permite a transferência de peso de maneira segura, sendo utilizada como base para a construção de estruturas.

Culmo: Caule herbáceo articulado, típico de gramíneas.

Guadua: *Guadua angustifolia*, popularmente chamada guadua ou tacuara, é uma espécie botânica da subfamília das gramíneas *Bambusoideae*, que tem seu habitat na floresta tropical úmida nas margens dos rios. É o gênero de bambu mais importante da América e é endêmico neste continente.

Tabique: Parede fina; especialmente a parede interior de uma casa que não suporta cargas e serve para dividir o espaço dos quartos.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura así como la construcción, han ido evolucionando a lo largo de los años debido a las diferentes técnicas y materiales que se han ido desarrollando alrededor del mundo. Existen materiales naturales que desde la antigüedad han sido utilizados en la construcción de diferentes maneras, otorgando grandes beneficios hasta la actualidad. Uno de estos materiales es el bambú el cual ha sido base de la cultura en algunas civilizaciones y fue denominado por el arquitecto colombiano Simón Vélez como el “acero vegetal”, este término ha llegado a ser comúnmente utilizado por muchos otros arquitectos alrededor del mundo los mismos que han utilizado este material en sus proyectos. Esta denominación se dio debido a que posee grandes propiedades y beneficios en especial en temas ambientales, además otorgan muchas posibilidades a la hora de construir. (Vélez, 2015)

Como se sabe, el bambú es un material que cuenta con diferentes especies y géneros alrededor del mundo (Figura 1), sin embargo para ser utilizado en la construcción necesita cumplir con características específicas que son otorgadas en base a las condiciones ambientales en las que fue desarrollado y los cuidados posteriores conferidos. Estas circunstancias a las que se encuentran expuestos hacen que se convierta en un material resistente y apto para ser utilizado en la arquitectura; es por eso que existen países, principalmente en Asia y en Latinoamérica, que cumplen con estas condiciones, es por eso que el uso de este material en sus construcciones se vuelve más común.

El bambú es liviano, fuerte, flexible, y resistente a grandes esfuerzos físicos-mecánicos, además absorbe altas temperaturas, ruido, y tiene grandes cualidades estéticas. La presencia de todas estas características en el bambú ha hecho que su uso evolucione e incremente considerablemente, haciendo que diferentes arquitectos alrededor del mundo elijan el uso del bambú sobre otros materiales llegando a desarrollar varias técnicas constructivas que lleven a cabo el máximo de beneficios que conlleva el uso de este material.



Figura 1. - Diferentes presentaciones de Bambú

Fotografía: Eduardo Souza (Souza, 2017, para.1)

El bambú como se podrá ver más adelante puede ser utilizado en diferentes aspectos de la construcción como por ejemplo en su estructura, su cobertura, revestimiento de paredes y elementos constructivos así como ornamentación, también puede combinarse con diferentes tipos de materiales como por ejemplo madera, tierra batida, hormigón, metal, entre otros. La importancia de este estudio se centra en establecer todas las posibilidades y beneficios que otorga el uso de bambú en la construcción especialmente en los países que cuentan con fácil acceso de ese recurso natural, mediante el análisis de diferentes sistemas constructivos ya existentes, para así poder establecer nuevas hipótesis para mejorar el uso de estas técnicas y sacar a relucir todo el potencial de este material en la arquitectura.

1.1. Pertinencia

Las construcciones en bambú a lo largo de toda su trayectoria en la construcción han demostrado tener grandes cualidades en cuanto a sustentabilidad por su bajo impacto negativo en el medio ambiente desde que comienza su producción hasta su ejecución en obra. Estudios previos realizados, los mismos que serán explicados de mejor manera en capítulos siguientes, permiten medir cuantitativamente muchas de las propiedades del bambú

utilizando métodos estándar aplicados para definir las capacidades de diferentes materiales. Estas pruebas permiten establecer los comportamientos que existen a nivel de tracción, de compresión la resistencia del material, la elasticidad, entre otras. De esta manera se crean los diferentes estándares internacionales para su uso y aplicación. (ISO22157, 2019) Los resultados obtenidos establecen la gran cantidad de beneficios que otorgan este tipo de construcciones en el ambiente en el que se encuentran ubicados debido a las propiedades físicas y mecánicas que posee el bambú permitiendo establecer cuáles son las condiciones adecuadas para hacer uso de este recurso. Por esta razón, es importante el reconocimiento de todas las capacidades que tiene el bambú como material de construcción para poder plantear las técnicas más adecuadas que puedan ser inseridas en diferentes ámbitos de la arquitectura contemporánea. De esta manera se permite tener un entendimiento más profundo de las posibilidades que brinda el bambú y la importancia de promover el uso de un material tan versátil que va desde la construcción hasta el diseño de muebles y que además puede combinarse con diferentes tipos de materiales. El estudio de estas técnicas empleadas en bambú permite que en un futuro puedan ser ejecutadas en diferentes proyectos de arquitectura alrededor del mundo, de esta manera se puede incrementar el conocimiento ya existente no solo de arquitectos o estudiantes de arquitectura sino también de personas con interés en este tema.

1.2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es estudiar cuales son las características y bondades más importantes que tiene el bambú como material, en especial lo referente a aspectos constructivos. Además busca establecer algunas de las estrategias más utilizadas en la actualidad para diferentes sistemas constructivos en bambú alrededor del mundo. Es importante realizar el análisis de diversos pormenores técnicos creados, estudiando cuáles son sus usos actuales para así poder dar varias soluciones en base a las características ambientales

y de entorno de cada proyecto; ya que con esto se busca establecer cuáles podrían ser las técnicas más adecuadas para diferentes condiciones, entendiendo la lógica que existe sobre cada uno de los sistemas empleados. En esta tesis se destacarán diferentes resoluciones constructivas para determinar cuáles son los métodos más acertados al momento de aplicar sistemas constructivos que hagan uso del bambú como material principal.

1.3. Objeto de Estudio

Para lograr el objetivo propuesto en este trabajo se investigaran y analizaran dos casos de estudios que empleen sistemas constructivos en bambú, principalmente se estudiaran ejemplos existentes en países del continente Asiático y Americano. Las zonas escogidas tienen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo del bambú como planta endémica del lugar, por lo que su producción se genera de manera natural y en grandes cantidades haciendo del bambú parte de sus construcciones. A lo largo del trabajo serán estudiados varios proyectos de diferentes escalas e incluso obras efectuadas con fines temporales y diversos usos programáticos, los cuales usan el bambú como elemento dentro de su construcción. Por último, en base a lo estudiado a lo largo del trabajo y a pesar de que el bambú se encuentra presente en diferentes continentes esta tesis será focalizada para dos de ellos. Será analizado un caso de estudio por continente, los mismos que utilizan el bambú como material principal dentro del proyecto, y que se encuentran localizados en dos continentes diferentes, esto con la finalidad de analizar las soluciones presentadas para diferentes realidades.

1.4. Generalidades

Dentro de las diferentes tipologías constructivas que existen una de las más destacadas en las zonas tropicales es la construcción con bambú. El uso de bambú se ha dado en diferentes épocas en cada uno de los continentes, en el caso de Asia su uso se remonta más de un millón de años atrás debido a que existe evidencia que el bambú fue utilizado por el Homo

Erectus en el sudeste de Asia; mientras que en Latinoamérica se han encontrado vestigios con más de 9500 años de antigüedad (Hidalgo, 2003). El bambú como tal es un material muy versátil que ha llegado a tener diversos usos desde la antigüedad hasta tiempos modernos; uno de esos usos se da en la arquitectura la cual ha tomado más fuerza en los últimos años en especial por las nuevas técnicas implementadas para llegar a obtener todo su potencial. Este material tiene propiedades renovables, resistentes y sustentables además cuenta con una característica destacable, su ligereza, esta se da debido a su forma cilindro hueca la misma que lo puede diferenciar al momento de compararlo con otro tipo de materiales; en conjunto todo esto le da al bambú un valor agregado como material de construcción ya que es bastante eficaz y útil. Se puede considerar el bambú como un material con usos vernáculos pero que en la actualidad otorga grandes posibilidades a la hora de construir ya sea en obras de pequeña y gran escala e incluso en proyectos de arquitectura efímera. Todas las propiedades que este material posee hacen que las construcciones con el mismo se vuelvan prácticas, rápidas de construir, livianas, únicas y amigables con el ambiente.

1.5. Estructura de la Tesis

Para la ejecución de este proyecto se realizará una investigación extensa del tema, partiendo desde los aspectos más generales del bambú mostrando así todas las posibilidades que existen con su aplicación en obra, hasta llegar a un análisis de diferentes casos de estudio realizados en diversos países llegando a plantear posibles hipótesis de mejoramiento. Para esto la tesis se dividirá en 3 fases, la primera servirá como introducción al tema pertinente y que se enfocará principalmente en los aspectos generales como las especificaciones técnicas del material, las ventajas y desventajas que conlleva la construcción con el mismo, además de todo el proceso constructivo del mismo, y una breve síntesis de proyectos realizados en el continente asiático y americano para crear un contexto de general de lo que existe actualmente. La segunda fase se encargará de profundizar más en el tema, especificando

diversos casos de estudio de diferente carácter y que se encuentren ubicados en estos 2 continentes (Asia y América), los cuales posteriormente servirán para crear la contraposición de diferentes métodos utilizados en los sistemas constructivos en bambú. En la tercera fase se establecerán las consideraciones finales en base a las características que posee el material, así como del análisis de los sistemas constructivos utilizados en los casos de estudio.

2. EL BAMBÚ COMO MATERIAL

El bambú es uno de los materiales más antiguos utilizados por el ser humano no solo en sus construcciones sino en varios aspectos, sin embargo en muchas ocasiones ha sido denominado como un material “para pobres”, esto se da principalmente porque es un material que tiene un bajo costo en especial en las zonas donde es cultivado, otro factor a considerar es la gran cantidad de viviendas sociales que se han construido a lo largo de los años en varios países en especial en Latinoamérica; no obstante, desde hace algunos años se han realizado grandes obras en bambú por lo que la concepción del mismo ha ido cambiando, abriendo paso a nuevos horizontes con nuevas posibilidades de uso con este material. La variación de tonos y texturas que posee, hace que el bambú otorgue características sutiles y estéticas a cada una de sus construcciones, dando un aire natural a cada una de las obras sin dejar de lado las propiedades constructivas que posee; es por esto que el arquitecto colombiano Simón Vélez estableció abiertamente en la Bienal de Venecia del 2016 (Figura 2) "No es un material para pobres o ricos, es para seres humanos". En innumerables ocasiones ha destacado las ventajas que existen al utilizarlo en las construcciones, siendo esta la razón por la cual hace uso del mismo en muchas de sus obras convirtiéndose en uno de los exponentes más importantes en la construcción con bambú en Latinoamérica (Figura 3).



Figura 2 Exposición Simón Vélez Bienal de Venecia 2016

Fotografía: Simón Vélez (Editorial, 2016, para. 2)



Figura 3 Simón Vélez junto al modelo de su obra Catedral sin religión en Colombia

Fotografía: Pierre Frey (Arqa. 2016, para.1)

En los países en los que el bambú se puede adquirir fácilmente algunas de las construcciones con el mismo imitan ciertas formas de la naturaleza para así integrarse sutilmente con el entorno. A pesar de que el mayor productor de bambú en el mundo es China abarcando más de la mitad de producción mundial no es el único productor de este recurso tan valioso, también se lo puede encontrar en África, el sudeste de Asia y Latinoamérica, siendo este último el que de cierta manera ha tenido menos avances e innovaciones a lo largo de los años usando bambú principalmente en la construcción de viviendas, manteniendo las técnicas vernáculas hasta nuestros días las mismas que primordialmente buscan aligerar las construcciones.

Asimismo en ciertos países de Asia se lo utiliza con fines específicos para determinados tipos de construcciones mientras que en otros se hace gran uso del mismo tanto para la edificación de viviendas, así como para otro tipo proyectos con carácter más público. En varias ocasiones se hace presente en obras que juegan más con temas estructurales como techos abovedados y puentes debido a que este continente se encuentra en un estado más avanzado en lo que refiere a su puesta en obra e industrialización llevándolo a ser incluso utilizado fuera de la arquitectura. Sin embargo incluso en países donde este material no es originario, se logra una articulación natural y dinámica con los elementos que se encuentran alrededor logrando resultados diferentes los mismo que llegan a un alto nivel de expresividad del material llevando más allá las formas convencionales que suelen tener otros materiales.

Al hablar de bambú deben tomarse en cuenta términos como sustentabilidad y tradición, ya que van ligados fuertemente al uso de este material. La sustentabilidad es la capacidad de realizar una actividad con el uso racional de recursos, respetando la naturaleza, sin comprometer la integridad del medio ambiente. En el caso de la arquitectura, es una actividad que debe ser realizada de manera sustentable, es decir, sus obras deben ser ejecutadas tomando en cuenta el uso de recursos naturales para que se reduzca el impacto ambiental,

respetando el entorno donde se encuentran ubicadas, con el menor desperdicio de recursos, para de esta manera crear un confort de manera pasiva tanto al interior como al exterior de edificio que incremente la vida útil de cada proyecto.

Por otro lado la tradición es considerada una parte fundamental de cada cultura. Son todas aquellas costumbres, valores y doctrinas que se mantienen a través de los años y que van pasando de generación en generación como un legado cultural. Tradición en lo que refiere a arquitectura, son todas las tipologías, técnicas y herramientas características de cada lugar y que han sido utilizadas para la creación de diferentes construcciones desde épocas primitivas, y que se han mantenido hasta la actualidad. Normalmente son utilizados materiales y técnicas locales para enfatizar el carácter de cada cultura. Uno de estos casos son las construcciones en bambú, las mismas que han sido efectuadas desde épocas primitivas y que se han mantenido hasta la actualidad. La aplicación de bambú en la arquitectura actualmente utiliza tanto técnicas vernáculas y tradicionales, como técnicas modernas que hacen uso de nuevas tecnologías.

2.1. Antecedentes Bibliográficos

Actualmente existen muchas publicaciones y estudios hechos sobre las construcciones de bambú, las especificaciones técnicas del material, las ventajas y desventajas que existen, así como sus diferentes usos tanto en la arquitectura contemporánea como en otros ámbitos. El estudio de la forma y de la materialidad ha proporcionado un conocimiento profundo de las características del material lo que permite establecer los límites y capacidades para su uso tomando en cuenta las nuevas tecnologías desarrolladas en las últimas décadas, sin dejar de lado las técnicas vernáculas que se pueden emplear con el bambú y que permiten una fácil ejecución en obra, con pocas herramientas y de manera económica. Con el paso del tiempo el uso de este material ha llegado a darse por diferentes arquitectos alrededor del mundo por lo cual la aparición de nuevas técnicas constructivas con este material ha ido aumentando

considerablemente. Principalmente se realizan estudios sobre este material por arquitectos de Asia y Latinoamérica debido al fácil acceso y a su bajo costo en estos lugares, pero en los últimos años han aumentado las publicaciones realizadas en países como Alemania, Francia, Italia y Estados Unidos recalcando la resistencia y bondades que tiene el bambú y las nuevas técnicas innovadoras que se han creado estos últimos tiempos.

2.1.1. Bienal Internacional de Arquitectura en Bambú

Una de las grandes muestras de este tipo de arquitectura se dio en la “Bienal Internacional de Arquitectura en Bambú” donde la primera edición se realizó en septiembre del 2016 en Baoxi, una pequeña aldea en China a unas horas de Shanghái. Fue escogido como tema “Genius Loci” el cual estuvo organizado y ejecutado por Ge Qiantao (Figura 4) y George Kunihiro, un artista local y un arquitecto respectivamente. La bienal fue ejecutada en un lapso de 4 años y estaba conformada por un conjunto de obras realizadas por diferentes arquitectos, las mismas que hicieron uso de técnicas locales del lugar con la ayuda de los habitantes de la zona.

Todas estas obras fueron creadas con un carácter permanente para el uso y beneficio posterior de la comunidad. Fueron construidos diferentes tipos de edificaciones que van desde un puente construido completamente en bambú, hasta talleres, museos y hoteles, los mismos que incrementaron el turismo en la comunidad dejando ver las características rurales de la zona y la cultura del país. El bambú fue combinado con otros tipos de materiales locales, esto se puede ver claramente en los proyectos realizados por la arquitecta alemana Anna Heringer donde en los 3 hoteles creados en la aldea (Figura 5), logran contrastar el bambú con tierra apisonada, lo que también permite que se asemejen a las vasijas y cestas tradicionales características de esta zona.



Figura 4 Puento de bambú realizado por Ge Qiantao

Fotografía: © Julien Lanoo

“Las pequeñas construcciones acogen dos hostales y un pabellón de invitados. Las plantas constan de una serie de anillos concéntricos alrededor de un núcleo de tierra prensada donde se recogen las instalaciones. Estos anillos se atan entre sí a través de una celosía de bambú que aporta rigidez al conjunto. Entre ambos se disponen las zonas de dormir: unas celdas traslúcidas que se adosan al núcleo interior y que, por su ligereza, semejan las vasijas de cerámica Celadón típicas del lugar.” (Consentino, 2017)



Figura 5 Albergue realizado por Anna Heringer en la Bienal de arquitectura en Bambú

Fotografía: © Julien Lanoo

En esta bienal se realizaron un total de 18 proyectos que buscaban explorar el potencial del material dentro de la arquitectura contemporánea, todo esto se efectuó con la participación de 12 arquitectos con conocimientos del tema. Estos arquitectos fueron: George Kunihiro (Estados Unidos), Li Xiaodong (China), Yang Xu (China), Simon Velez (Colombia), Mauricio Cardenas Laverde (Italia / Colombia), Anna Heringer (Alemania), Kengo Kuma (Japón), Keisuke Maeda (Japón), Suk-hee Chun and Young-chul Jang (Republica de Korea), Madhura Primatilleke (Sri Lanka), and Vo Trong Nghia (Vietnam). Julien Lanoo¹, creó un registro fotográfico de los 18 proyectos realizados que muestra cómo fueron implantados en la aldea, su relación con el entorno, el uso de los materiales en los diferentes espacios además de la relación que se crea entre los mismos y la forma de habitar los espacios por parte de los habitantes de la aldea (Figura 6). (Valencia, 2017)



Figura 6 Taller de Cerámica realizado por Keisuke Maeda

Fotografía: © Julien Lanoo

¹ Julien Lanoo es un fotógrafo belga nacido en 1985, es conocido por sus fotografías arquitectónicas que mantienen un carácter humanístico, tiene alrededor de 12 libros publicados. Ha colaborado con importantes firmas como Herzog y De Meuron, LAN Architecture, entre otras.

2.1.2. Manuales de Construcción

A lo largo de los años, la búsqueda de una arquitectura más sostenible hizo que el uso del bambú haya incrementado, por lo cual las obras con este material se propagaron a diferentes países alrededor del mundo. Esto ha generado la necesidad de crear diversos manuales con técnicas constructivas que hagan uso del bambú y que tomen en cuenta las diferentes condiciones ambientales del entorno para aplicar la técnica más adecuada al lugar. Debido a la gran cantidad de proyectos realizados con ese material, y la gran cantidad de estudios que se realizan para su aplicación en obra, este tipo de manuales son realizados en continentes como Asia y América (Figura 7). Un ejemplo de estos documentos se da por parte de Lucila Aguilar², la cual creo el “Manual de construcción en Bambú” (2018), sus cuatro capítulos buscan documentar todo el proceso constructivo que se realiza para la construcción estructuras en bambú. Mediante una explicación clara y concisa se registran todos los pasos a seguir para la correcta aplicación del bambú en la construcción, desde el uso que se debe dar a cada una de las partes de la planta, las herramientas que se utilizan a lo largo de este proceso y durante su construcción, y las bondades que posee este material.

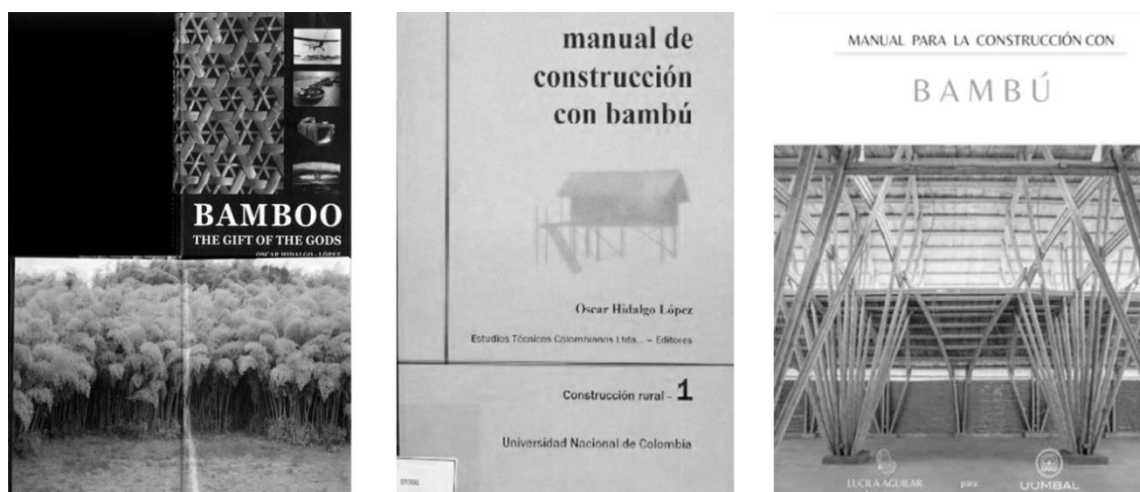


Figura 7 Portadas de diferentes Manuales de Construcción con Bambú

Fuente: Oscar Hidalgo y Lucila Aguilar

² Lucila Aguilar es una arquitecta mexicana fundadora de Lucila Aguilar arquitectos, la cual creo el manual de construcción en base a los procesos realizados para las obras de “La Ceiba” un conjunto de obras creadas para la empresa UUMBAL.

El objetivo principal de la arquitecta era llevar más allá el uso del bambú, haciendo que las construcciones de la región pasen a tener un nuevo carácter, demostrando que el bambú no es solo un material para construcciones efímeras, sino que puede ser utilizado para fines industriales, como se puede apreciar en las obras de las cuales está inspirada la creación de este manual. Asimismo busca enfatizar la versatilidad que tiene el bambú con otros materiales para crear obras funcionales y atractivas. Principalmente ha trabajado con bambú en los estados de Chiapas, Veracruz y Tabasco, reduciendo los costos de construcción, lo que genera una conciencia social y ambiental en México y el mundo (Aguilar, 2018). La creación de este manual cuenta con la colaboración de otros arquitectos expertos en el tema como Jörg Stamm³, que contribuyeron con su conocimiento del tema el cual ayudo a establecer las pautas necesarias para realizar un correcto proceso constructivo en bambú.

Uno de los más destacados en este tema es el arquitecto colombiano Oscar Hidalgo López el cual fue uno de los pioneros al investigar todas las propiedades que este material posee, es por eso que a lo largo de su carrera ha creado varias publicaciones acerca del uso y beneficios de este material en la arquitectura, lo que le llevo a fundar un centro especializado en la investigación de bambú (CIBAM); asimismo es el creador del “Manual de construcción con Bambú” (1981) con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, el cual es uno de los ejemplares más completos que hay sobre el proceso constructivo que existe en este material explorando todas las posibilidades que nos brinda. Otra de sus obras más importantes acerca de este material es “Bamboo – The Gift of the Gods” (2003) que plasma todas las investigaciones realizadas a lo largo de los años sobre este material abarcando temas que van desde su cultivo, sus características y propiedades hasta sus usos constructivos, destacando la importancia de su preservación y las bondades que nos ofrece tanto en la arquitectura como en otros aspectos cotidianos. “El Bambú puede reemplazar la madera en

³ Jörg Stamm es un constructor alemán el cual se especializó en la construcción con bambú al trabajar en diferentes países de América Latina y Asia, desarrollando diferentes técnicas y construcciones con este material.

fuerza, durabilidad, costo y velocidad de crecimiento en todos los campos que en los que la madera ha sido utilizada hasta el presente.” (Hidalgo, 2003, p. 58)⁴

2.1.3. Organizaciones dedicadas al bambú

Actualmente existe una organización llamada Bamboo U, la cual fue fundada el 2015 en Bali, Indonesia con el objetivo principal de instruir a las personas acerca del potencial que posee el bambú para las construcciones sustentables capacitándolos para la realización de construcciones con técnicas y materiales amigables con el ambiente. (Figura 8) La idea original fue concebida por John Hardy⁵ y ejecutada con la ayuda de su hijo Orin Hardy y María Farrugia convirtiendo a Bamboo U en un organismo primordialmente enfocado en la enseñanza de nuevas técnicas constructivas a través de la creación de diversos cursos y talleres dictados por expertos en el tema como Elora Hardy con la colaboración del grupo IBUKU⁶, Jörg Stamm, Neil Thomas entre otros especialistas en bambú y permacultura.



Figura 8 Curso Impartido por Bamboo U en Green School Bali

Fotografía: Bamboo U (2015, para. 3)

⁴ “Bamboo can replace wood in strength, durability, cost and fast growth in all the fields in which wood has been used up to the present time.” (Hidalgo, 2003, p. 58)

⁵ Es un arquitecto canadiense radicado en Bali hace más de cuatro décadas, fundador de The Kul Kul Farm, IBUKU, Green School y Green Village junto 2 de sus cuatro hijos Elora Hardy y Orin Hardy.

⁶ Es un equipo de arquitectos localizados en Bali fundados en 2010 por John Hardy y Elora Hardy con el objetivo de continuar evolucionando la construcción en bambú realizada previamente en Green School.

Actualmente es un taller de diseño y construcción organizado por “The Kul Kul Farm” impartidos en Green School, son cursos realizados varias veces al año, con diversos enfoques del bambú, desde la introducción del material hasta un taller de diseño el cual experimenta de forma directa el potencial del bambú destacando las posibilidades para una arquitectura sostenible. (BambooU, 2015) Por otra parte INBAR (Red Internacional del Bambú y Ratán⁷ por sus siglas en inglés) es otra organización especializada en el uso del bambú, fundada en 1997, para promover el desarrollo sostenible que cuenta con 45 países miembros con sede principal en Beijing y con oficinas en India, Ecuador, Ghana y Etiopía. (INBAR, 1997)

2.2. Historia del Bambú en la Construcción

El uso de bambú en la construcción se remonta a épocas primitivas en los diferentes continentes que conforman el planeta tierra. En lugares como América, Asia y África el bambú ha formado parte de diferentes culturas y ha sido utilizado en varios elementos que forman parte de la vida diaria, desde construcciones y mobiliario hasta ser utilizado incluso como alimento. En el caso del continente Americano han sido encontrados vestigios de bambú en viviendas primitivas construidas por culturas indígenas de diferentes países como Colombia y Ecuador, los mismo que han sido catalogados como los primeros usos a este material a nivel mundial, asimismo en diferentes culturas posteriores como los aztecas en América Central, o en la época preincaica en América del Sur en países como Perú también fueron encontrados rastros del uso de este material. Por otro lado en Asia, específicamente en la zona de India, además de ser utilizado en viviendas, uno de los primeros usos que se le dio al bambú, fue en la elaboración de templos, y en base a la flexibilidad que este material posee ha podido ser empleado para la creación de cúpulas inspiradas en la flor de loto, las mismas que se remontan miles de años atrás. Asimismo en África, y debido a la influencia proveniente del continente Asiático, el bambú comenzó a ser utilizado dentro de la

⁷ Ratán se refiere a una palmera trepadora forma parte del genero Calamus y comprende más de 600 especies. Es característico por su tallo delgado el cual no resiste bien a presión, sin embargo posee gran elasticidad.

arquitectura en especial en construcciones cercanas a la costa. El bambú fue especialmente aplicado en la parte oriente del continente, en específico en países como Etiopía, Kenia y Uganda donde la producción de bambú es elevada y permite la creación de diferentes edificaciones. Algunas de las construcciones más primitivas fueron se dieron en Etiopía, como es el caso de las “Casas Colmena” en la población de Sidama o las “Casas Elefante” en la población de Dorze (Torres, 2017). Si bien es cierto el uso del bambú se remonta a épocas anteriores, ha evolucionado su aplicación con el pasar de los años e incluso ha ido difundiéndose por diferentes países de América, Asia y África, sin embargo con la llegada de la industrialización su uso dentro de la construcción se vio afectado. A pesar de esto en las últimas décadas comenzó a retomar fuerza como elemento arquitectónico.

2.3. Cualidades Generales del Bambú

El bambú es una planta que se caracteriza por crecer principalmente en climas tropicales, subtropicales y templados. Requiere muy poco cuidado durante su desarrollo ya que se regenera fácilmente por lo cual el impacto ambiental que tiene es muy bajo. Está compuesta por diferentes elementos como raíz, tallo, hojas, flores y frutos, pero comúnmente se la divide por las diferentes partes que son Rizoma, Cepa, Basa, Sobrebasa, Varillón y Copa (Figura 9) las cuales se definen en base a la altura que se encuentran del suelo lo que incide en su uso y aplicación en obra. El bambú es una de las plantas que más dióxido de carbono absorbe, debido a la estructura celular de sus hojas contiene carbono 4 volviendo más sostenibles las construcciones que utilicen este material. (Longhi, 1998) Entre sus ventajas también se encuentra la elasticidad que posee, convirtiéndolo en un material sismo-resistente perfecto para utilizar en los lugares más vulnerables a movimientos tectónicos, como lo son algunas zonas de Latinoamérica y Asia, lugares en los que esta planta crece de forma natural. El bambú puede encontrarse casi en cualquier lugar del planeta excepto en Europa y la Antártica ya que no cuentan con las condiciones propicias para su desarrollo. (Figura 10)

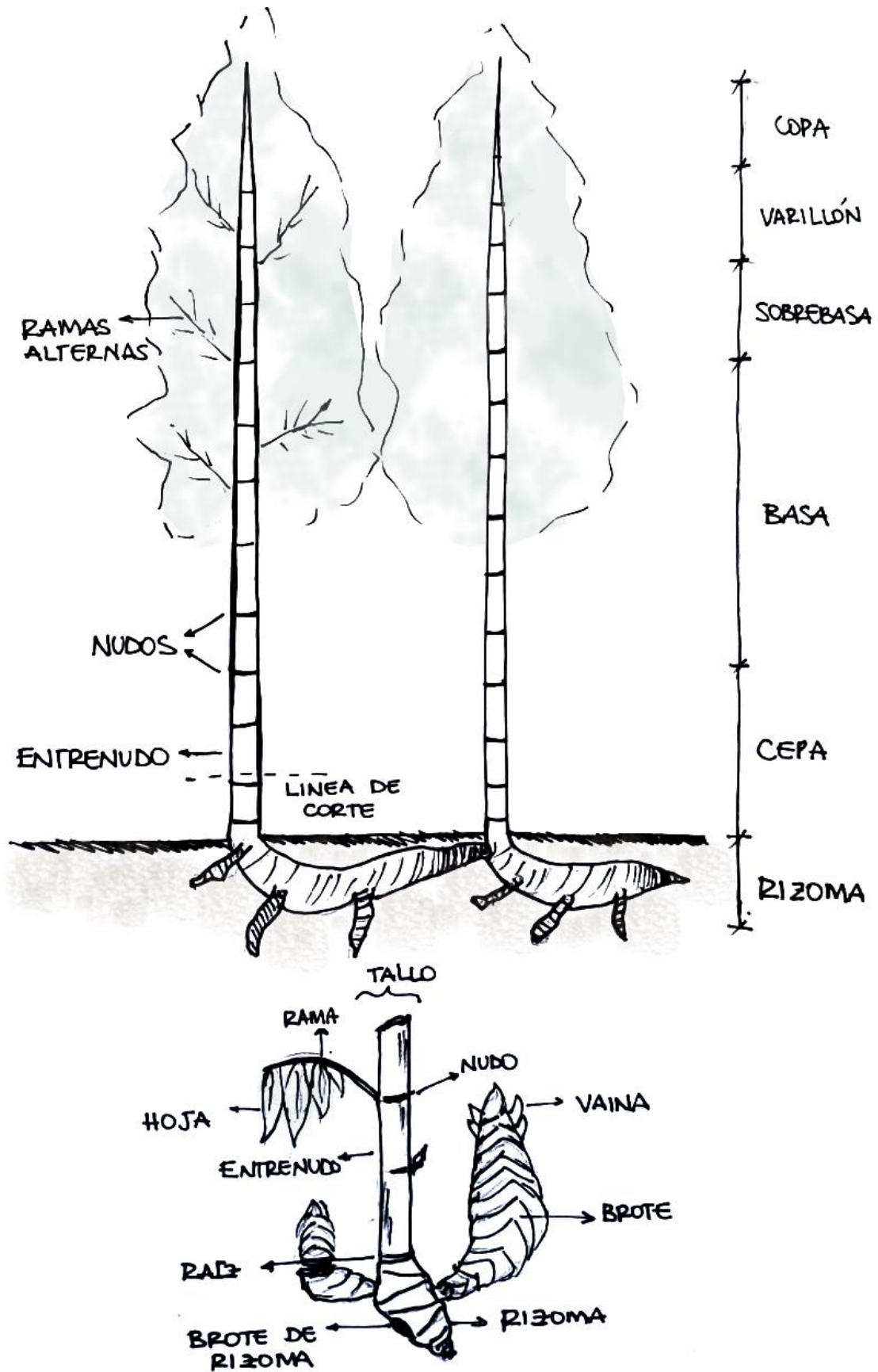


Figura 9 Partes de la planta de bambú

Fuente: Elaboración propia en base a Oscar Hidalgo (1981, p.1)

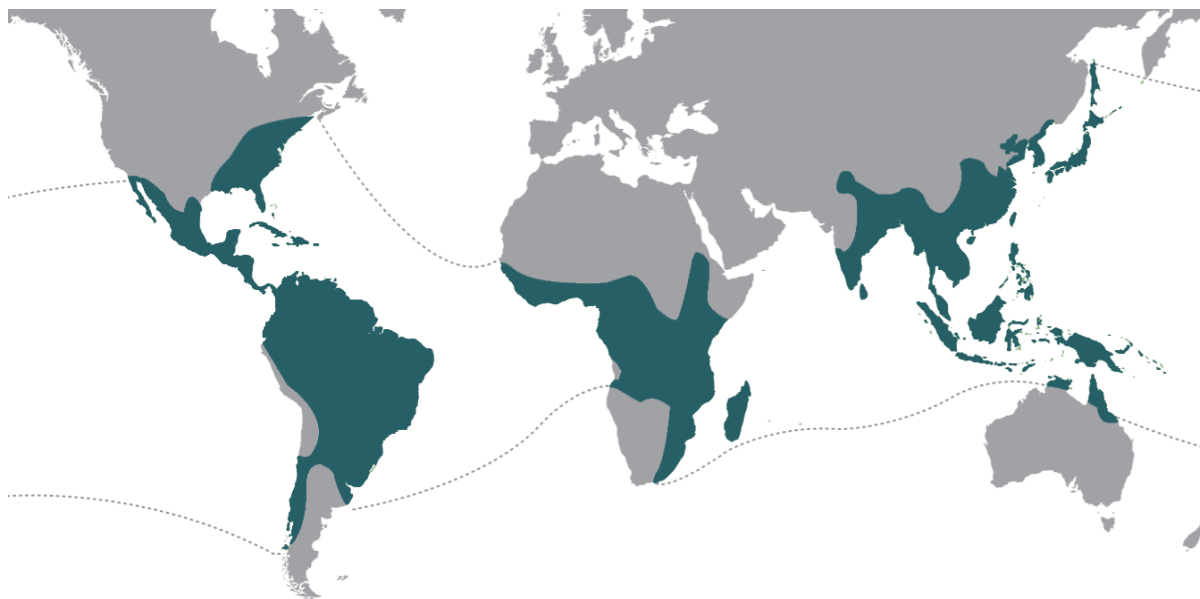


Figura 10 Distribución del Bambú a nivel mundial

Autor: En base a Oscar Hidalgo (2003, p.33)

Al resistir grandes esfuerzos sus módulos de compresión, tracción y flexión superan otros materiales de construcción como el acero, asimismo los beneficios de este material van más allá de solo sus propiedades constructivas y todas las posibilidades que nos brinda en el ámbito arquitectónico y en todos los otros campos en los que es aplicado, sino también pueden ayudar en aspectos económicos, ya que las construcciones hechas con bambú son más económicas que aquellas que utilizan materiales tradicionales e industriales debido a su bajo costo como elemento constructivo. Debido a que es fácil de adquirir tiene cualidades renovables muy elevadas. De la misma manera ayuda a promover el desarrollo económico de los países que poseen este recurso natural, ya que muchos de estos países cuentan con un gran ingreso de capital que se da por la exportación de este recurso natural. En la conferencia de la ONU sobre el cambio climático llevada a cabo en Cancún, México el 2010, la directora general del INBAR, Coosje Hoogedoorn, estableció: “El bambú es un gran recurso para impulsar el desarrollo económico y se puede adquirir fácilmente en los países más pobres de África, Asia y Latinoamérica.”

2.3.1. El bambú en construcciones de emergencia

Uno de los grandes beneficios al momento de construir con bambú es que se pueden crear estructuras y edificaciones a una velocidad acelerada y con un bajo costo, esto permite que el bambú sea una de las opciones más viables y de las más comunes a considerar al momento de realizar construcciones de emergencia en zonas de desastre o de riesgo. Alrededor del mundo existen muchos países que han sido afectados por innumerables fenómenos y desastres naturales los cuales han dejado las zonas afectadas sin refugio para sus habitantes por lo cual se han visto en la necesidad de crear diversas estrategias de viviendas de emergencia que pueden llegar a ser utilizadas en este tipo de circunstancias, en especial en aquellas zonas más vulnerables a desastres naturales, como inundaciones o terremotos, su objetivo principal es mejorar las condiciones de vida de los más afectados otorgando un refugio en esas situaciones. Una de las cualidades que se pueden destacar de las viviendas de emergencias creadas en bambú, es la facilidad de ejecución que tiene, además que no existe necesidad de grandes conocimientos de construcción para poder elaborarla. Una de estos prototipos se dio por el estudio arquitectónico vietnamita *H&P Architects*, los cuales crearon “*Blooming Bamboo*” (Figura 11) que consiste en un sistema de casas modulares de fácil ensamblaje utilizando solamente bambú y pernos metálicos, su principal objetivo es cubrir las necesidades de sus usuarios a través de la arquitectura. Sus dimensiones son 3.3mx6.6m la misma que tiene la posibilidad de comunicarse entre varios de estos módulos, además del diseño innovador de su cubierta permite el flujo de aire mientras funciona como protección del sol. Sin necesidad de mano de obra especializada puede ensamblarse en tan solo 25 días y con un costo máximo de 2500 dólares. Su ventaja es que al ser proyectado para zonas con peligro de inundaciones está diseñado para elevarse 1,5 metros e incluso hasta 3 metros otorgando una solución a un bajo costo. (Figura 12) (Franco, 2013c)



Figura 11 Casa Bb | Blooming Bamboo

Fotografía: Doan Thanh Ha (Franco, 2013c, para. 3)



Figura 12 Casa Bb | Blooming Bamboo

Fotografía: Doan Thanh Ha (Franco, 2013c, para. 1)

Otro de estos ejemplos es la propuesta creada por el arquitecto Ming Tang como solución para el desastre natural ocurrido en China el 2008, el terremoto destruyó el hogar de miles de personas, por lo que era necesaria la creación de viviendas temporales para los afectados. Se propuso la creación de estructuras de fácil construcción con materiales locales lo que permitía que los costos sean reducidos sin necesidad de mayor trasportación de materiales. El proyecto lleva por nombre “*Folded Bamboo Houses + Paper Houses*”⁸ las mismas que como su nombre lo indica son refugios con una estructura lineal hecha de bambú la misma que tiene una geometría angular lo que permite que se pueda plegar, armándose y desarmándose para poder ser transportada de una zona a otra. Luego de ser montados pasan a ser cubiertos por papeles reciclados y fibras. Uno de los aspectos importantes de la forma que tienen las estructuras es que su doble curvatura en cubierta permite resolver los esfuerzos que se realizan tanto a tracción como a compresión. (Pastorelli, 2008)

En Nepal también se crearon estructuras de esta índole, debido al terremoto que se sufrió el país hace algunos años, por lo que se vieron en la necesidad de crear un prototipo de vivienda que utilice materiales locales y de bajo costo con el objetivo de ser ensamblado de manera rápida, proporcionando así refugio de manera instantánea (Figura 13). Era importante establecer una serie de normas que la comunidad local pueda utilizar en el futuro durante su construcción; por lo tanto los arquitectos de *RootStudio*, eligieron como sistema de cobertura una cercha de bambú la misma que está recubierta tanto por carrizo⁹ como por una lámina metálica. Además, para reutilizar de los materiales que formaban parte de las construcciones previas del lugar, los arquitectos propusieron la elaboración de cuatro pilares de ladrillos en los cuales se asentaba la cubierta hecha por una estructura de bambú. (Figura 14) (Editorial, 2015)

⁸ En español significa “Viviendas plegables de bambú + papel”

⁹ Planta natural que al igual que el Bambú viene de la familia *Gramineae-Poaceae* pero de una subfamilia diferente que es *Arundinoideae*. Crecen en suelos húmedos, y su altura y diámetro son significativamente menores que el bambú.



Figura 13 Estructura cubierta realizada en bambú en Nepal

Fotografía: *RootStudio* (Editorial, 2015, para. 3)



Figura 14 Cubierta Viviendas de emergencia en Nepal

Fotografía: *RootStudio* (Editorial, 2015, para. 7)

Este tipo de estructuras de fácil montaje con bajo costo no solo han sido utilizadas en zonas donde ha ocurrido un desastre natural, sino también para cumplir con la alta demanda que se ha generado los últimos años debido al incremento de inmigrantes y refugiados provenientes de países que se encuentran en zonas de riesgo. Un ejemplo se puede ver en el proyecto realizado por *a.gor.a Architects* en Tailandia, donde la escuela de los CDC¹⁰ se vio en la necesidad de crear dormitorios temporales con fácil montaje para los nuevos estudiantes (Figura 15). Aunque el material principal utilizado fue la madera de teca, también se utilizó bambú y paja para elaborar las paredes, techos y pisos. (Duque, 2014). Estos son sólo algunos de los ejemplos que existen de este tipo de construcciones alrededor del mundo, normalmente son diseñados para ser una solución práctica para este tipo de situaciones donde se utiliza la arquitectura como respuesta rápida al problema emergente.



Figura 15 Vista exterior dormitorios CDC

Fotografía: Line Ramstad, Allyse Pulliam (Duque, 2014, para. 4)

¹⁰ Centro de desarrollo infantil ubicado en Mae Sot, Tailandia.

2.3.2. Versatilidad del Bambú con otros materiales

Es muy común que al momento de hablar de construcciones en bambú muchas veces entren en consideración otro tipo de elementos constructivos que trabajan bien con este material. Puede llegar a ser combinado con diferentes materiales, como por ejemplo madera, mortero, arcilla, arena, hierro, tierra, ladrillo entre otros; todo esto debido a la versatilidad que presenta el bambú como material al ser ligero y flexible. De acuerdo a Penny Livingston-Stark¹¹ la tierra y el bambú son elementos sumamente compatibles ya que comparten ciertas características que los vuelven materiales con los cuales es fácil trabajar en conjunto, al mismo tiempo cada uno tiene capacidades diferentes que se complementan en su resultado final. Una de las mejores características que ambos materiales poseen es su beneficio para el medio ambiente, no son tóxicos y muchas veces son elementos regenerativos con propiedades sustentables.

El bambú al ser un material con buena resistencia a tracción lo vuelve un material ideal para ser utilizado en elementos que soporten grandes cargas ,mientras que la tierra proporciona capacidades térmicas, en conjunto pueden ser otorgar mejor resultados para técnicas como: “*Pajareke*”, “*Wood Chip Clay*”, y “*Light Straw Clay*”, las cuales son tres sistemas ya existentes que utilizan la tierra como componente principal, pero al utilizar bambú es importante tener en consideración las medidas necesarias frente a la humedad para que ninguno de estos materiales pierda sus propiedades y capacidades (Figura 16). Penny Livingston-Stark dijo: "La tierra y el bambú no son compatibles con barreras de vapor de plástico o con pinturas, por ejemplo. Los considero materiales vivos que necesitan respirar" (Franco, 2017c)

¹¹ Penny Livingston-Stark es una diseñadora, oradora y profesora en el tema de la Permacultura, además de trabajar 25 años en el diseño regenerativo con materiales no-tóxicos lo que la ha llevado a ser reconocida internacionalmente.



Figura 16 Bambú como estructura combinado con Tierra y Paja

Fotografía: José Tomás Franco (2017c, para. 1)

Por otra parte el arquitecto Simón Vélez apuesta por el uso del mortero para mejorar todas las capacidades del bambú. En muchas ocasiones ha dejado claro los beneficios que la combinación de estos materiales conlleva para las construcciones, especialmente cuando descubrió la técnica que confirmó que el bambú es el “acero vegetal” llegando a mostrar la fuerza y flexibilidad natural, en una ocasión le fue encomendada la tarea de crear una estructura para caballos la cual debía ser enteramente construida en bambú, por lo que ideó un sistema totalmente innovador en esa altura el cual consistía en inyectar mortero de cemento (Figura 17), lo que convertía al bambú en un elemento lleno el cual permitía crear importantes estructuras ya que sus fibras son más fuertes que las del acero. (Ecotablero de Colombia , 2017) Al llenar las partes huecas del bambú que formarían parte de las uniones estas se endurecen haciendo más resistentes las zonas que soportan más esfuerzos, conjuntamente sujetándose de mejor manera a los tornillos y los demás elementos de conexión para crear una capacidad estructural importante. (Mandú’a, 2015)



Figura 17 Uso de cemento en las uniones del bambú

Fotografía: *The Scarcity and Creativity Studio* (Dejtiar, 2017b, para. 3)

Normalmente se buscan utilizar recursos de la zona donde se está trabajando, utilizando técnicas locales para su aplicación en obra, ya que el bambú se complementa bien con diferentes materiales, en especial aquellos que son más naturales. Una muestra de esto se da en el Bahareque (Figura 18), un sistema constructivo vernáculo con cualidades sísmo resistente, que es comúnmente utilizado en ciertos países de Latinoamérica. Este sistema se compone por la unión de diferentes maderas y cañas, las cuales se colocan entrelazadas entre sí recubiertas de barro creando de esta manera más estabilidad en sus estructuras. La tierra embutida se utiliza generalmente junto al bambú, la misma que se encuentra presente para la realización tanto de cubiertas, muros, vigas, columnas utilizando esta técnica. El único elemento donde no es utilizado el bambú es en las cimentaciones debido a la vulnerabilidad del material por la humedad del suelo. Tanto en Colombia, como Perú existen reglamentos para su construcción, los mismos que detallan diferentes normas técnicas para su aplicación en obra. (Rivera, 2018)



Figura 18 Proceso de construcción del Bahareque

Fotografía: Pedro Bravo, Sofía Hernández y Francisco Martínez (Rivera, 2018, para. 4)

2.4. Diferentes Especies de Bambú

El bambú, taxonómicamente hablando pertenece a la familia *Gramineae-Poaceae* la cual tiene diferentes subfamilias, en el caso del bambú es la subfamilia *Bambusoideae*; esta a su vez se divide en dos grupos por sus características principales: Herbáceos y Leñosos o *Bambusodae*. (Hidalgo, 2003) El primer grupo cuenta con aproximadamente 25 géneros, de los cuales tan solo uno es originario de zonas como Asia y Africa. Son de tamaño pequeño debido a sus raíces poco desarrolladas las mismas que se despliegan en un sedimento herbáceo, mostrando una mayor diversidad en las alturas entre 0 y 1000msnm¹² y zonas ubicadas dentro de los 10° y 15° de latitud sur y norte; a pesar de ser distribuidas desde 29 ° latitud norte hasta 34 ° latitud sur. Por otro lado el grupo de los leñosos cuenta con 9 subgeneros, de los cuales 1 pertenece nativamente a ambos, 3 pertenecen a Latinoamérica y 5 a Asia. (Londoño, 2005) Los leñosos muestran un sistema radicular mucho más complejo y

¹² Se refiere a Metros Sobre el Nivel del Mar.

fuerte que les brinda culmos más resistentes. Crecen en zonas donde su altitud en algunos casos llega incluso sobre los 4000msnm. Al tener un desarrollo acelerado su culmo puede alcanzar su dimensión total en aproximadamente 4 meses comenzando con la etapa de ramificación. (Menéndes, 2012) La mayor parte de las especies se encuentra en el continente asiático mientras que en América Latina la diversidad es menor.

“En todo el mundo existen aproximadamente más 1600 especies e bambú, divididos en 121 géneros de los cuales 96 son Leñosos (Figura 19) y 25 son Herbáceos (Figura 20); al encontrarse en todos los continentes excepto Europa se dividen con diferentes porcentajes que son: Asia y Oceanía con 67%, América con 30% y África con 3%.”¹³ (Hidalgo, 2003, p. 32) El Bambú es una planta que se remonta a un origen prehistórico, por lo que no se puede establecer con exactitud las diferentes especies que existen, pero según estudios realizados se puede llegar a una cantidad aproximada. Normalmente se hace uso de la taxonomía para establecer la clasificación de las plantas a través del estudio de su floración, lo que representa un problema al momento de estudiar la familia del bambú debido a que muchas especies lo hacen en intervalos muy grandes o incluso permanecen estériles. Es por esta razón que a lo largo de los años es posible que una misma especie haya sido clasificada en diferentes géneros, o incluso nombrada de diversa forma creando una discordancia en cuanto a su clasificación por parte de diferentes personas. Se han determinado varios tipos de bambúes los cuales se diferencian según su uso y características físicas o mecánicas. (Hidalgo, 2003) A pesar de no tener un número específico de especies la diversidad que se encuentra en las especies de bambú es muy extensa, lo que permite que sus usos sean muy variados y amplios e incluso debido a sus capacidades pueden ser sustitutos de ciertos materiales logrando un beneficio para el ambiente. (Figura 21)

¹³ “Worldwide there are about 1,600 bamboo species distributed in about 121 genera (25 herbaceous and 96 woody). Geographically, these species are found in the tropical, subtropical and temperate areas of all continents, except Europe where there are no indigenous species. The approximate continental distribution of bamboos is as follows: 67% in Asia and Oceania: 3% in Africa, and 30% in the Americas.” (Hidalgo, 2003, p. 32)



Figura 19 Cultivo de especies de Bambú Leñoso
Fotografía: *Delhi Wind Bamboo* (2010, para. 9)



Figura 20 Muestra de especie de Bambú Herbáceo
Fotografía: *Kew Science*(2019, para. 1)



Figura 21 Ejemplos de diferentes tipos de bambú

Fuente: IDAC (2018, para. 1)

Desde la antigüedad existe una variedad significativa de especies de bambú en el mundo, tomando en cuenta que una de sus características principales es el entorno donde puede ser cultivada, se puede establecer que existen regiones que cuentan con las condiciones óptimas en general ubicados en climas tropicales las mismas que tienen fácil acceso a este recurso como material constructivo, ya que puede crecer a diferentes alturas que varían desde el nivel del mar hasta los 4300msnm, sin embargo, la altitud ideal para su crecimiento se encuentra entre los 400 y los 1200msnm. Aun así los bambús con características más favorables se pueden encontrar en ambientes húmedos los cuales tienen que reunir las características adecuadas para ser utilizadas en el ámbito arquitectónico.

“La guadua es una de las 500 especies conocidas de las *bambuseas*, que crecen en todos los continentes, excepto en Europa. El 90% de ellas se encuentran en Asia y América. El género americano *Guadua* comprende cerca de 20 especies. En Colombia existen las especies *Guadua Angustifolia* y la *Guadua latifolia*. De la primera, que es la de más usos, se conocen en el antiguo Caldas las variedades macana, cebolla y rayada, de las cuales la macana es la más empleada en la construcción, pues tiene las paredes más gruesas.” (Jaramillo, 2004, p. 60)

En el caso de Asia contamos con una variedad más extensa de especies de bambú que pueden llegar a ser hasta cuatro veces más de las existentes en Latinoamérica, muchas de estas son utilizadas hasta la actualidad en diferentes campos, siendo uno de estos el de la construcción. Algunas de las especies que destacan más son: *Bambusa bambos*, *Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus strictus* (Figura 23), *Gigantochloa apus*, *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys pubescens*, *Phyllostachys bambusoides*, entre otras. Esta variedad de especies hace que el continente asiático sea el más abundante en cuanto a bambús. (Hidalgo, 2003)

Existen géneros endémicos de diferentes partes del planeta, como lo es el caso de la Guadua, nativa de Latinoamérica. A pesar que previamente se estableció por parte de José Jaramillo el autor de - “Análisis clásico de estructuras”- (2004) que el número de especies de este género eran 20, con el pasar de los años se han realizado nuevos estudios e investigaciones que determinaron un mayor número de especies. Este género, en el año 2016 abarcaba más de 30 especies donde la más destacada en el ámbito constructivo debido a todas sus propiedades mecánicas y físicas es la *Guadua angustifolia Kunth*, también conocida como macana (Figura 22), la misma que toma el nombre de su descubridor Carl Sigismund Kunth¹⁴, y es nativa principalmente de países como Colombia, Perú y Ecuador. Esta especie esta comenzado a ser plantada en países donde no crece naturalmente para ser utilizado en diferentes ámbitos. (Duarte, Agosto 2016). Hasta la actualidad no ha sido posible establecer con precisión el número de especies que existen del género guadua ya que a lo largo del tiempo se van identificando nuevas especies y nuevos géneros de esta planta. Algunas de las características específicas de esta especie de guadua además de su gran fuerza y durabilidad es su diámetro, que varía de 10 a 14 centímetros y puede llegar a tener un altura que oscila entre 18 y 23 metros lo que le hace una especie muy aplicada para países como Colombia y Ecuador. Conjuntamente a esta especie, existen otras muy similares del mismo género, la Guadua cebolla que se encuentra principalmente en Colombia y tiene el diámetro similar a la Angustifolia Kunth, también se puede usar en la construcción, solo que su altura es menor llegando solo a los 17 metros. La Guadua rayada verde tiene características similares a la macana e incluso es puede ser aplicada para la construcción, la diferencia principal está en su aspecto físico, donde sus tonalidades la convierten en una de las más bellas de Latinoamérica, no obstante, se encuentra al borde de la extinción por lo que su uso es reducido. (Hidalgo, 2003)

¹⁴ Carl Sigismund Kunth fue un naturalista y botánico alemán (Leipzig, 18 de junio 1788 - Berlín, 22 de marzo 1850) el cual en una de sus investigaciones descubrió la especie de bambú ahora conocida como Guadua Angustifolia.



Figura 22 *Guadua Angustifolia* Kunth

Fotografía: BambúExport (2019, para. 1)



Figura 23 *Dendrocalamus Strictus*

Fotografía: Calcutta Bamboo (2018, para. 2)

Comúnmente algo que destaca como característica general del bambú es que se conoce físicamente por mostrarse con tonos amarillentos, verdosos o unas variaciones de marrón, sin embargo, es importante recalcar que existen otras variaciones, ya que contamos con especies de matices más oscuros pudiendo alcanzar una tonalidad cercana al negro. Podemos encontrar principalmente 4 especies de esta coloración, dos de las cuales están orientadas para el uso en la construcción ya que tienen propiedades similares a las especies que son comúnmente utilizadas en este campo. Por otro lado las otras dos tienen fines más decorativos o estéticos, ya que no cuentan con las características necesarias para ser utilizadas dentro de los aspectos estructurales de la construcción. Su apariencia se debe a una mutación genética que permite alcanzar gamas más oscuras que el resto de bambú otorgando un carácter más elegante y exótico al utilizarlo en cualquier aspecto de la arquitectura, aunque no tiene las mismas propiedades y fuerza que presenta el bambú de tonos dorados. Las especies utilizadas para la construcción son *Dendrocalamus Asper Nigra* (Giant Black) como se puede ver en la Figura 24, y la *Gigantochloa Atroviolacea* (Java Black) la cual se muestra en la Figura 25. (Franco, 2017a)



Figura 24 *Dendrocalamus Asper Nigra* en The Minang House

Fotografía: Bamboo U (2019, para. 8)



Figura 25 *Gigantochloa Atroviolacea* en Moon House

Fotografía: Alina Vlasova (Bamboo U, 2019, para.14)

Crece en zonas tropicales al igual que el “bambú rubio”, por lo tanto también es importante utilizarlo en la construcción cuando su maduración este completa, ya que estéticamente puede ser más atractivo en sus primeros años, no obstante, sus propiedades mecánicas no están completamente desarrolladas. Por otro lado también existen especies de coloración negra utilizadas como decoración, *Bambusa Lako (Timor Black)* y *Phyllostachys Aurea Nigra (Black Aurea)* las mismas que a diferencia de las mencionadas previamente, solo alcanzan alturas hasta aproximadamente los seis metros y cuentan con un diámetro limitado que no proporciona fuerza suficiente para utilizar de forma estructural o constructiva, no obstante, otorgan un valor estético importante en las obras donde son aplicados creando una versatilidad de resultados en las construcciones de bambú. (Franco, 2017a)

2.5. Características Físicas del material

Las características físicas de este material pueden variar según algunos factores, como por ejemplo el tipo de especie y género, las condiciones climáticas donde fue plantado, el tratamiento posterior que se le haya otorgado, las medidas que se hayan tomado para su preservación, entre otros. Tomando en cuenta todos estos factores, a través de estudios en laboratorio a muestras de las diferentes especies es posible determinar que los géneros más utilizados en la construcción son las que otorgan mayor resistencia y contienen mayores capacidades como materiales de construcción y en su mayoría se encuentran tanto en Latinoamérica como en Asia. A pesar de la variedad de géneros que existen los más comunes para la construcción en estos continentes son: *Guadua Angustifolia* en el continente americano, mientras que en Asia al haber mayor diversidad son más variadas por ejemplo *Dendrocalamus Strictus o Asper*, *Bambusa Vulgaris* y *Phyllostachys edulis*. (Kaminski, Lawrence, & Trujillo, 2016) Una de las características físicas más destacadas del bambú su rápido crecimiento, el cual en promedio puede llegar a los 12cm por día y según Hidalgo en algunos casos incluso se ha documentado un crecimiento superior a 1 metro en 24 horas.

Crece tan veloz que puede llegar a ser talado anualmente sin que exista desgaste del suelo. Las diferentes especies pueden desarrollarse en temperaturas que van de 9°C hasta 36°C donde crecimiento se ve directamente afectado por la temperatura a la que se encuentra ya que mientras más elevada es mayor será su crecimiento, mientras que en zonas de bajas temperaturas el mismo puede llegar a inhibirse. Es por eso que muchas de las especies consideradas gigantes, como la *Guadua Angustifolia*, crecen en temperaturas que rondan los 20°C a 26°C. De todas maneras el factor más importante en su crecimiento es la humedad del suelo, que se da por las lluvias, las mismas que deberían rondar entre 1000 y 2000mm anuales. (Hidalgo, 2003) Asimismo, su rápido desarrollo se debe a su estructura celular donde se encuentran ciertos elementos que le permiten realizar la fotosíntesis de una manera más efectiva. Conjuntamente, la biomasa que produce es mayor y de mejor calidad, por lo que puede ser mucho más resistente que muchas maderas cosechadas zonas tropicales, haciendo del bambú la elección más acertada para la construcción. (Hidalgo, 1974)

Físicamente todas estas especies crecen con una forma cilíndrica hueca pero de manera ligeramente cónica donde en su base normalmente suele tener diámetro mayor en comparación al extremo superior donde se encuentran las ramas y sus hojas pecioladas. Esta planta se encuentra fraccionada en varios entrenudos por medio de nodos tal y como muestra la Figura 26, los mismos que se caracterizan por ser elementos macizos en forma de placa otorgando la estabilidad necesaria para que con poco diámetro tengan una altura tan elevada, lo que se convierte en un rasgo distintivo de este elemento dentro de la arquitectura. La espesura puede variar según la especie ya que cada una cuenta con características propias las mismas que determinan sus diferentes aplicaciones dentro o no de la arquitectura. Existen especies que podrían llegar a tener un diámetro de hasta 30cm en la zona más gruesa de la planta, que se encuentra ubicada en el segmento más cercano a la base. (Aguilar, 2018)

Sin embargo, generalmente las dimensiones de diámetro para ser utilizadas en la construcción pueden variar entre 10cm y 25cm, pudiendo también ser aplicados bambús con dimensiones diferentes. Así como el diámetro, la espesura de las paredes es otro factor que puede ser diferente en cada especie de bambú, la cual también determina su fuerza y flexibilidad y es un componente que debe ser considerado para su aplicación en especial si va a ser utilizado dentro de la construcción. Estas oscilaciones pueden ir desde los 11 milímetros a los 14 milímetros, pudiendo ser diferentes en algunas ocasiones. (García, Rangel, & Ghavami, Junio, 2012) Al ser cilindros huecos articulados transversalmente por estos nodos solidos se puede obtener un material de grandes dimensiones longitudinales pero con un peso sumamente disminuido. (Figura 27) Además de ligereza el interior hueco del bambú funciona como una cámara de aire la misma que funciona como aislante térmico regulando la temperatura del interior de la construcción, también funciona como barrera contra el sonido por lo que es considerado un aislante acústico natural.



Figura 26 Nodos interiores del bambú seccionado
Fotografía: José Franco (Souza, 2017, para. 3)



Figura 27 Bambú seccionado con su interior hueco
Fotografía: José Franco (Souza, 2017, para. 2)

El bambú cuenta con un sistema radicular que es especial y difiere de los otros tipos de sistemas que se encuentran en general en las plantas, ya que se caracteriza por ser un tipo de raíz densa y fuerte llamada Rizoma, la que permite la absorción de agua y nutrientes para su crecimiento. Los rizomas se pueden clasificar principalmente por el tipo de hábitat en el que se desarrollan además de algunas características físicas que influyen en las capacidades de cada uno de estos sistemas. El bambú se encuentra categorizado en dos grupos que son: Simpodial o Monopodial.

Un rizoma simpodial es corto y grueso, tiende a compactarse ya que es sensible a las heladas debido a que su hábitat natural son las zonas tropicales. Genera brotes laterales los mismos que dan lugar a la formación de nuevos rizomas, no son de carácter invasivo. El género principal de este grupo es la *Bambusa*. Por otra parte el rizoma monopodial difiere del primero debido a que en general se puede encontrar en zonas templadas e incluso en algunos casos soportar temperaturas muy bajas. Tienen un desarrollo acelerado y de dirección horizontal mientras que sus yemas crecen verticalmente para así poder formar un culmo. El género principal de este segundo grupo es *Phyllostachys*. (Lobovikov, Paudel, Piazza, Ren, & Wu, 2007) Asimismo, su sistema radicular genera diversos beneficios, por ejemplo es capaz de evitar la erosión del suelo ya que cuenta con elementos que reducen la circulación del agua de lluvia, en conjunto con la forma en la que se extienden las raíces del bambú, puesto que al crecer de manera horizontal dentro del suelo mientras desarrollan diferentes brotes hace que la planta funcione como anclaje al suelo por lo que tiene la capacidad de sostener la tierra evitando de esta manera los deslizamientos de suelo en especial en zonas propensas a este fenómeno, asimismo, puede ser utilizado para recuperar las cuencas hidrográficas protegiendo los espejos de agua donde mediante la sombra que proporcionan. Los bosques nuevos de bambú tienen la capacidad de reducir hasta un 75% la erosión que se produce en el suelo que se encuentran convirtiéndolo en una de las plantas que más protege el ecosistema.

El bambú es una de planta que proporciona considerables beneficios para el medio ambiente por todas las propiedades antes mencionadas, no obstante, su crecimiento también puede ser sostenible ya que el consumo de agua o energía que necesita para desarrollarse es reducido en comparación con otras plantas, incluso en algunos casos puede crecer sin necesidad de mantenimiento, fuera de zonas destinadas para su cultivo debido a que pueden regenerarse autónomamente. Es una planta muy resistente la cual puede sobrevivir a condiciones extremas, como por ejemplo inundaciones o sequías, sin embargo, cuando se desarrolla en suelos húmedos sus propiedades mecánicas incrementan.

Destaca por ser un material con grandes cualidades estéticas dada principalmente por su coloración, sin embargo cada una de las especies puede presentar ciertas variaciones en lo que se refiere color e incluso mostrar manchas y rayas características de las plantas, permitiendo usarse de manera natural sin necesidad de usar un revestimiento. Por lo general la coloración del bambú puede ayudar a determinar la edad y maduración de la planta. En su etapa más temprana presenta coloraciones más atractivas estéticamente, como verdes o azabaches intensos y uniformes (Figura 28), sin embargo no cuenta con las propiedades o características propicias para ser utilizado en la construcción, pero sí para crear elementos decorativos e incluso como revestimiento. Por otro lado en su etapa más madura va perdiendo color presentando tonos más opacos y con presencia de manchas (Figura 29) pero con grandes propiedades mecánicas siendo la etapa propicia para ser utilizada en estructuras y en la construcción; no obstante en las diferentes etapas de su vida puede ser utilizado para varios fines generando otro tipo de elementos. De todas maneras estas presentaciones otorga un valor agregado de belleza natural a sus construcciones, como fue previamente mencionado en las diferentes especies de bambú, también puede presentarse en tonalidades más oscuras lo que diversifica la posibilidades de diseños que se pueden realizar con este material pudiendo ser combinado entre diferentes especies o incluso con otros materiales.



Figura 28 Bambú en sus primeros años con tonalidades de verde intenso

Fotografía: China Daily (2011, p.1)



Figura 29 Diferentes tonalidades y rasgos estéticos del bambú maduro

Fotografía: BioEcoGeo (2018, para. 1)

2.6. Características Mecánicas del Material

Dentro de la arquitectura uno de los factores más importantes a considerar cuando hablamos de construcciones son las propiedades mecánicas que cada material tiene. Conociendo los aspectos mecánicos se pueden aplicar de mejor manera los materiales en cada una de las edificaciones, cumpliendo con los requisitos necesarios para cada uno de los elementos en una construcción. A lo largo de los años el bambú ha sido comparado con otros materiales en cuanto a sus capacidades mecánicas a la hora de construir; en contraposición con otros materiales se ha establecido las ventajas que conlleva el uso de este material, y aunque muchas veces ha sido comparado fuertemente con la madera debido a que tienen ciertas similitudes físicas y de comportamiento, el bambú tiene propiedades que lo destacan como su estructura morfológica y anatómica, lo que genera gran versatilidad en su uso. A pesar de que la madera y el bambú tienen una forma tubular, en este aspecto la diferencia entre ambos radica en que el bambú tiene una sección hueca, y aunque podría parecer frágil, sus haces vasculares los cuales son fibras longitudinales que se extienden a lo largo de todo el tallo hacen que su resistencia sea mayor. La sección circular ahuecada presenta algunas ventajas estructurales en comparación con secciones macizas o rectangulares de otros materiales. De acuerdo a Janssen el bambú requiere solo el 57% de su masa cuando es usado como viga y solo un 40% cuando es usado como columna. (1988) Por otra parte mientras que en la madera su parte central es la más fuerte, en el bambú cuanto más alejados se encuentran de su centro estos haces se vuelven más fuertes.

Existen diferentes factores que pueden influir en las capacidades mecánicas de un material modificando su resistencia en obra, si bien es cierto el bambú es un material que puede generar grandes beneficios en las edificaciones en las que es aplicado, si no se toman las medidas necesarias para su preservación por mucho que cuente con las propiedades propicias para una construcción se puede ver afectado por diferentes factores, uno de los

cuales en el caso del bambú es el contenido de humedad el cual ha sido analizado en diversos estudios efectuados por O. Hidalgo (2003), Awalluddin et al (2017), Gutierrez Takeuchi (2014), Javadian, Smith, Saeidi (2019), entre otros. La finalidad era determinar la incidencia de esta oscilación de humedad dentro de las capacidades del bambú como elemento constructivo y como puede llegar a afectar sus propiedades de resistencia a esfuerzos de tracción y compresión para así poder predecir su comportamiento.

Visto que el bambú está siendo utilizado cada vez más en la arquitectura, se ha creado la necesidad de establecer normas internacionales que estandaricen los parámetros en los que debe ser utilizado un material, en el caso del bambú como fue previamente mencionado existe la norma ISO 22157 del (2019), que reemplaza la norma ISO 22157-1:2004, la misma que establece una metodología para determinar los esfuerzos admisibles y la resistencia última. La capacidad resistente y el contenido de humedad son de las características más importantes en el bambú, ya que permiten determinar si una pieza se encuentra con las capacidades adecuadas para su aplicación. Generalmente las propiedades mecánicas adecuadas son cuando el bambú mantiene con un contenido de humedad de hasta 15% ya que incluso es menos susceptible a los ataques biológicos hongos e insectos. (Awalluddin, et al., 2017)

“El bambú tiene mejores propiedades mecánicas a lo largo del eje de su fibra que a través de él. Las propiedades microestructurales únicas del bambú natural con respecto a sus propiedades mecánicas lo convierten en un material renovable adecuado para compuestos en aplicaciones de alto rendimiento.” (Javadian, Smith, Saeidi, & Hebel, 2019, p. 2)¹⁵

¹⁵ Bamboo has higher mechanical properties along its fiber direction than across it. The unique microstructural properties of natural bamboo with respect to its mechanical properties make it a suitable renewable material for composites in high performance applications. (Javadian, Smith, Saeidi, & Hebel, 2019, pg.2)

2.6.1. Contenido de Humedad

Inicialmente debe ser establecido el contenido de humedad del bambú ya que puede incidir en las propiedades mecánicas del material. Al ser el bambú un material higroscópico, es decir que absorbe el agua, el contenido de humedad puede producir cambios en sus dimensiones y en su capacidad resistente. Es por eso que es recomendable tener un porcentaje de humedad similar al existente en el lugar donde va a ser aplicado, manteniéndose entre el 10% y el 20% ya que según estudios realizados por diversos autores como Jules Janssen en su tesis (1981) y Oscar Hidalgo en su libro (2003) se determinó que el punto de saturación de las fibras se alcanza en este valor máximo, por lo que dentro de este rango se pueden reducir los cambios en su forma y medidas, para así mantenerlo como un elemento sísmo resistente. (Luna, Takeuchi, Granados, Lamus, & Lozano, 2011)

Para medir el contenido de humedad en el bambú de acuerdo con la norma ISO previamente referida, debe someterse a una serie de procedimientos que forman parte del método gravimétrico¹⁶; por lo que fue necesario cortar secciones circulares, en las cuales se midan diferentes variables, como diámetro y espesor de pared para luego ser pesados y determinar su masa húmeda. Es importante que las muestras (Figura 30) sean tomadas cerca del lugar de la falla las cuales garanticen que el contenido de humedad no cambie; posteriormente se introducen en una estufa para el proceso de secado a una temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, a continuación se registra el peso hasta encontrar un valor constante que no exceda el 0.01g en las diferencias de las determinaciones sucesivas de la masa, de esta manera se puede considerar el proceso de secado terminado. “Un material no está seco si el contenido de humedad es superior al 30% del agua libre; es decir, superior al punto de saturación de las fibras”. (Tito Morales Pinzón, 2012)

¹⁶ La gravimetría es un método analítico cuantitativo el cual determina la cantidad de sustancia midiendo el peso de la misma con una balanza analítica, esto hace que este método sea uno de los más precisos.

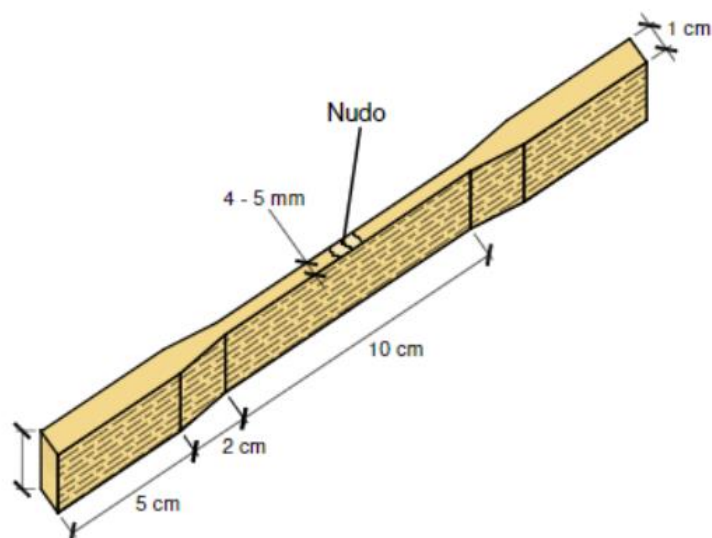


Figura 30 Características de la probeta

Fuente: Mateo Gutiérrez y Caori Takeuchi (2014, p. 247)

Cuando el secado ha sido completado se mide el espesor de la pared, el ancho de la sección y su diámetro. La siguiente fórmula (1) que permite calcular la pérdida de masa de la muestra para determinar con exactitud el contenido de humedad del bambú:

$$CH = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

- CH: Contenido de Humedad (%)
- m: Masa de la muestra antes del secado
- m_0 : Masa de la muestra después del secado

Debe considerarse que este estudio debe ser aplicado para cada una de las especies de bambú en cada aplicación que se efectúe, ya que al ser un material natural los resultados pueden variar en base a diferentes condicionantes como lo son la especie, la edad, fragmento del tallo, el clima donde será utilizado, entre otras. En las pruebas realizadas a la especie *Dendrocalamus Asper* en el artículo “*Mechanical Properties of Bamboo Through*

Measurement of Culm Physical Properties for Composite Fabrication of Structural Concrete Reinforcement” (2019) se evaluaron diferentes muestras de esta especie, las cuales muestran variaciones tanto en diámetro como en espesura de sus paredes. Estos ejemplares fueron expuestos a dos condiciones de humedad relativa para medir su comportamiento ante las mismas, la primera fue a 20° C con 65% de humedad relativa mientras que la segunda fue a 45° C con 80% de humedad relativa. El efecto que tiene la segunda condicionante es el aumento equitativo del contenido de humedad en todas las muestras, incidiendo de manera más rápida en los culmos con diámetros inferiores a 13mm.

Ya que el bambú mantiene una estructura jerárquica, su matriz de lignina¹⁷ es la encargada de mantener enlaces de hidrogeno con el agua, por lo tanto los tallos de menor diámetro que cuentan con paredes más delgadas tienen un porcentaje menor de lignina por lo que no tienen las mismas capacidades termoestables ante la humedad relativa como los tallos de mayores dimensiones. Esto afecta directamente en la variación del contenido de humedad teniendo mayor incidencia en culmos pequeños y no excesivamente en aquellos de grandes dimensiones. (Javadian, Smith, Saeidi, & Hebel, 2019)

También es importante considerar que la parte del tallo que se utiliza también influye en la incidencia del contenido de humedad ya que en la sobrebasa (parte superior del tallo) se presenta una menor variación de resultados, esto se debe principalmente a la composición natural del material donde en la parte inferior se acumula el tejido parenquimático¹⁸ aumentando su contenido de agua entre las células, es por eso que cuando se ultrapasa el punto de saturación de las fibras, la cepa (parte inferior del tallo) pierde su resistencia ya que este tejido se ve directamente afectado por la humedad. Estos resultados fueron similares en

¹⁷ Sustancia natural que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia.

¹⁸ Es un tejido vegetal esponjoso, y que se encuentra en todas las plantas el cual está compuesto fundamentalmente por células alargadas las cuales son encargadas de llevar los nutrientes como gránulos de almidón.

el estudio “*Mechanical Properties of different Bamboo Species*” (2017), el mismo que analizó cuatro diferentes especies de bambú (*Dendrocalamus Asper*, *Bambusa Vulgaris*, *Gigantochloa Scortechinii*, *Schizostachyum Grande*). Todas estas especies fueron examinadas en un intervalo de tiempo de cinco meses, para observar cual es el cambio que existe en las propiedades del bambú en este lapso temporal. Los efectos encontrados en cada una de las especies, como se puede ver en la Tabla 1, muestran que el contenido de humedad de todas las muestras en general disminuyó, además de que la resistencia a compresión es mayor en los ejemplares tomados de la parte superior del culmo con respecto a las zonas inferiores desde el primer mes, la misma que aumento al quinto mes en casi todas las muestras que fueron evaluadas.

Especies	Zona del tallo	Promedio de Fuerza a Compresión N/mm ² (1er Mes)	Promedio de Contenido de Humedad %	Promedio de Fuerza a Compresión N/mm ² (5to Mes)	Promedio de Contenido de Humedad %
<i>Dendrocalamus Asper</i>	Superior	68.05	20.83	73.65	15.85
	Central	61.34	20.57	59.84	17.91
	Inferior	60.23	18.32	53.08	18.44
<i>Bambusa Vulgaris</i>	Superior	76.52	15.29	78.74	14.01
	Central	66.09	17.17	78.67	15.10
	Inferior	60.26	21.43	66.43	19.20
<i>Gigantochloa Scortechinii</i>	Superior	69.02	16.09	68.62	15.60
	Central	57.16	20.29	67.11	16.95
	Inferior	48.26	22.38	59.4	18.09
<i>Schizostachyum Grande</i>	Superior	30.42	23.36	40.03	16.87
	Central	28.32	19.67	31.70	17.98
	Inferior	27.05	20.44	25.77	19.63

Tabla 1 Contenido de Humedad y Fuerza a Compresión del Bambú

Fuente: *Mechanical Properties of different Bamboo Species* (Awalluddin, y otros, 2017)

Con respecto a estudios realizados y en base al CH¹⁹ del bambú, se determinó que sus propiedades de resistencia, en especial lo que se refiere a la tensión paralela, muestran poca oscilación cuando se mantienen dentro del rango que existe entre el contenido de humedad de equilibrio y el punto de saturación de las fibras. No es posible establecer un solo punto de equilibrio debido a que este está determinado por el agua higroscópica que pierde el material hasta encontrarse en equilibrio con la humedad relativa del ambiente, donde estos valores pueden variar al encontrarse en diferentes condiciones climáticas, sin embargo, suele ser aplicado en sistemas estructurales en zonas donde este rango de humedades se mantiene dentro de los niveles propicios para no verse afectado por estas variantes, manteniéndose entre 10% y 20%. Así también existen características físicas que se ven afectadas por el contenido de humedad, como lo son el peso y la densidad²⁰ específica, los cuales, con la pérdida y ganancia de agua fluctúan en relación a las condiciones que se encuentra; de la misma manera las dimensiones del material se pueden ver afectados con el cambio del CH ya que la ganancia o pérdida de agua higroscópica hace que la pared celular se expanda y se contraiga respectivamente. (González M. G., 2011) El contenido de humedad al estar directamente relacionado con la cantidad de agua que posee, hace que en el caso del bambú su color cambie, es decir mientras menor es el agua que se encuentra dentro de sus paredes, su color será más opaco.

2.6.2. Resistencia a Compresión

El bambú al ser utilizado en arquitectura muchas veces presenta situaciones en las que se ve sometido a diferentes cargas a compresión, para las cuales debe tener la resistencia suficiente que le permita implementarse como material estructural, es por eso que las normativas internacionales establecen un procedimiento que permita calcular estos valores, para así evitar que se produzcan fallas de compresión (Figura 31). Al igual que con el

¹⁹ Se refiere a Contenido de Humedad

²⁰ La densidad básica del bambú oscila entre 0.5 g/cm² a 0.9 g/cm³ desde la parte inferior a la superior.

contenido de humedad es necesario medir los valores respectivos a la resistencia de compresión del bambú, en base a diferentes ejemplares tomados de distintas partes del tallo para poder establecer cuáles son las zonas más fuertes del culmo. Para comprobar la resistencia que presentan las diferentes especies de bambú con cargas a compresión, se realizan análisis que nos permiten determinar cuál es la deformación que existe en el material cuando está expuesto ante un esfuerzo de compresión.

“La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.” (Lopez, Rivera, & Urbina, 2009, p. 46)

Dentro de la construcción, el bambú puede ser utilizado en columnas, vigas y soportes los cuales pueden estar comúnmente sometidos a cargas de compresión paralela de las fibras. A lo largo de los años y con el uso que se ha dado a este material se ha podido establecer que el bambú tiene una resistencia relativamente alta cuando se trata de esfuerzos a compresión, siempre y cuando las condiciones sean las propicias, ya que como fue previamente mencionado, existen otros factores, incluyendo la humedad y la dimensión del elemento, que pueden influir en las propiedades de un material. (Takeuchi & González, 2007)

“La fuerza de compresión de todo el culmo redondo se ve reforzada por el eficiente "diseño" del culmo: una columna circular hueca con sus fibras más fuertes colocadas en el borde exterior con nudos rígidos colocados a intervalos regulares dentro del vacío que se sujetará contra ciertos modos de pandeo. La resistencia al corte es relativamente baja, y se vuelve bastante crítica debido a las paredes relativamente delgadas del tallo y la acción del agrietamiento muy frecuente de los tallos, que reduce en gran medida la resistencia al corte de una sección. El único factor favorable

son los nodos que actúan como "estribos" que detienen la progresión de cualquier agrietamiento o división." (Trujillo, 2007, pp. 25-26)²¹

De acuerdo con O. Hidalgo (2003), la mayoría de las especies muestran valores mayores en la parte superior del culmo en lo que se refiere a fuerza de compresión, debido a que mientras más fuertes son las fibras y más área utilizan, mayor resistencia presentan. Sus resultados se basan en el análisis de 76 diferentes especies de Guadua, el cual estableció que no solo la parte donde es extraída la pieza influye en su resistencia a compresión, sino también la edad del tallo. Se encontró que la resistencia a compresión máxima fue 70,5 N/mm², la misma que fue alcanzada por parte de un tallo de la zona superior con 5 años de edad, mientras que su resistencia mínima de 26,1 N/mm² se encontraba en un tallo de tan solo un año de edad. Hidalgo afirma que la forma más eficaz de establecer la resistencia a compresión es mediante el análisis de piezas con 1,2 y 3 metros de longitud, esto se debe a que estas son las medidas más utilizadas en las construcciones. (Hidalgo, 2003) A pesar de tener una buena resistencia a compresión, se puede generar un pandeo por lo que es mejor utilizar elementos constructivos compuestos por más de un tallo de bambú. La fuerza a resistencia del bambú puede llegar a ser hasta el doble de la del concreto. (Nurdiah, 2016)

Los nudos que se encuentran en los culmos del bambú pueden generar grandes ventajas en especial en la estabilidad, de todas maneras no es un factor crucial en lo que se refiere a la resistencia a compresión ya que los estudios realizados por Takeuchi y Gonzales (2007) demuestran que la presencia de estos nudos en las probetas estudiadas no incrementaban esta resistencia, sino que se mantenía esta propiedad a pesar de no tener nudos. Podría pensarse que las fisuras generadas durante el proceso de secado al medio ambiente tienen incidencia en

²¹ *"Compression strength of the whole round culm is enhanced by the efficient 'design' of the culm: a hollow circular column with its strongest fibers placed on the outer edge with stiff nodes placed at regular intervals within the void that will brace against certain buckling modes. Shear strength is relatively low, and becomes quite critical due to the relatively thin walls of the culm and the action of the all too frequent cracking of culms, that greatly reduces the shear strength of a section. The only favorable factor is the nodes that act as 'stirrups' stopping the progression of any cracking or splitting."* (Trujillo, 2007, pp. 25-26)

la resistencia a compresión paralela, pero según estos estudios la presencia de estas grietas no interfiere con las capacidades de resistencia a compresión del bambú. Este estudio al igual que muchos otros, coincide en que el esfuerzo máximo a compresión aumenta con la altura de donde es extraída la pieza. “Se encuentran como valores de esfuerzo admisible 9 MPa para análisis con carga muerta²², 11MPa para análisis con carga muerta más carga viva²³, y 13MPa para análisis con carga muerta más carga viva y viento” (Takeuchi & González, 2007)



Figura 31 Ejemplo de fallas presentadas en el bambú por esfuerzos a compresión

Fuente: Adaptado de “*Mechanical properties of different bamboo species*” (Awalluddin, y otros, 2017, p. 6)

2.6.3. Resistencia a Tracción

Al igual que en los estudios realizados para otras propiedades mecánicas en lo que se refiere a la resistencia a tracción del bambú es necesario tomar muestras que provengan de distintas partes del tallo para determinar las características que poseen y el comportamiento existente cuando es ejercida una fuerza a tensión, para establecer los rangos que soporta antes

²² Se refiere a las cargas verticales constantes a las que se encuentra sometido un cuerpo, incluyendo el propio peso y el de los elementos permanentes.

²³ Se refiere a todas las cargas verticales variables, como mobiliario, personas, equipamiento, etc.

de presentar una falla (Figura 32); de la misma manera, en la resistencia a tracción también entran factores que pueden presentar cambios en el comportamiento del material como la altura, densidad, masa volumétrica, espesura de las paredes, entre otras. La resistencia a tracción funciona cuando una fuerza externa se ejerce de perpendicularmente a la sección transversal del tallo, lo que hace que se produzca un alargamiento de manera longitudinal haciendo que la sección transversal disminuya. (Lopez, Rivera, & Urbina, 2009)

Es recomendable también analizar muestras que tengan nudos en ellas ya que al ser considerados como interrupción de las fibras donde algunas de ellas pasan a formar parte de los nudos, y a diferencia de la resistencia a compresión que se ve poco influenciada por la presencia de nudos, en el caso de la resistencia a tracción esta resulta en una menor resistencia por la discontinuidad de las fibras, esto se puede ver en la Tabla 2, donde los elementos de *Guadua Angustifolia* Kunth que no contenían nudos presentaron valores más elevados. (González M. G., 2011)

Parte del Tallo	Resistencia a la Tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad a la Tracción (GPa)
Base sin Nudo	93.38	16.25
Base con Nudo	69.88	15.70
Centro sin Nudo	95.80	18.10
Centro con Nudo	82.62	11.10
Superior sin Nudo	115.84	18.36
Superior con Nudo	64.26	8.00

Tabla 2 Valores de Resistencia a Tracción en muestras con y sin Nudo

Fuente: Valores obtenidos por Mateo González (2011)

“Se encontró que la fuerza a tensión en los nudos es solamente el 80% de la fuerza que existe en los internodos” (Arce, 1993, p. 10)²⁴ Además de los nudos, en ciertas situaciones donde el diámetro del culmo es mayor éste se puede ver afectado cuando su diámetro incrementa haciendo que tanto su resistencia a tracción, como su densidad específica disminuyan; esto se debe a que a partir de ciertas dimensiones del diámetro, la densidad de las fibras influye directamente en esta propiedad mecánica. Los resultados de diferentes estudios realizados a varias especies de bambú determinan que la zona donde es obtenida la pieza de bambú influye en su capacidad de compresión, ya que la zona superior cuenta con menos tejido parenquimático, y la densidad de sus fibras aumenta resultando en una mayor resistencia, en especial en lo que se refiere al esfuerzo último a tracción. (Gutiérrez-González & Takeuchi-Tam, 2014)

A pesar de que el procedimiento para determinar la resistencia a tracción del bambú no es complicado, se debe tener en cuenta que la muestra debe estar libre de cualquier agente externo que pueda generar que la sujeción por parte de la máquina se interrumpa. La norma ISO 22157 determina que es necesario el uso de una máquina que ejerza una fuerza continua durante todo el ensayo, la cual sujete la probeta por sus extremos para que la carga se aplique a lo largo de su eje, con un movimiento de cabezal móvil a la velocidad de 0.01mm/s

Es importante que la sección transversal de la probeta tenga con exactitud 0.1mm para que se puedan obtener resultados más eficaces. Normalmente se utiliza piezas que tengan los extremos más anchos y vaya disminuyendo hacia la parte central, como se puede ver en la Figura 30, de todas maneras existen estudios realizados en muestras cilíndricas. Al utilizar la primera forma de la muestra se debe garantizar que la falla sea producida en el fragmento que

²⁴ “*The tensile strength at the nodes was found to be only 80% of the strength at the internodes*” (Arce, 1993, p. 10)

minimice la concentración de esfuerzos. (ISO22157, 2019) La siguiente fórmula (2) basada en la norma ISO 22157 permite determinar con exactitud la resistencia última a tracción del bambú:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (2)$$

- σ_{ult} : Esfuerzo ultimo a tensión (MPa: N/mm²)
- F_{ult} : Es el valor de la carga aplicada a la que falla la muestra (N)
- A : Es el área de la sección transversal de la muestra (mm²)



Figura 32 Ejemplo de fallas presentadas en el bambú por esfuerzos a tracción

Fuente: Adaptado de “*Mechanical properties of different bamboo species*” (Awalluddin, y otros, 2017, p.9)

El resultado en ciertos estudios muestra que la resistencia a tensión en diferentes especies de bambú, generalmente muestra una disminución en las piezas que fueron tomadas de la parte central, mientras que aquellas piezas tomadas de la parte superior o de la base

mostraron una resistencia similar, como se puede ver en la Tabla 3, existen especies que cuentan con menor resistencia a tracción en comparación con otras especies de bambú. Su resistencia a la compresión equivale a la del hormigón, mientras que a la tracción, alcanza los números del acero. (Souza, 2017) Los efectos que producen tanto las fuerzas de compresión como de tracción se pueden ver en la Figura 33.

Especies	Zona del tallo	Resistencia a tracción promedio N/mm ²
<i>Dendrocalamus Asper</i>	Superior	232.80
	Central	200.75
	Inferior	232.31
<i>Bambusa Vulgaris</i>	Superior	231.67
	Central	233.98
	Inferior	230.63
<i>Gigantochloa Scortechinii</i>	Superior	187.67
	Central	144.92
	Inferior	176.22
<i>Schizostachyum Grande</i>	Superior	149.20
	Central	114.93
	Inferior	113.01

Tabla 3 Valores promedio de la resistencia a tensión en diferentes especies y zonas del tallo

Fuente: Adaptado de “*Mechanical properties of different bamboo species*” (Awalluddin, y otros, 2017)

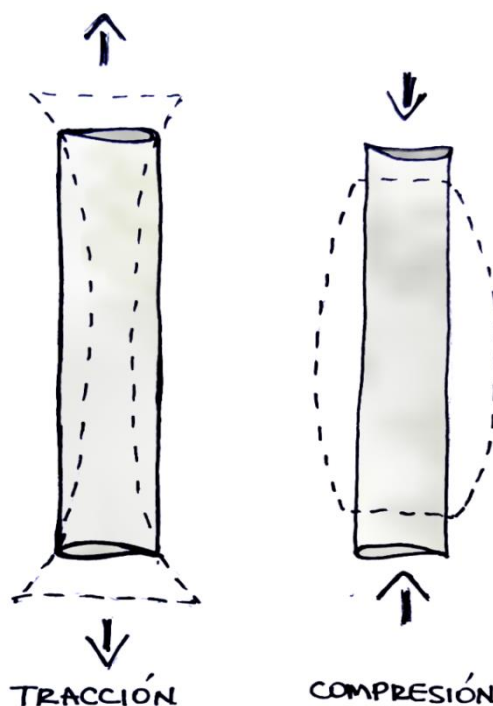


Figura 33 Fuerzas aplicadas a tracción y compresión

Fuente: Elaboración Propia

“La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela a la fibra [...] el factor de seguridad para calcular los esfuerzos admisibles a tensión, debe ser mayor que el utilizado para calcular los esfuerzos admisibles de un elemento sometido a compresión paralela, el cual presentará una falla relativamente dúctil.” (González M. G., 2011, pp. 46-47)

2.6.4. Módulo de Elasticidad

Como ha sido previamente establecido el bambú es un material con muchas propiedades beneficiosas tanto con el medio ambiente como material estructural, entre una de estas ventajas se destaca el positivo comportamiento que presenta frente a movimientos telúricos, esto se debe a que absorbe energía así también como la elasticidad que tiene, la misma que le permite oscilar en caso de que se presente un sismo.

“El ladrillo y el concreto son materiales inflexibles lo que les hace altamente susceptibles a las ondas de choque sísmicas, [...] Las varillas de bambú, por otro lado, son muy flexibles y livianas, lo que hace que incluso las construcciones grandes se comporten de una manera “Sismo indiferente” (Stamm, 2001, p. 5)²⁵

Cuando hablamos del módulo de elasticidad de un material nos referimos al grado de rigidez, y el comportamiento que presenta para una fuerza ejercida en una dirección determinada. Es posible determinar el módulo de elasticidad tanto para cargas a compresión como a tracción, ya que en base a estas fuerzas ejercidas se genera una deformación de los elementos. Este módulo es el resultado de la división el esfuerzo efectuado por la deformación unitaria del material. En el caso del módulo de elasticidad, el análisis también suele ser efectuado en probetas con forma de hueso, es decir que mantienen una dimensión

²⁵ “Bricks and concrete are inflexible materials which makes them highly susceptible to seismic shock waves [...] Bamboo rods, on the other hand are very flexible and very light, which makes even large constructions behave almost “earthquake indifferent”. (Stamm, 2001, p. 5)

mayor en los extremos de la pieza, de todas maneras el estudio que determina la elasticidad es complejo por lo que es común que presente variables.

“Su relativamente bajo módulo de elasticidad implica que se puede utilizar para hacer estructuras relativamente flexibles. Las estructuras flexibles tienen períodos naturales más largos. Esto en general significa una respuesta reducida a las aceleraciones del suelo. Sin embargo, la flexibilidad también tiene sus inconvenientes, ya que las fallas en la utilidad y los efectos secundarios pueden ser más significativos debido al aumento de la deriva. Es importante distinguir aquí que la flexibilidad no equivale a la ductilidad²⁶.” (Trujillo, 2007, p. 28)²⁷

Al igual que las otras propiedades mecánicas, no es posible establecer un solo valor universal para el módulo de elasticidad de un material, ya que entran en juego otros factores que varían como por ejemplo la especie, la edad, la altura, la densidad, entre otras. En el procedimiento para calcular el módulo de elasticidad del material se hace uso de un extensómetro el cual permite determinar cuáles son las curvas de deformación que sufre el material cuando se le somete a una carga determinada.

En el caso del módulo de elasticidad a flexión se toma en consideración cual es el diámetro de la muestra, así como el espesor de sus paredes, debido a su composición morfológica jerárquica. Por otra parte los culmos con diámetros inferiores mantienen el volumen de lignina similar lo que hace que su módulo de elasticidad se mantenga. (Javadian, Smith, Saeidi, & Hebel, 2019) Sin embargo para determinarlo la siguiente fórmula (3), basada en la norma ISO 22157 permite determinar cuál es el módulo de elasticidad del bambú.

²⁶ La ductilidad es la capacidad que los materiales tienen para deformarse.

²⁷ “*Its relatively low modulus of elasticity implies that it can be used to make relatively flexible structures. Flexible structures have longer natural periods. This in general means a reduced response to ground accelerations. However, flexibility has its drawbacks too, as serviceability failures and secondary effects (i.e. P-delta) may be more significant due to the increased drift. It is important to differentiate here that flexibility does not equate to ductility.*” (Trujillo, 2007, p. 28)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

- E: Modulo de Elasticidad
- σ : Esfuerzo ultimo a tensión
- ε : Deformación Unitaria

Existen especies más aptas para la construcción mientras que otras, a pesar de ser del mismo género y compartir algunas cualidades, son más adecuadas para otro tipo de trabajos como son las artesanías, muebles, decoración, entre otros.

“La caña guadua sobresale entre otras especies de su género por las propiedades estructurales de sus tallos, 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, considerando que la capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, hace que esta especie de bambú sea un material ideal para construcciones sismo resistente.” (Duarte, Agosto 2016, p. 2)

2.6.5. Módulo de Ruptura

El módulo de ruptura es conocido también como fuerza de flexión, la misma se encarga de determinar cuál es la resistencia a flexión que puede soportar antes de que se produzca una falla (Figura 34). Cuando nos referimos al módulo de ruptura, estamos hablando de todos los esfuerzos máximos ocurridos en el material en el momento que cede, basándose en el área original en el periodo que se produce la ruptura del mismo. El módulo de ruptura en el culmo de bambú está principalmente relacionado con las propiedades de tensión transversales, ya que las fibras se encuentran direccionadas de manera longitudinal lo que hace que la sección

transversal sea la más vulnerable, es por eso que es lugar donde ocurre la falla nos da información importante ya que estas fracturas ocurren en base a una flexión específica en la pared del culmo. Al estudiar el material se establece que cuanto mayor grosor de pared tiene, el módulo de ruptura aumenta, esto está relacionado con la variación de la densidad de las fibras según su espesor. (Sharma, Harries, & Ghavami, 2012)

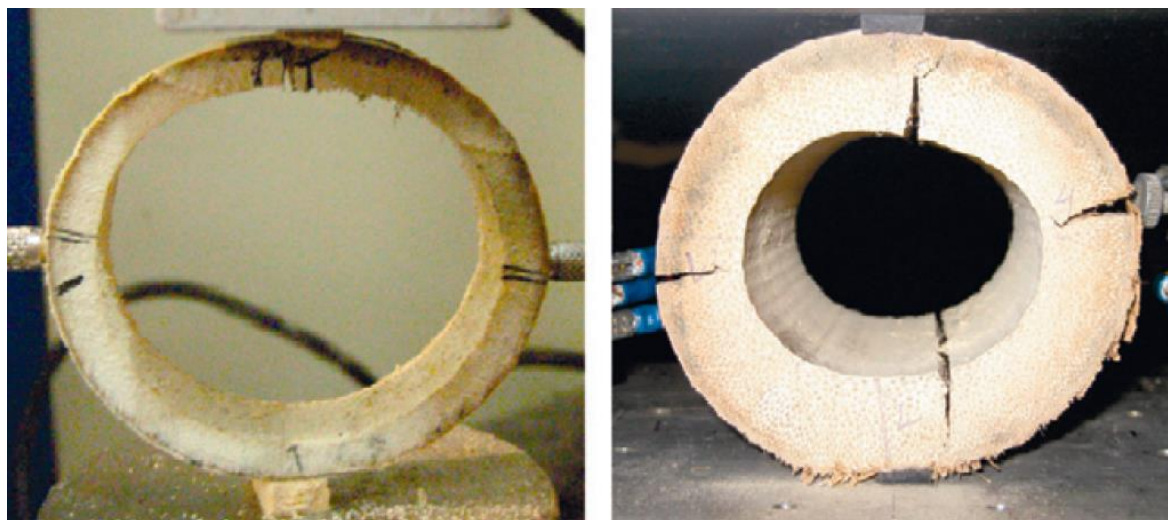


Figura 34 Fallas presentadas por esfuerzos a flexión en el culmo de Bambú

Fuente: *Methods of determining transverse mechanical properties of full-culm bamboo* (Sharma, Harries, & Ghavami, 2012, p. 633)

Para determinar su resistencia, se emplean procedimientos estándar que generalmente están basadas en las ASTM²⁸ y que en este caso pueden ser efectuados por diferentes pruebas que consisten en ejercer carga sobre la pieza; una de las más comunes es la prueba de carga en un punto central de la longitud del tramo, ya que aquí la resistencia a flexión es mayor ya que en este punto es donde generalmente se encuentra la tensión máxima. También existen pruebas con dos puntos de carga a flexión, aplicados en una pieza longitudinal donde la mitad de la carga es aplicada en cada tercio de la longitud total, en la cual el módulo de ruptura puede ser menor pero presenta datos más fiables.

²⁸ *American Society for Testing and Materials*, por sus siglas en inglés, es la Sociedad Americana para pruebas y materiales, la cual se encarga de establecer normas técnicas para diferentes materiales.

“La ventaja de una prueba de flexión de dos puntos sobre una prueba de flexión de punto central es que un área más grande de la muestra está sujeta a tensión máxima, a diferencia de la prueba de flexión de punto central, donde la tensión máxima se aplica a una ubicación aislada. Por lo tanto, la probabilidad de que exista una grieta o falla entre dos soportes de carga será mayor y los resultados serán más confiables en una prueba de flexión de dos puntos.” (Javadian, Smith, Saeidi, & Hebel, 2019, p. 4)²⁹

Cuando hablamos del contenido de humedad de un material, fue establecido que el mismo puede influir en las capacidades mecánicas de los mismos, en el caso de módulo de ruptura, los factores que tienen mayor incidencia en su resistencia para que no se produzca el corte son el contenido de humedad, la dimensión de su diámetro y la espesura de sus paredes, así como también se ve directamente influenciado por sus valores de resistencia, tanto a tensión como a compresión así también como su elasticidad (Tabla 4). Podría incluso llegarse primero al punto de ruptura antes que a la falla de tracción, por lo que hay que tomar en consideración este valor para establecer su resistencia. (González, Montoya, & Bedoya, 2007)

“El mayor módulo de ruptura y la mayor capacidad de deformación del anillo interno indican un menor módulo de elasticidad que refleja la deformación de las células del parénquima. En comparación con el anillo externo, el módulo de elasticidad más alto refleja la rigidez de la capa externa del bambú.” (Sharma, Harries, & Ghavami, 2012, p. 635)³⁰

²⁹ “A two-point flexural test was carried out in this study. The advantage of a two-point flexure test over a center-point flexure test is that a larger area of the sample is subjected to peak stress—unlike the center-point flexure test, where the peak stress is applied to an isolated location. Therefore, the probability that any crack or flaw exists between two loading supports will be higher and the results will be more reliable in a two-point flexure test.” (Javadian, Smith, Saeidi, & Hebel, 2019, p. 4)

³⁰ “The higher modulus of rupture and higher strain capacity of the inner ring indicates a lower modulus of elasticity which reflects the deformation of the parenchyma cells. In comparison to the outer ring, the higher modulus of elasticity reflects stiffness of the outer layer of the bamboo” (Sharma, Harries, & Ghavami, 2012, p.635)

Especies	Internudos de la parte basal	Módulo de Elasticidad N/mm ²	Módulo de Ruptura N/mm ²	Fuerza de Compresión N/mm ²	Fuerza a Tracción N/mm ²
<i>Dendrocalamus Giganteous</i>	1	17,2	180	60,2	180
	3	12,2	170	61,9	190
	5	14,7	180	64,0	180
	7	13,0	280	64,6	190
	Promedio	14,3	180	62,7	190
<i>Dendrocalamus Asper</i>	1	12,2	160	63,9	210
	3	14,9	170	59,2	200
	5	12,9	160	62,2	220
	7	12,3	150	56,6	210
	Promedio	13,1	160	60,5	210
<i>Gigantochloa Robusta</i>	1	9,4	130	53,3	190
	3	9,2	125	51,0	170
	5	10,9	135	51,1	180
	7	9,7	130	53,0	200
	Promedio	9,8	130	52,1	190
<i>Bambusa Vulgaris</i>	1	6,1	100	48,4	140
	3	7,1	110	44,3	110
	5	8,8	110	47,5	130
	7	8,3	120	41,7	130
	Promedio	7,6	110	45,5	132

Tabla 4 Propiedades Mecánicas en la parte baja del culmo de diferentes especies de bambú

Fuente: Valores aproximados de Oscar Hidalgo (2003)

“El bambú es una fibra extremadamente fuerte con el doble de resistencia a la compresión que el hormigón y aproximadamente la misma relación resistencia / peso del acero en tracción. Además, las pruebas han demostrado que la forma del bambú al ser un tubo hueco le da un factor de resistencia de 1.9 veces sobre un tubo sólido equivalente. La razón es que en una viga, las únicas fibras que hacen el trabajo son aquellas en la parte superior (Compresión) e inferior (Tracción); el resto de la masa es peso muerto.” (Hunnarshala, 2014, p. 16)³¹

³¹ “Bamboo is an extremely strong fiber with twice the compressive strength of concrete and roughly the same strength to weight ratio of steel in tension. In addition, testing has shown that the shape of bamboo is hollow tube gives it a strength factor of 1.9 times over an equivalent solid pole. The reason being that in a beam, the only fibers doing the work are those in the very top (Compression) and bottom (Tension). The rest of the mass is dead weight.” (Hunnarshala, 2014, p. 16)

2.7. Resumen del Capítulo

En definitiva el bambú es un material muy versátil, es por eso que puede ser encontrado en todos los continentes con excepción de Europa y Antártida además de que puede ser combinado con diferentes materiales como tierra, madera, concreto, entre otros. En lo que se refiere a construcción son utilizadas las especies que forman parte del grupo de los leñosos ya que cumple con las características más propicias para este fin. Debido a que presenta innumerables ventajas cuando es utilizado como elemento constructivo, fueron creados varios manuales, cursos en base a este material e incluso una bienal basada completamente en bambú. Otra de las ventajas que tiene el bambú es su calidad estética, ya que como fue establecido, presenta diferentes tonalidades tanto en tonos amarillentos como azabaches incrementando sus posibilidades en la construcción. Asimismo su flexibilidad y resistencia se deben principalmente a los nodos interiores que se encuentran ubicados en todo el culmo, los mismos que otorgan capacidades mecánicas destacables con la ventaja que ser natural y ligero.

En base a la bibliografía estudiada es importante destacar que las propiedades mecánicas del bambú son variables en base a diferentes factores. Estos valores pueden cambiar incluso en una misma especie ya que en ellas inciden variables como el clima, la edad, el lugar donde fue cultivado, el tratamiento otorgado, entre otros; es por eso que es imprescindible que sean realizados estudios previos en cada uno de los proyectos de arquitectura que utilicen el bambú como elemento constructivo.

Así también es importante mantener un bajo contenido de humedad en los tallos de bambú, con el objetivo de mantener un comportamiento mecánico adecuado al ser utilizado en una construcción. Tiene destacables propiedades en lo que se refiere a compresión y tracción, con la ventaja de ser un material natural y de rápida renovación, de todas maneras cada especie tiene diferentes capacidades las que determinan cual puede ser su uso en la

arquitectura o en otros campos. Sus nodos interiores permiten que su módulo de elasticidad sea bajo lo que convierte al bambú en un material ideal para ser utilizado en construcciones sismo-resistentes ya que es ligero y resistente. Asimismo, la combinación de estos nodos con las fibras longitudinales de sus tallos, disminuyen la probabilidad de que las cizalladuras se prolonguen a lo largo del culmo generando una mayor resistencia a tracción.

3. EL BAMBÚ EN LA CONSTRUCCIÓN

El bambú ha estado presente en el planeta desde el principio de los tiempos, siendo hasta la actualidad parte integral de la humanidad. A lo largo de la historia se le ha dado innumerables usos al bambú, uno de los más destacados es su uso como elemento constructivo dentro de la arquitectura, donde se han podido crear desde estructuras primitivas hasta estructuras modernas y complejas. En la antigüedad, con la falta de herramientas, las viviendas o cualquier tipo de estructura debía ser creada por el hombre de forma artesanal, es por eso que la morfología del bambú y su disponibilidad otorgaban esta posibilidad haciendo de este uno de los recursos más valiosos. Con la aparición de nuevas tecnologías, también se han creado nuevas técnicas con bambú, sin embargo al ser un material natural se siguen utilizando de gran manera las técnicas vernáculas y tradicionales las mismas que permiten trabajar el bambú de manera fácil y rápida. Como fue previamente establecido el bambú puede ser encontrado en casi todos los continentes a excepción de Europa y la Antártida, por lo que al encontrarse en diferentes partes del planeta se han creado diferentes tipologías constructivas ligadas a la cultura local, al clima y a las especies endémicas. Sin embargo también existen sistemas generales que son utilizadas a nivel mundial en especial en lo que se refiere a uniones y tratamiento del material.

Con la aparición de nuevos elementos constructivos el uso del bambú en algunas zonas se fue perdiendo para ser reemplazado por materiales como el hormigón y acero. No obstante existen zonas principalmente en Asia y Latinoamérica, donde el uso de este material se sigue manteniendo primordialmente por su fácil acceso así como por su bajo costo, pero también por todo lo que significa culturalmente este material para la gente local, siendo el bambú uno de sus recursos naturales más valiosos. Previamente fueron establecidas las múltiples ventajas del bambú, sin embargo, para ser un material constructivo con las propiedades mecánicas adecuadas debe tener un correcto tratamiento previo, de lo contrario al ser un elemento natural puede verse afectado por diferentes tipo de plagas y hongos.

3.1. Proceso de Tratamiento

El bambú al ser un material natural es susceptible a sufrir ataques biológicos, tanto por hongos, insectos y otros tipos de microorganismos, por lo que es importante realizar un proceso de tratamiento para protegerlo de todas estas amenazas y mantener intactas todas sus características. Es crucial que el tratamiento de la guadua sea realizado de la forma correcta, ya que de esta manera se garantiza que las piezas de bambú no pierdan propiedades mecánicas durante este proceso, lo que asegura su durabilidad incluso sobrepasando los 50 años de vida. Ya que es un material natural es importante que el tratamiento otorgado sea amigable con el medio ambiente, debido a que por sí solo el bambú genera considerables beneficios ambientales, manteniendo de esta manera su huella de carbono³² baja. Este proceso abarca una serie de pasos desde la elección de materiales que cumplan con las condiciones propicias hasta su corte, tratamiento de preservación hasta llegar a su secado.

3.1.1. Selección y Corte de los Culmos

Para garantizar que el bambú utilizado en la construcción tenga las propiedades propicias para su uso, deben ser utilizados tallos que cuenten con las características apropiadas. Para empezar es importante que sean aplicados culmos que estén maduros (Figura 36) por lo que no pueden ser utilizados aquellos que tengan menos de 3 años (Figura 35) ya que antes de este periodo no cuentan con las propiedades mecánicas necesarias para ser utilizados como elementos estructurales pero sí para otro tipo de funciones como se puede ver en la Figura 38; además al ser culmos jóvenes la cantidad de almidón que contienen los hacen propensos a los ataques de hongos e insectos los cuales debilitan los tallos reduciendo su resistencia. Tampoco es recomendable usar tallos sobre maduros ya que no cuentan con la misma resistencia (Figura 37) (Hidalgo, 1981)

³²“La huella de carbono es una medida del impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente. Se determina según la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero producidos y se mide en unidades de dióxido de carbono.” **Fuente especificada no válida.**



Figura 35 Tallo de bambú tierno

Fotografía: Jorge Morán Ubidia (2015, p.16)



Figura 36 Tallo de bambú maduro

Fotografía: Jorge Morán Ubidia (2015, p.15)



Figura 37 Tallo de bambú sobre maduro

Fotografía: Jorge Morán Ubidia (2015, p.15)

Para realizar su corte se debe utilizar un hacha o un machete, también es recomendable que el corte no sea efectuado por debajo del segundo nodo, o a su vez por encima de 300mm ya que eso puede comprometer sus cualidades e impedir la correcta regeneración del tallo, efecto que se produce debido a que es una planta perenne. Para generar un rendimiento constante de las cosechas, una estrategia es mantener un conjunto de tallos maduros sin ser cortados ya que esto mantiene la vitalidad del bosque y de su suelo, además el retener hojas para acolchar, haciendo que su sílice endurezca los nuevos tallos.



Figura 38 Diferentes usos del bambú según su edad

Fuente: Oscar Hidalgo López (1981, p.1)

Es importante que los tallos se encuentren en buenas condiciones, es decir que no presenten curvaturas extremas (una deformación del eje que supere el 0.33% de la longitud total que puedan reducir sus capacidades de resistencia), además de que el diámetro de su tallo debe mantenerse lo más constante posible presentando una variación máxima de 10mm cada metro. Al utilizar los tallos de bambú como elemento constructivo, es recomendable que la espesura de sus paredes no sea menor a 10mm, además que la distancia entre nodos no debe sobrepasar los 600mm, ya que al ser de las partes más fuertes del culmo mientras más alejados se encuentren entre sí, sus propiedades se verán más afectadas. (Hunnarshala, 2014)

3.1.2. Tratamiento de Preservación

La preservación del bambú (Figura 39) es uno de los pasos más importantes para que cumplan las características adecuadas para ser utilizado en la arquitectura como elemento constructivo y estructural. El principal objetivo de la preservación es proteger el bambú ante factores que puedan modificar cualquiera de sus propiedades las cuales puedan comprometer su resistencia o durabilidad; algunos de estos factores incluyen hongos, insectos, incendios, sismos e incluso el sol. Este procedimiento también busca reducir o eliminar su contenido de azúcares, evitar ataques biológicos, así como eliminar su contenido de humedad en el interior. Desde la antigüedad se han utilizado métodos de preservación que han ayudado a que las construcciones de bambú tengan un ciclo de vida mayor, preservando sus propiedades y generando construcciones duraderas. Los amarres con cuerdas naturales fueron una de las primeras técnicas utilizadas para unir piezas de bambú, eran elaboradas de una manera más artesanal, sin embargo con el paso de los años fueron apareciendo nuevas técnicas, algunas de las cuales incluían el uso de maquinaria o elementos menos naturales pero que otorgaban diferentes beneficios; actualmente existen diferentes tipos de tratamientos los cuales pueden ser efectuados con químicos y sin químicos, normalmente son categorizados por ser métodos tradicionales naturales o químicos.



Figura 39 Preservación de Bambú

Fotografía: BambuExport (2019, para.4)

Tratamiento Tradicional Natural

En tiempos pasados, los constructores de la época se vieron en la necesidad de crear métodos de curado del bambú para garantizar su durabilidad. Por falta de la tecnología y recursos como los que existen ahora, los tratamientos de preservación se basaban en técnicas artesanales, aprendidas empíricamente las cuales no suelen incluir en su procedimiento el uso de productos químicos, sino que utilizan los recursos que se encuentran a su disposición. Es por esto que en la actualidad siguen siendo utilizados estos métodos naturales, y aunque no presenta los mismos resultados que los tratamientos con químicos, suele ser utilizado en zonas rurales, las cuales no siempre pueden acceder a otro tipo de métodos, además de que tiene un costo muy bajo o incluso nulo. (Hidalgo, 1981) Para realizar el curado tradicional del bambú existen diferentes métodos como:

- Inmersión en agua
- Curado en la mata
- Curado al calor
- Curado con humo

Inmersión en agua

Uno de los métodos más utilizados, principalmente por su facilidad de ejecución. Consiste en sumergir en agua pura los culmos de bambú recién cortados. Se los puede colocar en un depósito de agua con las dimensiones necesarias para sumergirlos completos como un río o un estanque (Figura 40). Se colocan piedras por encima para garantizar la sumersión de los culmos de bambú por un tiempo inferior a 4 semanas; y por último se dejan secar los tallos por algunas semanas. (Hidalgo, 1981)

Es uno de los tratamientos más utilizados en el continente asiático, debido a que la penetración del agua por los haces vasculares elimina el aire interior. De todas maneras en comparación con otros métodos, en especial aquellos que usan agentes químicos, la inmersión en agua no tiene tanta eficacia. Por otra parte este tratamiento no es recomendable, primordialmente porque si llega a sumergirse más del tiempo debido puede crear debilidad en el tallo generando quiebres, además de que suele crear la aparición de manchas en los culmos. Es importante que los culmos sean limpiados al finalizar el tratamiento para retirar los restos de musgos y otros agentes externos, lo más eficiente es utilizar un chorro de agua a presión, ya que cepillos o esponjas pueden debilitar el tallo. (Aguilar, 2018)

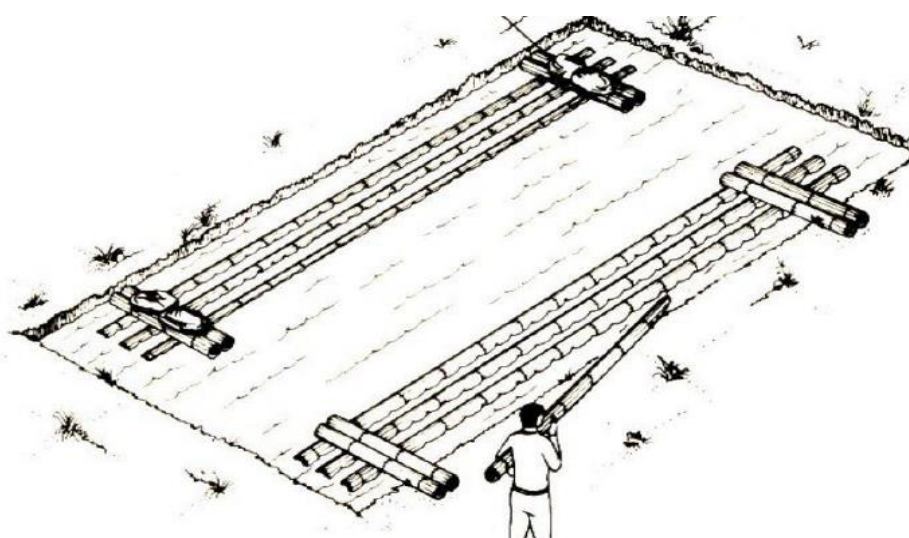


Figura 40 Método de inmersión en agua

Fuente: Oscar Hidalgo López (1981, p.2)

Curado en la mata

También conocido por el nombre de Avinagrado es otro de los métodos naturales más utilizados, no requiere muchos materiales ni recursos, es por eso que su costo es prácticamente nulo (Figura 41). Es realizado inmediatamente después de que los tallos son cortados, este método consiste en mantenerlo con hojas y ramas y colocar el culmo de pie de la manera más vertical posible, normalmente apoyado sobre tallos vecinos que no han sido cortados. Además para evitar acumulación de humedad es importante que sea separado del suelo mediante el uso de una piedra. Este proceso dura aproximadamente entre tres y cuatro semanas y consigue disminuir el contenido de almidón de los tallos.

Después de la primera semana se comienza el periodo de fermentación de los azúcares, que es cuando el tallo emana un olor a alcohol, además de que cambia temporalmente de color variando entre el verde y anaranjado. (Morán, 2015a) Posteriormente a este tiempo es necesario limpiarlo de ramas y hojas y dejar secarlo en un lugar con buena ventilación. Este método es muy recomendable debido a que es natural y los tallos mantienen sus características físicas sin presentar manchas.

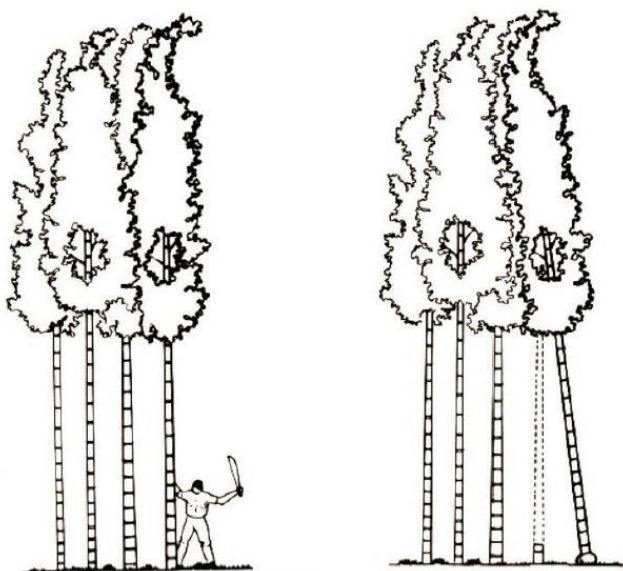


Figura 41 Curado de bambú en la Mata

Fuente: Oscar Hidalgo López (1981, p.2)

Curado por calor

Consiste en colocar horizontalmente los tallos sobre brasas manteniendo una distancia que evite que se quemen y girándolas constantemente (Figura 42). También puede ser realizado en unas cámaras especializadas que someten los culmos a una temperatura de 120/150°C durante 20 minutos, pero con el riesgo de que se creen fisuras. Es uno de los métodos más efectivos, pero necesita más recursos, en especial el tratamiento de la cámara por lo que su costo elevado y es más difícil de realizar. Además de ser utilizado como método de preservación puede ser utilizado para enderezar los tallos que se encuentren torcidos.



Figura 42 Curado de bambú al calor

Fuente: Oscar Hidalgo López (1981, p.3)

Tratamiento por humo

Consiste básicamente en ahumar los culmos, sometiéndoles a humo directo proveniente de combustión en un ambiente cerrado (Figura 43), lo que provoca que se recubra exteriormente de hollín. Este método no es tan efectivo, por lo que tiene que ser reforzado cada seis meses o a su vez utilizarlo en conjunto con otro medio de preservación. Muchas veces es utilizado simplemente como un medio de decoración. (Montoya J. A., 2008)



Figura 43 Curado de bambú al humo

Fuente: Jorge Morán Ubidia (Morán, 2015b, p.34)

Tratamiento Tradicional Químico

El procedimiento químico como su nombre lo indica hace uso de métodos agentes químicos, los mismos que se encargan de proteger los tallos de bambú de los factores que puedan reducir sus capacidades. En general fueron apareciendo a lo largo de los años, en especial por las nuevas tecnologías las mismas que permitieron generar tratamientos más eficaces para inmunizar y preservar el bambú pero muchas veces con un costo más elevado. Por otra parte, al igual que los métodos naturales el objetivo de los procedimientos químicos es remover los restos de nutrientes y componentes naturales que atraen a los insectos, así como eliminar la humedad que se encuentra en el interior de los tallos recién cortados.

Al igual que los métodos naturales, existen diferentes tipos de tratamientos químicos de los cuales dependiendo los recursos utilizados pueden ser más agresivos o menos. Es recomendable utilizar los métodos menos agresivos, ya que al ser un material natural si no es aplicado de manera correcta se puede interferir con la integridad tanto del bambú como la del medio ambiente. Existen dos tipos de preservantes utilizados, los Oleo-solubles como la creosota, la cual es aplicada mediante presión a los bambús que van tener contacto con el suelo y el agua; y los Hidrosolubles que son sales disueltas en agua, y se aplican como una solución líquida. La ventaja sobre la oleo-soluble es que los tallos que usen este método pueden ser pintados y barnizados. (Hidalgo, 2003) Algunos de los métodos de preservación química son:

- Inmersión con Sales de Boro
- Método Boucherie
- Método Boucherie Modificado
- Inyección de Sales de Boro
- Lavado con Cal
- Hervido

Inmersión con Sales de Boro

Este tratamiento es muy similar a la inmersión en agua, como se puede ver en la Figura 44, ya que ambas consisten en sumergir los tallos de bambú solo que en este caso se lo introduce en una solución de sales de boro³³ por lo que este método entraría en la categoría de los preservantes hidrosolubles. Esta es una de las técnicas más utilizadas para la preservación del bambú debido a su facilidad de ejecución y porque a pesar de ser uno de los tratamientos químicos su costo es sumamente bajo; también es uno de los métodos más efectivos para proteger los tallos de bambú ya que las sales de boro funcionan como un insecticida y funguicida que previenen los ataques de cualquier microorganismo que lo ataque. El procedimiento a seguir es colocar los tallos recién cortados de manera vertical u horizontal dentro de la solución de sales de bórax previamente situado en tanques o excavaciones recubiertas por plástico, logrando que el líquido penetre en las fibras y las proteja. Para que los tallos no floten se coloca peso encima de ellos, pueden ser piedras u otros elementos, y se los mantiene sumergidos por 1 día en agua tibia, o 4 días en agua a temperatura ambiente. Posteriormente se inicia el proceso de limpieza y secado. (Aguilar, 2018) Además de su eficacia y bajo costo una de las ventajas más grandes que aporta el uso del ácido bórico y su aplicación por inmersión es ser un agente de preservación amigables con el medio ambiente, sus usuarios y con el bambú en sí mismo.



Figura 44 Método de Inmersión con Sales de Boro

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p.14)

³³ Está compuesto por la unión del Ácido bórico + Bórax + Agua, en una proporción de 2kg+2kg+100 litros respectivamente. También es llamado Pentaborato. Tiene capacidades limpiadoras y desintoxicantes. Es utilizado como preservante y repelente de insectos.

Método Boucherie (Por Gravedad)

Este tratamiento tiene 2 formas de aplicarse según los recursos disponibles, en ambos casos se usa la gravedad como método de acción para reemplazar la savia por el preservante. La primera forma consiste en colocar el tallo de bambú de manera vertical o a 45° de inclinación, posteriormente desde la parte superior se procede a hacer una incisión en el diafragma para que el entrenudo superior funcione como un recipiente en el cual se deposita la solución química. Se debe mantener esta posición por varias horas o días dependiendo de las dimensiones del bambú. La segunda técnica (Figura 45) consiste en utilizar un recipiente donde se coloca la solución química, el mismo que está conectado directamente al bambú mediante sistema de ductos. Es importante que el recipiente del preservante se encuentre más elevado que el tallo de bambú para que de esta manera la gravedad ayude a que la solución pase por todo el tallo. (Hidalgo, 2003)

En la parte final se coloca un recipiente para recoger el excedente de solución y los desechos los mismos que tienen que ser tratados de la mejor manera para generar el menor impacto ambiental. De todas maneras, en ambos casos es importante que no existan fisuras o desgarres para que no existan fugas. Este método no es el más recomendable ya que el tiempo de ejecución es elevado para lograr la absorción del producto en todas las fibras del tallo.

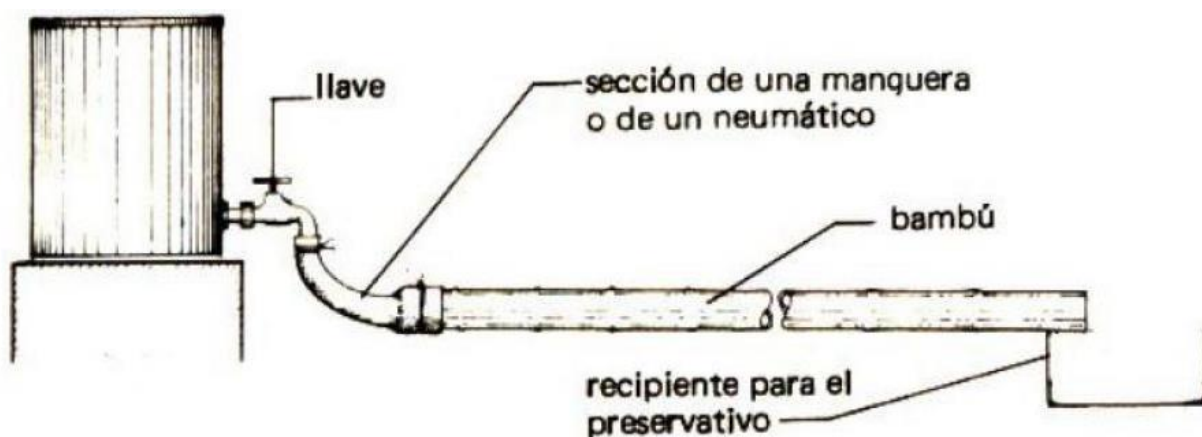


Figura 45 Método de Boucherie por gravedad

Fuente: Oscar Hidalgo López (1981, p.5)

Método Boucherie Modificado (Por presión)

Este método es similar al anterior, sin embargo es necesario un equipo especializado para poder usar esta técnica. Debe ser efectuado en tallos recién cortados para que su eficacia sea mayor, ya que comienza a generar un secado natural que obstruye sus poros dificultando el paso del solvente por sus fibras. Para realizar este proceso se necesita un recipiente para el preservante, el mismo que debe estar cerrado herméticamente ya que por un lado está conectado a un a un compresor de aire y por el otro está directamente ligado a los tallos de bambú. Este método consiste en llenar con preservante el recipiente hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad y con 10 a 15 libras de aire el compresor. Posteriormente con la ayuda de la presión del compresor el preservante penetra por uno de los extremos del culmo, el mismo que no debe tener sus diafragmas perforados y que debe estar colocado de manera horizontal. El proceso se considera terminado cuando toda la solución pasa hasta el otro extremo del culmo y se deposita en los recipientes que recogen el excedente los mismos que tienen que tratarse para no generar daño al medio ambiente (Figura 46). La ventaja que tiene este método sobre el que usa gravedad es que el tiempo de ejecución es menor, además de que puede ser aplicado hasta en 10 bambús a la vez, convirtiéndolo en un método más efectivo. (MIDUVI, 2016)

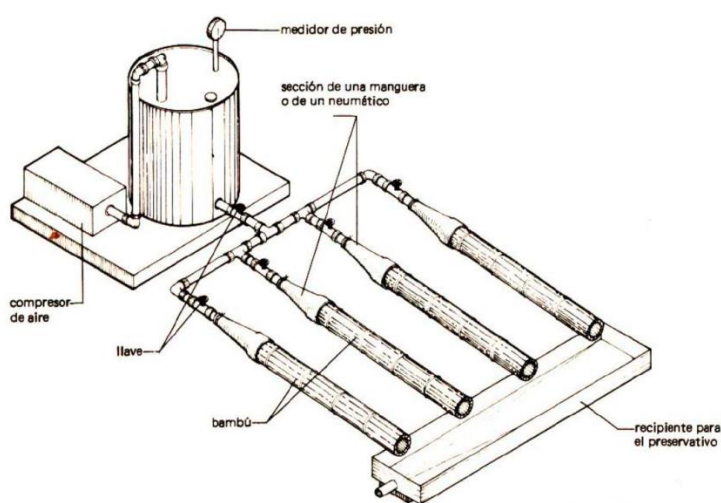


Figura 46 Método de Boucherie por presión

Fuente: Oscar Hidalgo López (1981, p.5)

Inyección de Sales de Boro

Este método consiste en crear dos pequeñas incisiones en cada entrenudo del tallo colocadas en lados opuestos (Figura 47), las mismas que deben ser efectuadas en diagonal y esta ubicadas aproximadamente a dos dedos de distancia del diafragma. Es importante que no se encuentren en el mismo eje ya que esto puede crear fisuras o grietas con el paso del tiempo o durante el secado. A continuación se inyecta la solución de sales de boro en una cantidad suficiente para bañar las paredes interiores, posteriormente se puede colocar 20ml extras de preservante en cada una de las incisiones. Este proceso es manual y tomará aproximadamente una semana hasta que el contenido sea absorbido en su totalidad y muchas veces es utilizado como método de refuerzo para culmos previamente preservados. (Montoya J. A., 2008)

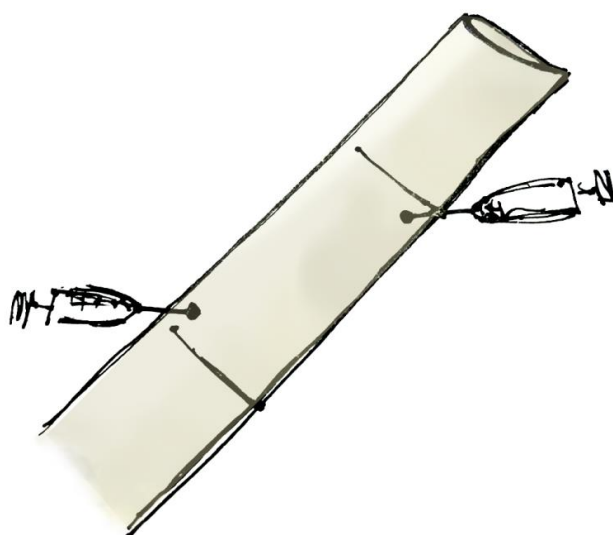


Figura 47 Inyección de Sales de Boro

Fuente: Elaboración Propia

Hervido

Este método consiste en someter al bambú a un baño caliente es decir que se hierve a una temperatura aproximada de 100°C, el tiempo dependerá del químico que sea utilizado, en el caso de la Soda Cáustica³⁴ se lo expone durante 30 minutos, mientras que en el caso del

³⁴ Compuesto formado por (NaOH)

Carbonato de Sodio³⁵ se necesitan 60 minutos. Se debe tener cuidado en la ejecución de este método ya que un tiempo excesivo expuesto a la soda caustica puede generar alteraciones en el contenido de tejido parenquimático, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas se pueden ver comprometidas. (Montoya J. A., 2008)

Lavado con Cal

Este tratamiento consiste en aplicar una cantidad de Cal Aérea³⁶ ya sea por un método de inmersión así como una aplicación externa con brocha (Figura 48). Mientras se produce el secado para que se impregne la solución, está se transforma en Carbonato de Calcio³⁷. Este método otorga cualidades estéticas que lo tornan más blanco, pero también previene que se genere humedad en las cañas. (Montoya J. A., 2008)

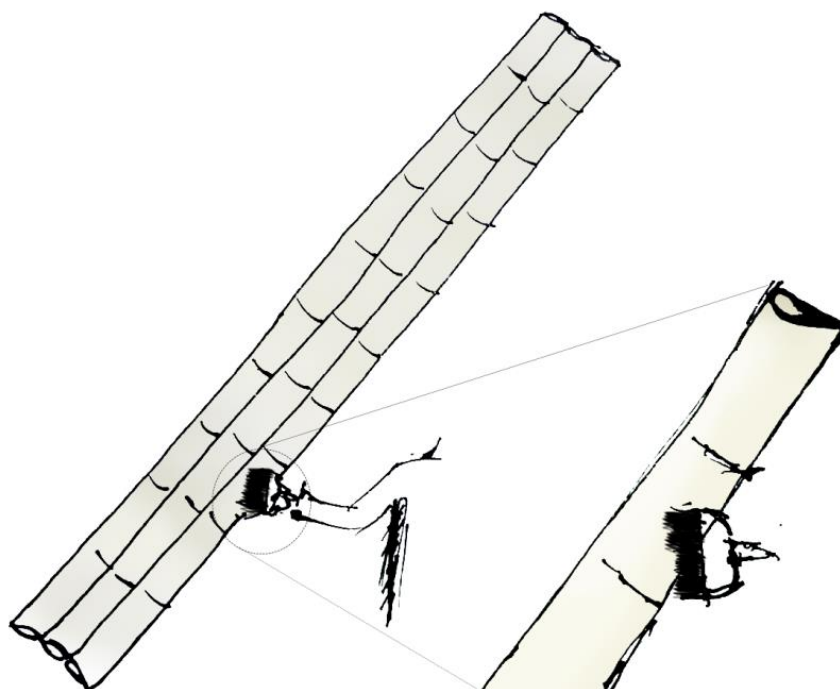


Figura 48 Aplicación de Cal Aérea al bambú con brocha

Fuente: Elaboración Propia

³⁵ Carbonato de Sodio = Na_2CO_3

³⁶ Cal Aérea = $\text{Ca}(\text{OH})_2$

³⁷ Carbonato de Calcio = CaCO_3

3.1.3. Secado

El secado es la parte final del proceso de tratamiento del bambú. Cumple un papel crucial en el comportamiento estructural del bambú como elemento constructivo ya que en este segmento del tratamiento las piezas de bambú adquieren las propiedades finales tanto físicas como mecánicas. Existen características/propiedades que están directamente ligadas con el proceso de secado como son la densidad y el contenido de humedad (contracción o dilatación de la pieza). (Montoya J. A., 2008) Es importante tomar en consideración que el bambú al ser un material altamente higroscópico absorbe una gran cantidad de agua y humedad, y por su característica porosidad estas partículas de agua se quedan atrapadas entre sus fibras, es por eso que es de gran importancia que el proceso de secado se realice de la forma correcta ya que de esta manera se evita que los tallos de bambú presenten fisuras o pérdida en sus propiedades mecánicas, además con la pérdida de agua de su interior su peso se ve reducido lo que se convierte en una ventaja como material constructivo. (MIDUVI, 2016)

Este proceso de secado se inicia desde el momento que el bambú es cortado en la mata lo que puede hacer que desde ese momento hasta el final del tratamiento el tallo de bambú reduzca su diámetro en 10% a 16% mientras que la espesura de sus paredes tendría una variación de 15% a 17%. Si el proceso de secado no es realizado de la manera correcta antes de su aplicación en obra, estas variaciones en sus dimensiones pueden generar riesgo de colapso en sus estructuras, es por eso que para un correcto desempeño el contenido de humedad del bambú debe ser igual o inferior a la humedad de equilibrio del lugar donde va a ser aplicado. (Avila, 2017) Se han creado diferentes métodos de secado para el bambú siendo unos métodos más efectivos que otros.

- Secado Natural
- Secado Artificial

Secado Natural

El secado natural se caracteriza por utilizar recursos naturales para su realización, es decir el bambú es secado mediante las propiedades del ambiente. Usualmente se realiza un secado al aire libre. En este método de secado el agente principal que actúa para secar los tallos de bambú es el flujo de aire. Aquí entran en consideración tanto la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire ya que son condicionantes que pueden acelerar o retrasar este proceso. De todas maneras este es uno de los métodos que toma más tiempo en ser finalizado ya que deben ser considerados varios factores, los mismos que no pueden ser modificados por el ser humano, en la época de verano, si es seco, puede tomar alrededor de dos meses, mientras que en época de invierno puede tomar hasta seis meses. Por otra parte la ventaja es que al utilizar recursos naturales su costo de ejecución es reducido.

El secado al aire libre puede ser realizado tanto a la intemperie, así como en un espacio cubierto y con gran flujo de aire para garantizar el secado. La primera forma es la más utilizada ya que consiste en apilar los tallos de bambú de manera intercalada en forma de tijera sobre un caballete (Figura 49), el mismo que no debe tener una altura mayor a los $\frac{2}{3}$ de la longitud de los culmos. Los tallos deben colocarse sobre una superficie que los aisle de la humedad del suelo además de ser rotados sobre su eje constantemente para mejorar el secado. La segunda forma consiste en apilar los tallos de bambú, ya sea de manera horizontal o vertical, y colocarlos bajo techo, esto con el objetivo de protegerlos de la lluvia y del sol (Figura 50). El área cubierta debe contar con la ventilación suficiente para garantizar un buen secado, y los tallos deben ser colocados por capas no muy altas y con separadores entre sí para que exista flujo de aire entre ellas. Es recomendable colocar en posición vertical los tallos de bambú ya que de esta manera el tiempo de secado es menor. (MIDUVI, 2016)



Figura 49 Secado al aire libre con caballete

Fotografía: Elías Jiménez y Jorge Montoya (2006, p.416)



Figura 50 Secado al aire libre bajo cubierta

Fotografía: Elías Jiménez y Jorge Montoya (2006, p. 416)

Secado Artificial

Con el pasar del tiempo y con la aparición de nuevas tecnologías se fueron implementando varias técnicas, las mismas que a diferencia del secado natural utilizan recursos externos, los mismos que tienen como objetivo generar un mayor grado de control sobre el proceso de secado. Esto se debe a que de esta manera se puede manejar el secado de los tallos de bambú según las características de cada una de las especies y de las condiciones ambientales en las que va a ser aplicado. Una de las ventajas que otorgan los métodos artificiales es que el tiempo de ejecución es menor, ya que mientras el secado natural toma meses, al utilizar estos métodos para el secado del culmo su proceso de secado termina en unos días o incluso horas. Normalmente estas técnicas se basan en controlar el ambiente interior así como la calidad de aire para mantener una correcta humedad y temperatura, de todas maneras es recomendable que se efectúe un periodo de secado natural por varios días antes de proceder al tratamiento artificial. Por otro lado la desventaja de los métodos artificiales es que ese necesita maquinaria especializada para su ejecución lo que significa que su costo es más elevado. (Ordóñez, Mejía, & Bárcenas, 2013)

Al ser métodos artificiales para llegar a tener la eficacia de secado en un tiempo reducido pueden ser más agresivos con el bambú por lo que es importante hacerlo de la manera correcta para mantener sus cualidades, de lo contrario existe el riesgo de que se generen fisuras o desgaste en el tallo de bambú por lo que sus propiedades físicas y mecánicas se pueden ver comprometidas. Algunas de las técnicas artificiales de secado más comunes son:

- Secado en Horno
- Inyección de Aire Caliente
- Secado Solar

Secado con Horno

Este método consiste en colocar los culmos de bambú de manera vertical u horizontal dentro de un horno sellado como se puede ver en la Figura 51, el cual contiene una fuente de calor que puede provenir de medios eléctricos, así como de combustibles fósiles. Este horno funciona principalmente en base a vapor y aire caliente el cual se encarga de circular por todo el horno alcanzando todas las piezas de bambú.

En comparación con otros métodos, el secado en horno tiene un costo más elevado debido al uso de energía y combustibles, así como el tipo de recursos que utiliza. Por otro lado la ventaja que tiene esta técnica es que su tiempo de ejecución es menor, disminuyendo a aproximadamente dos o tres semanas, además de que puede ser utilizado en varias piezas de bambú al mismo tiempo; sin embargo tiene que ser ejecutado de la manera correcta evitar que los tallos sufran deformaciones o se creen grietas y rajaduras. Mediante este proceso la guadua pierde gran contenido de humedad de manera acelerada lo que genera que pierda hasta 60% de su peso inicial. (Ordóñez, Mejía, & Bárcenas, 2013)



Figura 51 Secado con Horno

Fotografía: *PX Bamboo Industry* (2010, para.1)

Inyección de Aire Caliente

El método de inyección de aire caliente es normalmente utilizado para acelerar el proceso de secado de los tallos del bambú. Esta técnica consiste en apilar los bambús de manera horizontal en una superficie cubierta, y a través de una serie de mangueras de plástico conectar los tallos directamente a un soplador eléctrico, también llamado “Pulpo”, como se puede ver en la Figura 52. A continuación se procede a inyectar aire caliente de manera forzada dentro de los culmos de bambú hasta llegar al nivel de humedad necesario.

Una de las ventajas de este método es que reduce en gran medida el tiempo necesario para terminar el proceso de secado. En comparación con el método de secado solar, el secado por inyección se culmina en la mitad de tiempo ya que aproximadamente se necesita alrededor de 10 días para terminar este proceso. Asimismo este método puede ser ejecutado en varios tallos de bambú a la vez lo que aumenta su eficacia. Para que el método sea efectivo es importante monitorear constantemente la humedad de los tallos para llegar al contenido de humedad necesario para ser utilizado en la construcción. (Aguilar, 2018)

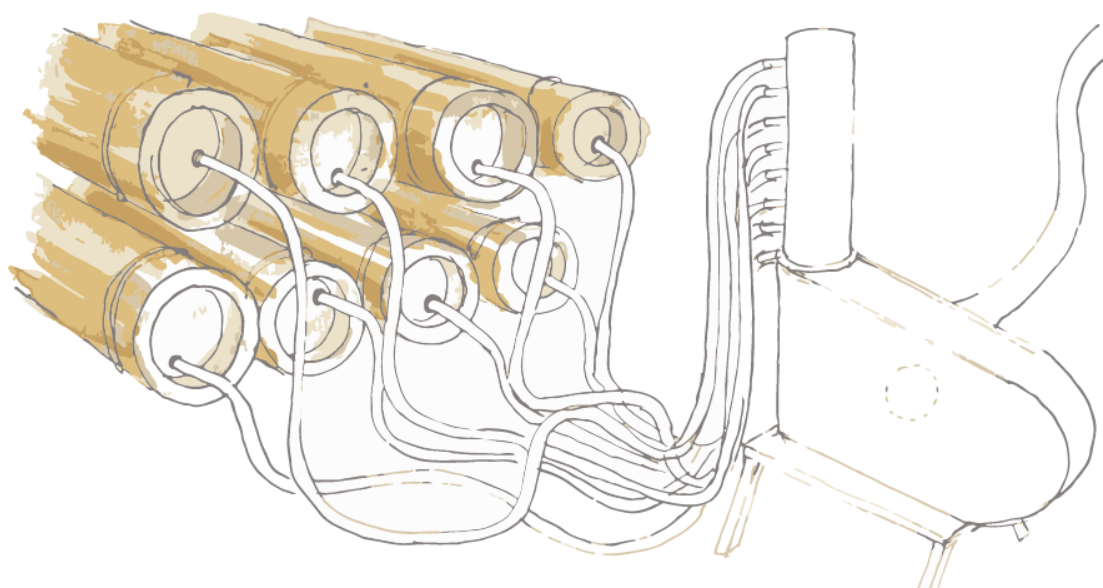


Figura 52 Secado por Inyección de Aire Caliente

Autor: Lucila Aguilar (2018, p.16)

Secado Solar

Este es otro de los métodos de secado artificial, es similar al secado natural ya que el factor que actúa como agente secante es la luz solar, la diferencia reside principalmente que en este secado se utilizan conjuntamente mecanismos artificiales como colectores solares y ventiladores, con el objetivo de generar gran afluencia de aire caliente para poder reducir la cantidad de humedad en los tallos. Este método consiste en circular el aire caliente dentro de un sistema cerrado, creándose un tipo de efecto invernadero, tanto las paredes como el techo de esta cámara son de plástico o vidrio con la finalidad de aumentar la temperatura interior para generar el secado de los culmos. (Morán, 2015a)

El secado solar puede ser realizado tanto de manera pasiva como activa. Donde de manera pasiva utiliza colectores solares para aumentar la temperatura, mientras que los flujos de aire frío y caliente que nivelan la humedad interior se manejan mediante compuertas que permiten su flujo. Por otro lado en usando el método activo se mantienen las compuertas para manejar la humedad interior y expulsar el aire saturado, sin embargo, se añaden sistemas mecánicos de ventilación los cuales aumentan la velocidad del aire en el interior generando que el tiempo de secado sea menor (Figura 53). (MIDUVI, 2016)

Un factor que tiene incidencia en los resultados es el clima y la época del año donde es realizado, ya que al funcionar con energía solar en época de verano es cuando se suelen alcanzar las temperaturas más elevadas reduciendo el tiempo de secado. Una ventaja en comparación al secado natural es que su tiempo de ejecución es menor, además debido a los cambios de temperatura sutiles, el riesgo de que los tallos de bambú presenten fisuras es menor. Otra ventaja es que es amigable con el ambiente, además de que su costo es disminuido. Por otra parte la desventaja principal de este método es que muchas veces no cuenta con un sistema que monitoree la temperatura y la humedad con exactitud, por lo que la calidad del secado puede ser menor. (Ordóñez, Mejía, & Bárcenas, 2013)

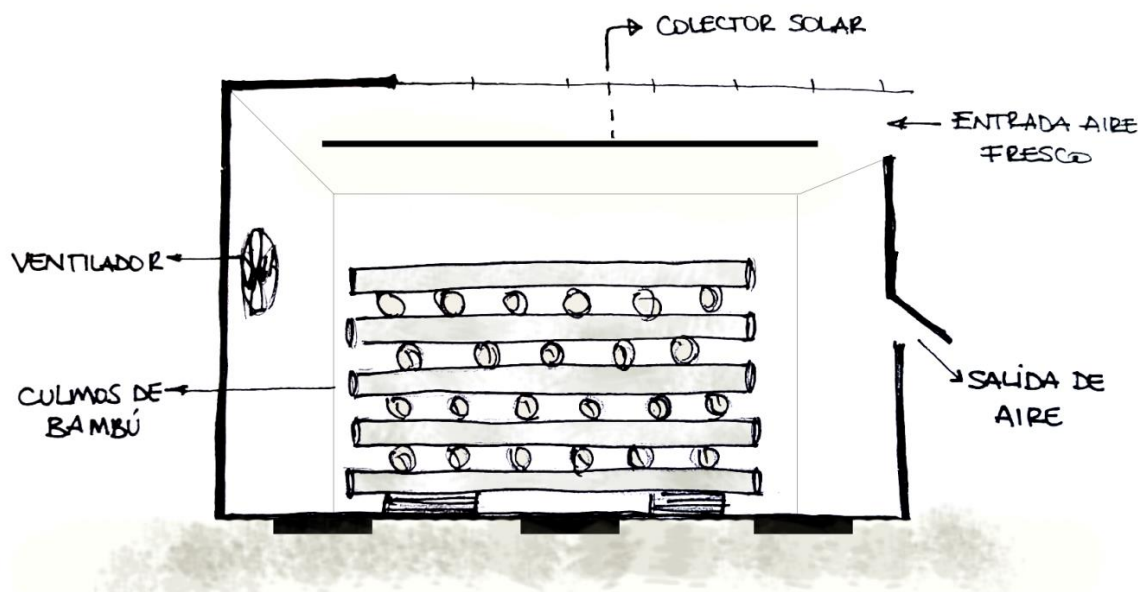


Figura 53 Método de Secado en Cámara Solar

Fuente: Elaboración Propia en base a Manual para la construcción sustentable con bambú (Ordóñez, Mejía, & Bárcenas, 2013)

El tiempo de secado varía dependiendo del método utilizado. Con la descripción previa de las diferentes técnicas de secados se puede establecer que por norma general los métodos artificiales requieren menos tiempo para alcanzar el secado total de los tallos de bambú, ya que al utilizar herramientas mecánicas, la efectividad de los mismos aumenta. En lo que se refiere a la calidad de los bambús en base al método de secado, mientras más rápido se retire la humedad del interior de sus paredes, es más probable que sus propiedades físicas y mecánicas se mantengan; por lo tanto en este aspecto los métodos artificiales son más eficaces, sin embargo, al ser más agresivos se debe realizar de la manera correcta para que no se comprometa la integridad de los tallos de bambú.

El método de secado más amigable con el bambú y el medio ambiente es el secado natural, sin embargo su efectividad es relativa ya que como fue previamente mencionado, entran en juego diferentes factores variables que no pueden ser controlados por el ser humano, es por eso que el tiempo de ejecución de esta técnica es muy amplio al ser considerado principalmente el clima del lugar y la época del año en la que es ejecutada esta

técnica. Por otra parte la inyección de aire caliente es el método más rápido para realizar el secado en los tallos de bambú (Tabla 5), además de tener ventaja sobre los otros métodos en el aspecto de precisión ya que puede ser monitoreada la humedad de los tallos para llegar a los niveles deseados.

Método de Secado	Tiempo de Ejecución
Secado Natural al Aire Libre	2-3 Meses o más según el lugar
Secado con Horno	2-3 Semanas
Secado con Inyección de Aire Caliente	10 Días aproximadamente
Secado Solar	15-30 Días

Tabla 5 Tiempo de secado en los diferentes métodos

Fuente: En base a Lucila Aguilar (2018) y Jorge Montoya / Carlos Orozco (2005)

3.2. Diseño de Uniones

El bambú debido a todas las propiedades físicas y mecánicas que posee, es considerado un material muy versátil, cualidad que es importante para un elemento de construcción ya que eso puede incrementar la diversidad de aplicaciones que puede tener, de esta manera no solo se limita a la parte estructural o decorativa sino también a usos como recubrimiento o incluso mobiliario. Sin embargo, el bambú en su forma natural puede ser muy variable en lo que se refiere a tipos de uniones y combinaciones con otro tipo de materiales.

Con el pasar de los años las técnicas constructivas se han ido modificando e innovando, sin embargo, las técnicas vernáculas prevalecen hasta la actualidad. En lo que se refiere al bambú existen una gran cantidad de ejemplos de uniones, las mismas que manejan técnicas artesanales utilizando solamente bambú u otro tipo de materiales naturales, no obstante también existen modelos de uniones que mezclan el bambú con materiales industriales como hormigón o acero (Figura 54). Ejemplos de los diferentes tipos de uniones van a mostrarse en este subcapítulo para mostrar el alcance que puede llegar a tener el bambú dentro de la arquitectura.

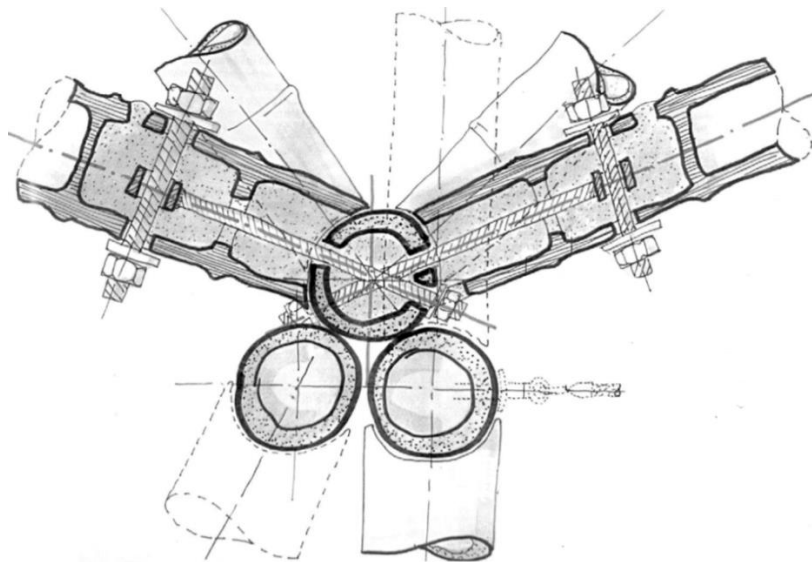


Figura 54 Ejemplo de uniones con Bambú

Fuente: Valeria Chioetto y Neri Braulin (2003, p. 376)

Los primeros tipos de uniones que se utilizaron en las construcciones primitivas no utilizaban grandes tecnologías, sin embargo, tenían gran efectividad y resistencia. Se utilizaban métodos artesanales con materiales naturales como cuerda, o piezas de bambú, y herramientas simples como cuchillos y hachas. Las técnicas utilizadas en la antigüedad pueden ser apreciadas hasta nuestros días en obras de diferentes escalas. Algunas de estas uniones consisten en realizar cortes específicos al bambú, los mismos que funcionan como ensamble entre las diferentes piezas, y para reforzar las uniones se utilizan cuerdas de fibras naturales como el hilo de cáñamo, o pasadores de bambú o madera (Figura 80). Se debe tener en consideración que los culmos de bambú tienen que estar en buen estado para poder ser utilizados dentro de la construcción, es importante mantener una distancia prudente de 8-10cm entre el sitio de corte y el nudo del bambú (Figura 55). Otro factor que es importante considerar al momento de unir varios elementos de bambú, es mantener un nudo al extremo del culmo para evitar que éste se abra, y en caso de no tenerlo, se deberá colocar un zuncho metálico que proteja el tallo. (Aguilar, 2018)

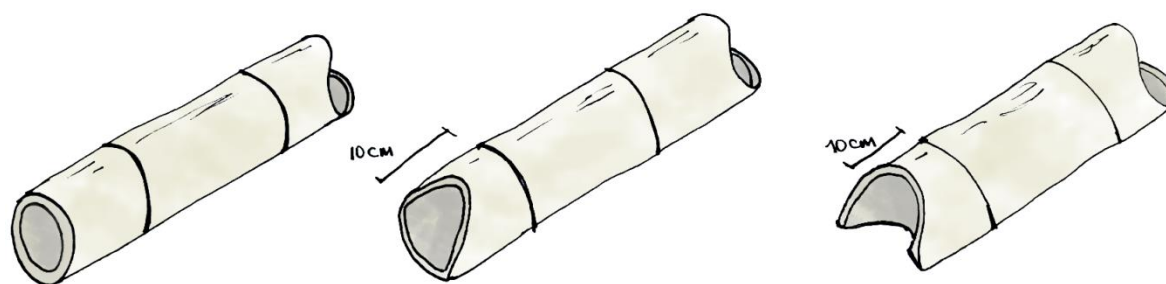


Figura 55 Cortes de bambú con respecto al nudo

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma Técnica Colombiana 5407

Algunas de las uniones más básicas utilizan solamente cuerdas como elemento de unión. Con el pasar de los años se han creado diferentes formas de utilizar las cuerdas para unir dos o más elementos de bambú. La ventaja de este método es que es de fácil ejecución ya que no requiere muchos materiales para ser aplicada. Sin embargo suele ser utilizado en obras temporales sin cargas excesivas. Algunas de las uniones se pueden realizar en elementos transversales (Figura 56), pero también pueden ser efectuados para unir piezas en diagonal (Figura 57). (Hidalgo, 1981)

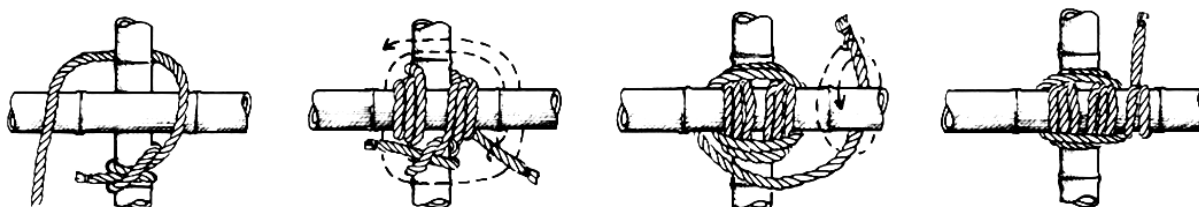


Figura 56 Unión transversal de piezas con el uso de cuerda

Fuente: Oscar Hidalgo (1981, p. 20)

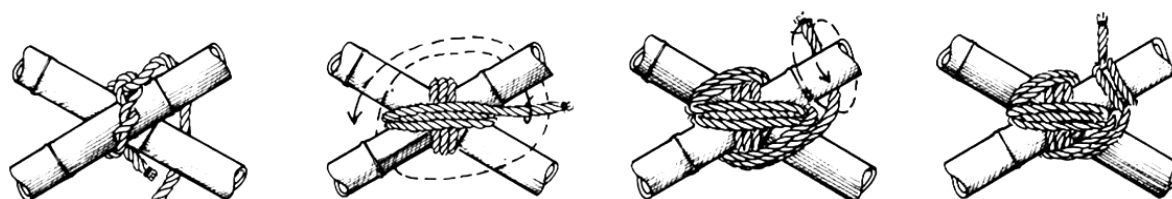


Figura 57 Unión en Aspa con cuerda de elementos diagonales de bambú

Fuente: Oscar Hidalgo (1981, p.20)

Los amarres previamente expuestos permiten unir dos piezas de una manera más simple, por lo que son utilizados comúnmente para la construcción de diferentes estructuras. No obstante, existen otros tipos de amarres que permiten unir de diferente manera dos o más tallos de bambú como se destaca en la Figura 58 y Figura 59.

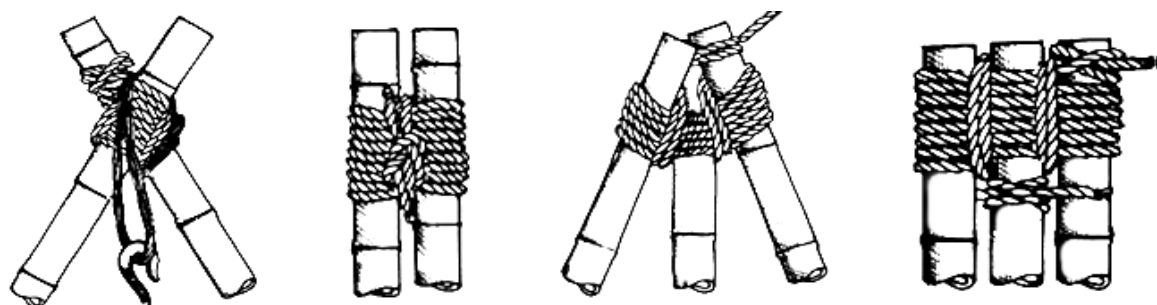


Figura 58 Diferentes alternativas para usar cuerda como elemento de unión de las piezas de bambú

Fuente: Oscar Hidalgo (1981, p.23)



Figura 59 Aplicación de amarres en un pabellón de bambú

Fotografía: Carlos Leduc Montaña / UNAM (2013, para.13)

Muchas veces el uso de cuerdas no es suficiente por lo que es necesario reforzar las uniones con elementos que generen más soporte, por ejemplo, pasadores metálicos, de bambú o de madera, los mismos que pueden asegurar la estabilidad de las estructuras (Figura 60).

Las cuerdas a pesar que son un método de fácil ejecución, al ser fibras naturales, su desgaste es mayor por lo que puede ser necesario realizar mantenimiento o reemplazo en un corto periodo de tiempo, lo que puede significar un gasto mayor, es por esto que muchas veces los arquitectos escogen utilizar la técnica de amarre para estructuras de arquitectura efímera, ya que su vida útil no representaría un factor que se deba considerar. En caso de que los amarres sean utilizados en obras de carácter permanente, se los combina con otros métodos que otorguen un mayor tiempo de vida a estas uniones.



Figura 60 Unión con la combinación de cuerdas naturales y espárragos metálicos

Fotografía: Studio Akkerhuis (2017, para 4)

Por otra parte no solo las cuerdas son técnicas naturales que permiten la unión de los elementos de bambú. Pueden ser realizados cortes a los tallos, los mismos que permiten juntar las piezas en diferentes direcciones. Para la ejecución de estas piezas pueden ser utilizadas herramientas simples y artesanales, así como eléctricas y más sofisticadas (Figura 61). Al utilizar instrumentos eléctricos la ejecución de las piezas puede ser efectuado de una manera más rápida y eficaz, sin embargo los artesanos siguen utilizando los métodos más rudimentarios para crear las piezas de bambú.

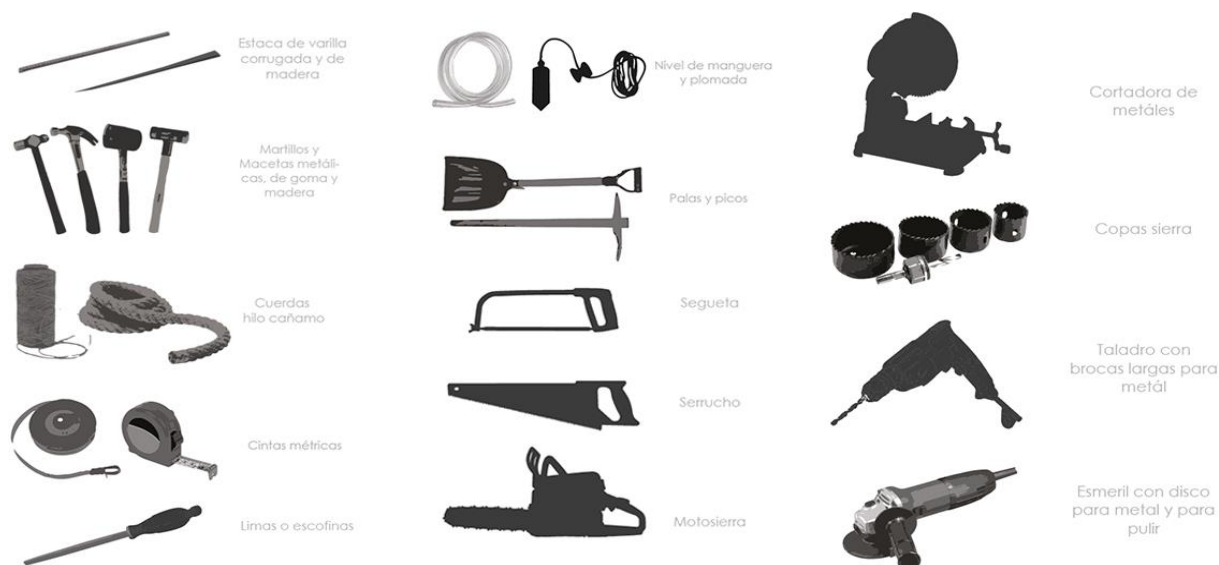


Figura 61 Ejemplo de herramientas utilizadas para efectuar las uniones de bambú

Fuente: Lucila Aguilar (2018, pp.25-26)

Las uniones de los elementos de bambú han sido un proceso de aprendizaje a lo largo de los años, se han explorado técnicas desde lo simple hasta lo complejo, utilizando diferentes combinaciones de materiales. Este proceso ha permitido determinar cuáles son las técnicas más acertadas al momento de juntar dos o más piezas de bambú e incluso su unión con otro tipo de materiales.

Cuando hablamos de corte en los tallos de bambú, existen 5 tipos de empalmes comunes (Una oreja, dos orejas, a bisel, pico de flauta y boca de pescado) debido a que son prácticos para trabajar con este material (Figura 62). Algunos cortes son más complejos que otros, sin embargo, pueden realizarse de manera fácil, sin necesidad de grandes habilidades artesanales, solamente es necesario utilizar las herramientas adecuadas para su ejecución ya que al poseer una capa de sílice, su exterior presenta dureza al momento de efectuar los cortes por lo que es recomendable utilizar una sierra metálica (Figura 63). En conjunto la combinación de las diferentes técnicas de corte pueden tener como resultado la creación de diversos tipos de estructuras en bambú.

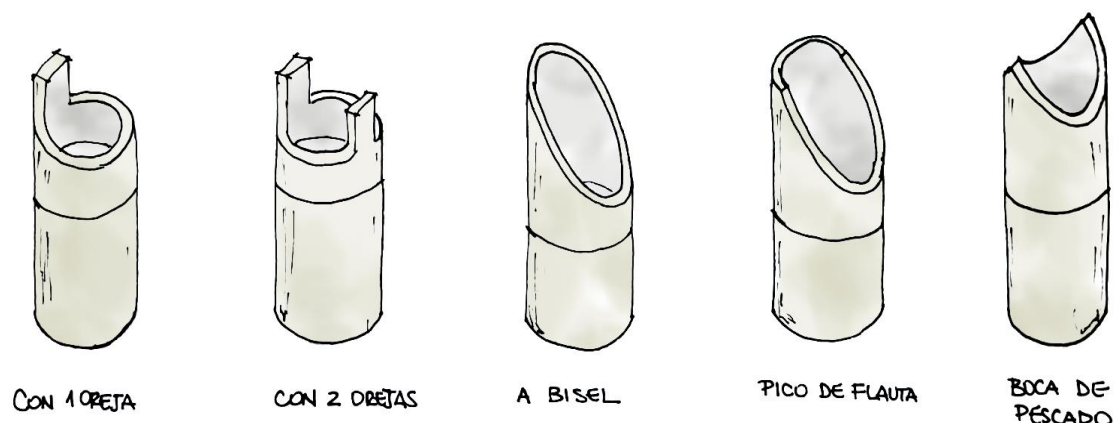


Figura 62 Empalmes para uniones en bambú

Fuente: Elaboración propia en base a Oscar Hidalgo (2003)

La importancia que tiene la correcta ejecución de las uniones radica en la eficacia que se genera a nivel estructural, es decir, cuando las piezas se juntan de la manera correcta no existirán fisuras, roturas o aplastamiento de los elementos estructurales.

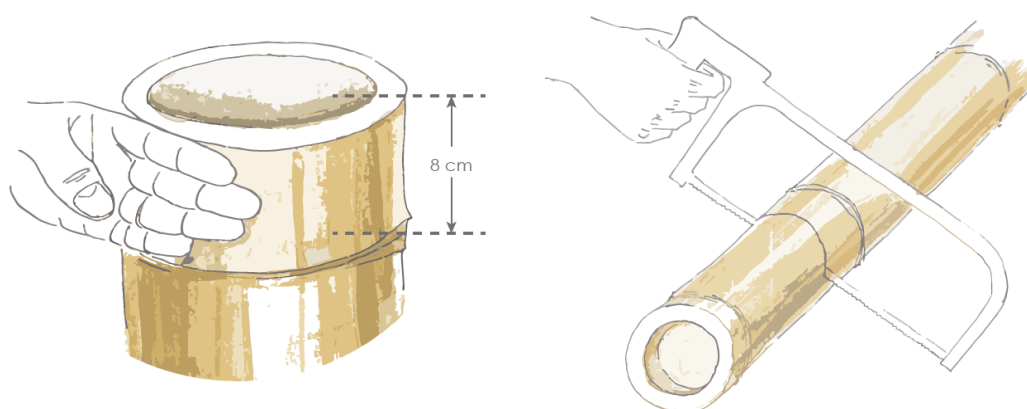


Figura 63 Corte del tallo de bambú con sierra metálica

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p. 30)

Los cortes previamente expuestos son de los más utilizados a nivel mundial, tanto en Asia como en Latinoamérica utilizan estos empalmes para la unión de los tallos de bambú. BambooU en Asia se encarga de potencializar el uso de este material, por lo que en diversas ocasiones sus talleres de carpintería básica (Figura 64) han enseñado las diferentes técnicas para trabajar con bambú, entre ellas la ejecución del corte boca de pescado. En Latinoamérica los diversos manuales creados para la construcción con bambú también ilustran pautas para crear los diferentes empalmes. (Editorial, 2017)



Figura 64 Taller de carpintería impartido por Bamboo U con artesanos indonesios

Fotografía: José Tomás Franco (Editorial, 2017)

El empalme de boca de pescado (Figura 65) es utilizado de manera regular en las construcciones con bambú, ya que se haciendo uso de las propiedades naturales de este material consigue distribuir las cargas aplicadas de manera uniforme a lo largo del tallo de bambú. Para su ejecución es preciso dejar un diámetro adicional como margen para poder realizar el corte. Las herramientas utilizadas en este corte son rudimentarias, el procedimiento consiste en marcar con la ayuda de un lápiz el corte que va a ser realizado, preferiblemente a una distancia del nudo no mayor a 10cm, se debe considerar que la distancia entre el extremo y el final de la línea dibuja representa al radio del tallo. Posteriormente se comienza con el corte asegurando de la manera correcta el tallo para evitar su movimiento; el corte se lo efectúa en la dirección de las fibras del bambú para facilitar su elaboración. Finalmente debe limarse los bordes del corte para que se adhieran de mejor manera con la otra pieza de bambú. (BambooU, 2019)

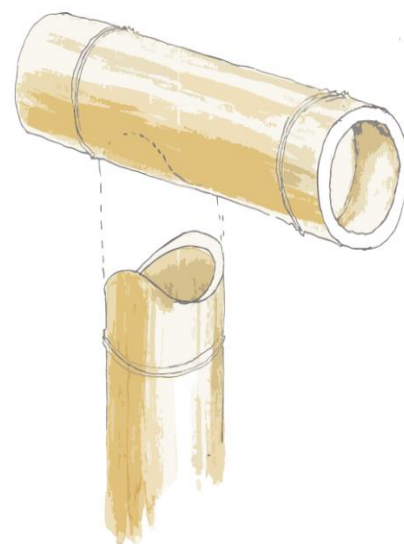


Figura 65 Corte Boca de Pescado

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p.31)

Este empalme puede ser realizado tanto con elementos naturales, como industriales, es decir que, se lo puede juntar con pasadores de bambú o espárragos metálicos (Figura 66). La ventaja de utilizar los pasadores del mismo material, es que el comportamiento ante diferentes cambios ambientales va a ser el mismo, mientras que con los elementos metálicos, al ser de otro material las contracciones y dilataciones ante ciertos factores pueden ser diferentes. (Aguilar, 2018)

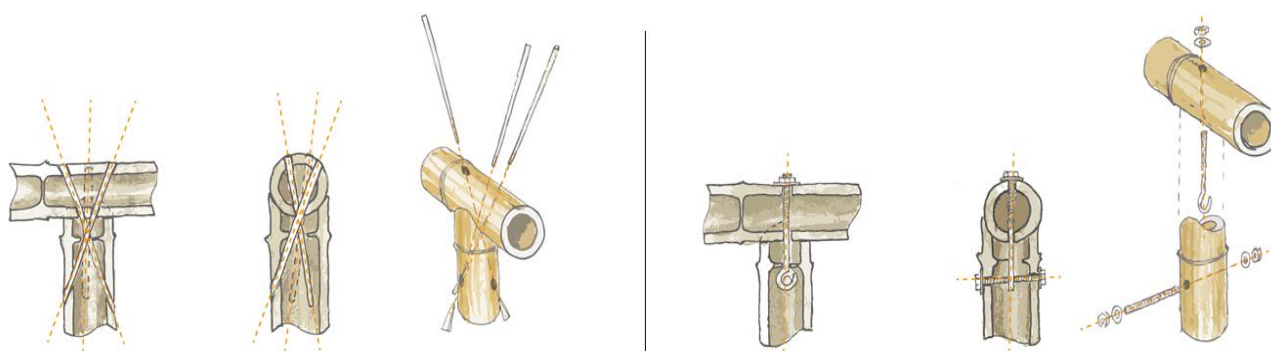


Figura 66 Unión con pasadores de bambú y espárragos metálicos

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p. 32)

La unión con boca de pescado también puede servir para unir varios elementos a la vez, incluso tiene una variación con dos orejas que permite que su sujeción se efectúe de manera más eficaz, sin embargo, requiere un corte más complejo que el corte tradicional. Son muchas las uniones que se pueden realizar utilizando el corte de boca de pescado (Figura 67).

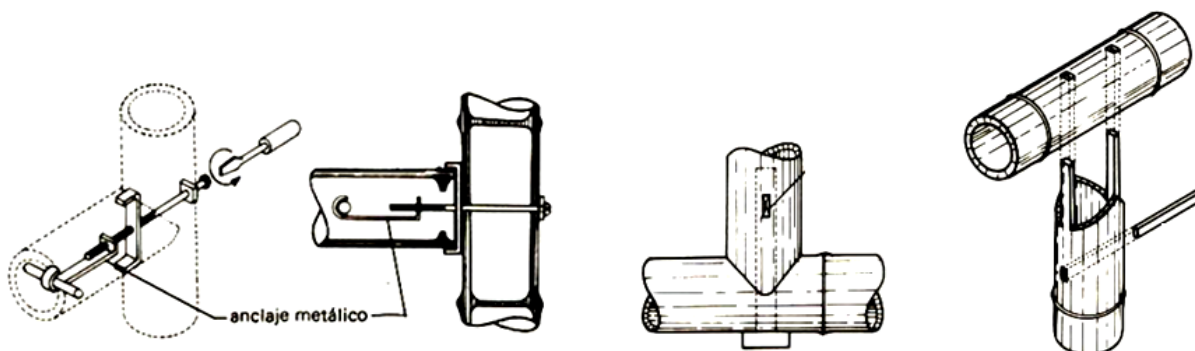


Figura 67 Ejemplo de uniones con el uso de la Boca de Pescado

Fuente: Adaptado de Oscar Hidalgo (1981, p.15)

A pesar que el agregar materiales metálicos puede proporcionar mayor rigidez y estabilidad, lo que significa que el rendimiento estructural va a aumentar, se debe tomar en consideración la oxidación de las piezas ya que eso puede presentar un problema en el futuro. (Editorial, 2017) Existen tanto uniones simples como complejas que utilizan espárragos metálicos para su sujeción como se puede apreciar en la Figura 68 y Figura 69.

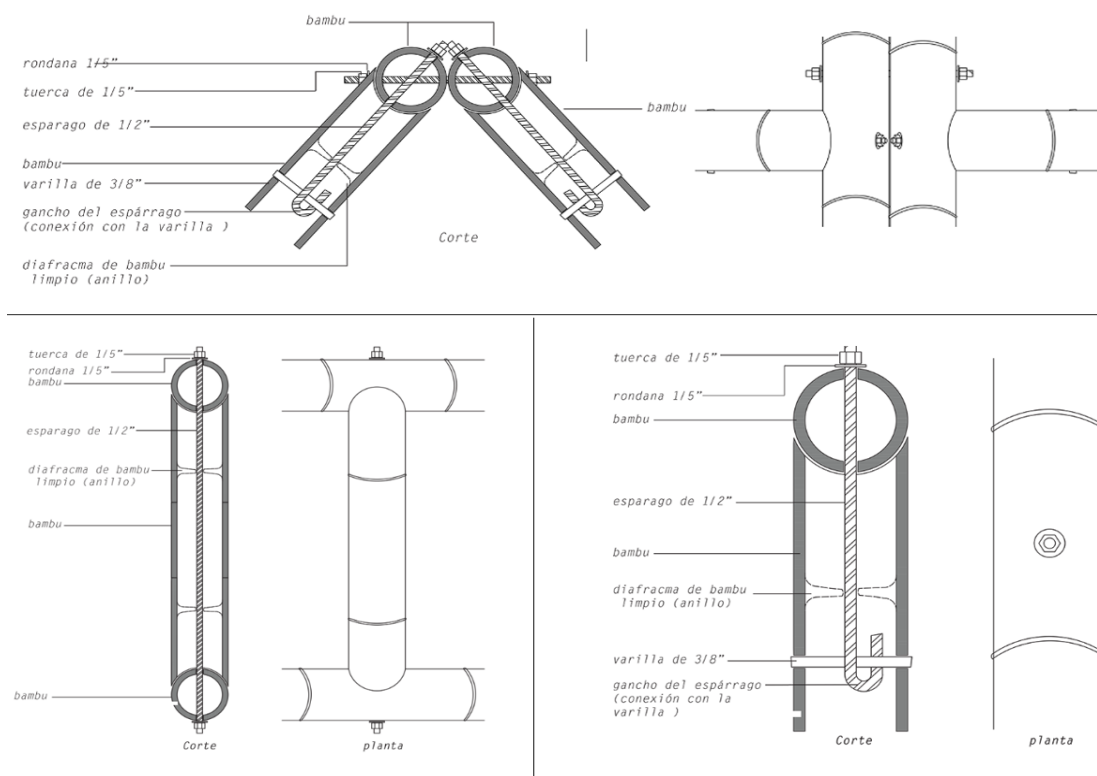


Figura 68 Detalle uniones de bambú utilizando espárragos metálicos

Fuente: Taller Carlos Leduc Montaña / UNAM (2015, para. 10)



Figura 69 Aplicación de las diferentes uniones en estructuras de bambú

Fuente: Taller Carlos Leduc Montaña / UNAM (2015, para. 10)

Existen también otro tipo de uniones, específicamente horizontales, que se pueden realizar con los culmos de bambú, sin embargo su finalidad no es estructural ya que no pueden ser sometidos a fuerzas de compresión o tracción. Estas uniones consisten en realizar cortes a los tallos de bambú, para ser ensamblados con otros; estos cortes pueden ir desde lo simple a lo complejo como se puede ver en la Figura 70. (Hidalgo, 1981)

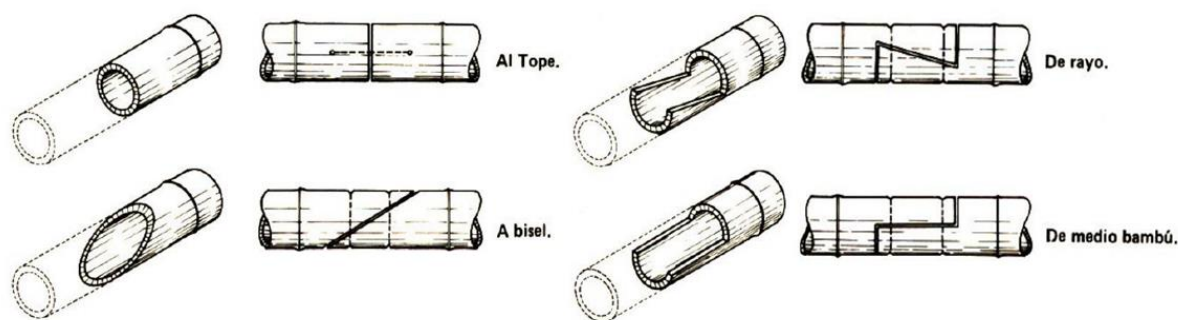


Figura 70 Ejemplos de ensambles con culmos de bambú

Fuente: Adaptado de Oscar Hidalgo (1981, p.18)

3.3 Cimentaciones

Las cimentaciones cumplen una importante función dentro de la capacidad estructural de un edificio, ya que es en ésta donde se encuentra asentada toda la estructura portante de las edificaciones, por esta razón es importante que se trabajen de la mejor manera, asegurando la integridad física y estructural de los elementos de bambú.

Existen diversos métodos para la ejecución de las cimentaciones, basados en las características de cada lugar. Se debe tomar en consideración el tipo de suelo y las características ambientales, como también los fenómenos naturales a los que se puede ver expuesto y que pueden comprometer sus capacidades. Cuando utilizamos el bambú en las cimentaciones es importante evitar el contacto directo con factores que puedan afectar su equilibrio de humedad interior, ya que esto supondría un deterioro para su composición física y mecánica.

Normalmente las cimentaciones buscan proteger o alejar el bambú del contacto directo con el suelo, ya que la humedad que este tiene puede generar un aumento en el contenido de humedad del tallo de bambú generando una dilatación de sus paredes, la misma que puede generar fisuras y roturas, en especial en las intersecciones de las uniones. Esta humedad puede generar hongos, que llevarían a la putrefacción del tallo comprometiendo la estructura general. Para evitar el contacto directo del bambú con el suelo natural, se lo puede realizar a través de elementos como zócalos, pedestales y pilares (Figura 71). (MIDUVI, 2016)

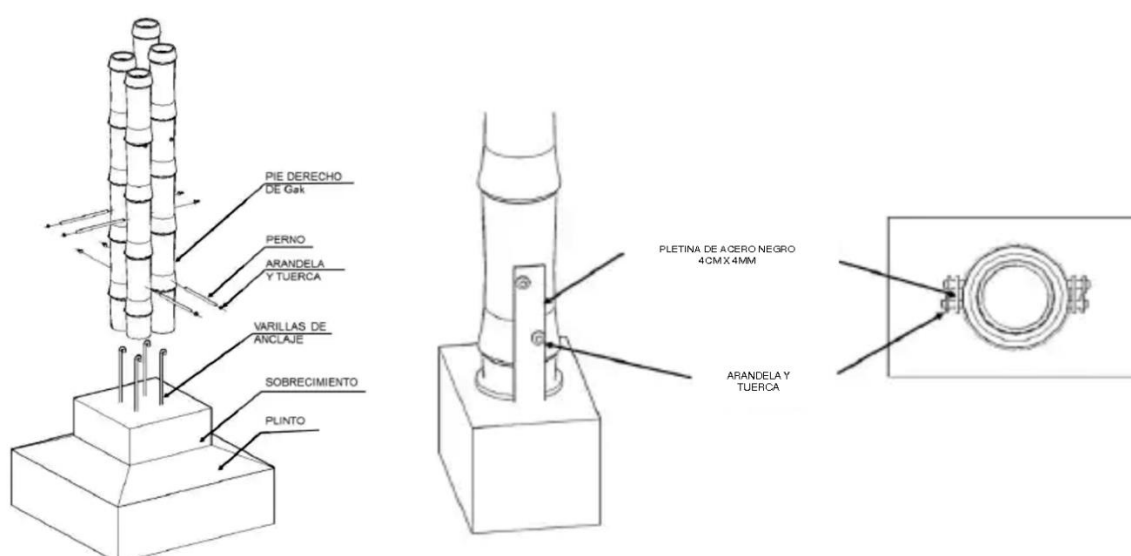


Figura 71 Cimientos con el uso de zapatas para elevar el bambú

Fuente: MIDUVI (2016, p. 51)

También puede existen otros métodos que utilizan varillas metálicas, tubos y elementos de metal para elevar los culmos de bambú del contacto con el suelo (Figura 72 y Figura 73).



Figura 72 Uso de elementos metálicos para proteger el bambú del contacto con el suelo

Fuente: Adaptado de Taller Carlos Leduc Montañó / UNAM (2015, para. 10)

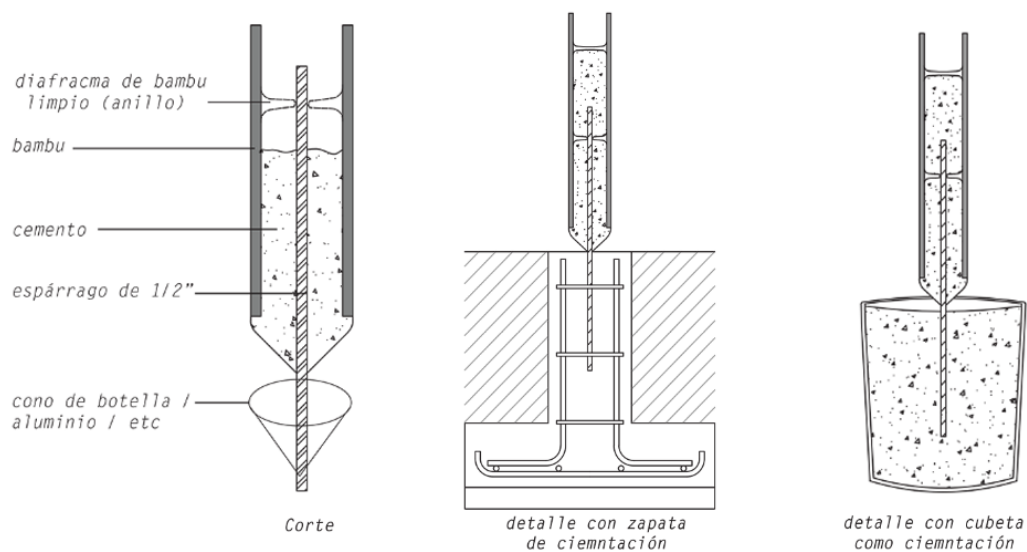


Figura 73 Detalle constructivo de cimentación con bambú

Fuente: Adaptado de Taller Carlos Leduc Montaña / UNAM (2015, para. 10)

Las resoluciones constructivas de cimentaciones pueden ser efectuadas- elevando todo el nivel del suelo de la construcción conjuntamente a los culmos, o a su vez elevando solamente las piezas de bambú, asegurando su protección ante posibles daños (Figura 74).



Figura 74 Izq: Zab E Lee Cooking School | Der: Centro de Desarrollo Infantil El Guadual

Fotografía: Chiangmai Life Construction Architects | Iván Quiñones (2014, para.1)

3.4 Otras formas de utilizar el Bambú

El bambú al ser un material tan versátil puede ser trabajado con la finalidad de ser utilizado en diferentes aspectos de la construcción adicionalmente al ámbito estructural. Otra característica del bambú es que puede cambiar su morfología para diferentes usos en la arquitectura, por lo que no solamente se presenta en su forma natural cilíndrica sino que el tallo puede ser transformado en un panel horizontal, o a su vez cortado en pequeños fragmentos, los mismo que pueden tener diferentes tipos de aplicaciones siendo la más utilizada para recubrimiento de paredes y coberturas. Estos elementos son comúnmente utilizados como complemento para generar una arquitectura compleja y flexible.

3.4.1 Latas

Las latas son elementos de bambú que se crean a partir de tiras longitudinales de sus tallos, es por esto que normalmente se utilizan culmos frescos de la parte inferior o media, ya que para el procedimiento de elaboración el rajado de los mismos es más fácil. Para poder ser empleados en diferentes maneras se utilizan tallos que van de 1 a 8 metros de longitud, de los cuales sus secciones son divididas en 4 o más partes según las dimensiones deseadas. Las aplicaciones más comunes de las latas van desde mobiliario, paredes (Figura 76) e incluso para la elaboración de bahareque (Figura 18). El procedimiento para su obtención puede ser efectuado de manera manual o con el uso de una maquina latilladora, (Figura 75). (Aguilar, 2018)

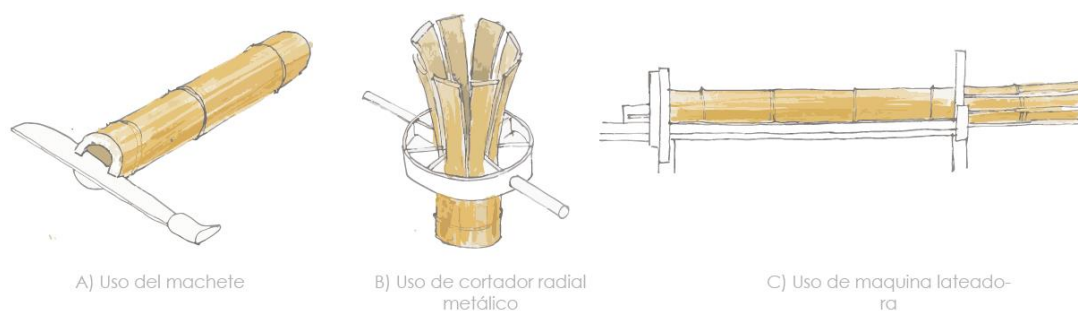


Figura 75 Métodos para elaborar latas de bambú

Autor: Lucila Aguilar (2018, p. 41)

Si se lo efectúa de manera manual se puede utilizar un hacha o un machete, el cual debe utilizarse para hacer una incisión perpendicular a los nudos y cortarlos de manera longitudinal a las fibras. También existe otra técnica manual que es más simple y rápida la cual consiste en utilizar un cortador radial metálico el cual debe posicionarse en la parte superior del tallo hasta llegar a su base; el número de latas que se obtenga dependerá de la cantidad de cuchillas que contenga el cortador. Por otra parte existe un método mecánico que se lo efectúa con una maquina latilladora la cual tiene el mismo principio que el cortador manual, solo que sirve para obras de mayor magnitud. De todas maneras en ambos métodos es necesario retirar la materia blanca ya que puede ocasionar ataques biológicos, además es importante colocar un preservante para asegurar su durabilidad. (Aguilar, 2018)



Figura 76 Centro Comunitario con Paredes de Bambú

Fotografía: Pedro Bravo, Sofía Hernández, Francisco Martínez (2015, para.1)

3.4.2 Esterillas

Las esterillas a diferencia de las latas, son tableros obtenidos a partir de los tallos de bambú. Normalmente se obtienen de la zona intermedia del tallo ya que tienen las características más apropiadas para estos elementos planos. Al igual que las latas las dimensiones de los tallos utilizados pueden variar desde 1 a 8 metros de longitud, dependiendo de la función que vaya a cumplir. Es importante que se utilicen culmos maduros, es decir que tengan más de tres años, no obstante para su elaboración debe utilizarse tallos que estén recién cortados, ya que estos contienen más humedad lo que permite que el proceso de elaboración sea más fácil, debido a que son más susceptibles a modificaciones morfológicas por su flexibilidad. Sus aplicaciones más comunes dentro de la arquitectura son muy variadas ya que pueden ser utilizados en pisos, paredes, recubrimientos (Figura 78) cielos rasos e incluso en cubiertas o para aligerar las losas de hormigón.

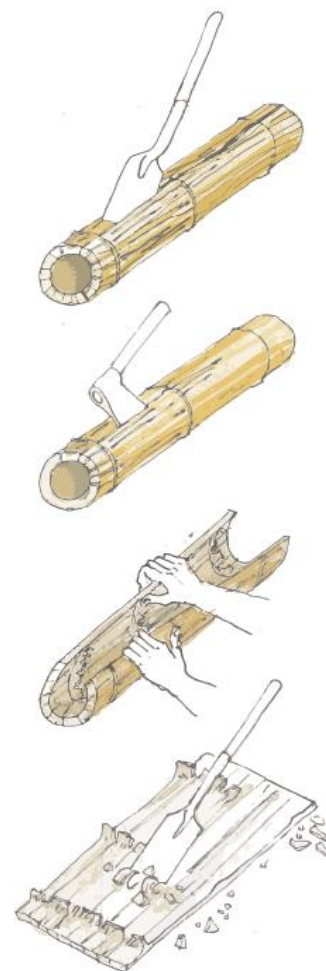


Figura 77 Proceso de elaboración de la esterilla de bambú

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p.42)

Normalmente la elaboración de las esterillas es de forma manual, el procedimiento consiste en colocar el tallo de bambú sobre una superficie horizontal, posteriormente deben hacerse varias incisiones perpendiculares a los nudos con separaciones de hasta 3cm, después con la ayuda de una pala o con la misma hacha, se abre longitudinalmente el tallo en su totalidad, rompiendo los diafragmas interiores; luego se debe abrir el tallo con las manos hasta que quede completamente horizontal (Figura 77). Al igual que en la elaboración de las latas es necesario retirar la materia blanca del interior ya que atrae insectos y hongos, posteriormente debe ser lavada para poder aplicar preservante que ayude a mantener su durabilidad. (Hidalgo, 1981)



Figura 78 Puerta de Bambú en el Centro Tinku de Quito, Ecuador

Fotografía: Autoría Propia

3.4.3 Pasadores de Bambú

Los pasadores de bambú son elementos que sirven para fijar dos piezas; es una de las soluciones más apropiadas para tratar las conexiones de bambú, ya que al estar hechas del mismo material el comportamiento ante diferentes factores será el mismo. Sin embargo se debe tomar en cuenta que los pasadores de bambú pueden soportar cargas hasta 100kg con su capacidad total, por lo que al generarse cargas mayores, es recomendable reforzar con piezas de acero y mortero. (Aguilar, 2018)

Los pasadores son secciones cilíndricas de bambú que se utilizan como unión de diferentes estructuras del mismo material (Figura 81). Su diámetro es variable según las piezas en las que va a insertarse y las diferentes secciones de los orificios realizados, mientras que la longitud tiene una medida estándar de 250mm. El proceso para obtener los pasadores

de bambú es manual por lo que el tiempo de ejecución tarda alrededor de 2 días. Es necesario tomar fragmentos de los dos primeros entrenudos del tallo ya que esta es la zona con las mejores condiciones para realizarlos. Al tener los pedazos de bambú, se dividirá en diferentes segmentos longitudinales, donde la cantidad de segmentos obtenidos va a depender de las dimensiones requeridas.

Posteriormente pueden adquirirse utilizando dos técnicas, la primera utiliza una plantilla metálica, la misma que debe contener orificios circulares de diferentes diámetros para las dimensiones pretendidas de los pasadores. Se coloca los segmentos en la parte superior y mediante la ayuda de un martillo de madera, y se procede a golpear el segmento hasta el otro extremo de la plantilla para adquirir su forma final (Figura 79). Por último se coloca al sol por dos días mientras se lo rota constantemente. Por otra parte el otro método es más simple, sin embargo, requiere más experiencia ya que consiste en dar la forma deseada con la ayuda de un cuchillo o navaja (Figura 80), la ventaja de este método es que los pasadores obtenidos tienen más resistencia debido a que se mantiene una ligera capa de sílice³⁸ en el exterior.

Cuando son utilizados los pasadores de bambú es necesario que su diámetro sea ligeramente mayor que el diámetro del orificio, con el fin de generar mayor estabilidad a las uniones. Para unir las piezas se perfora con un taladro en diagonal para poder clavar el pasador con la ayuda de un martillo de madera, posteriormente se recortan los extremos sobresalientes con la ayuda de un cuchillo. Para generar más presión se clava una cuña de bambú en el sentido opuesto y se perfilan los extremos que sobresalgan. De esta manera queda efectuada la unión entre dos piezas de bambú. (Aguilar, 2018)

³⁸ También conocido como Oxido de Silicio (SiO_2) es un componente natural que se encuentra presente en diferentes elementos, entre ellos el bambú en especial sus brotes y parte inferior.

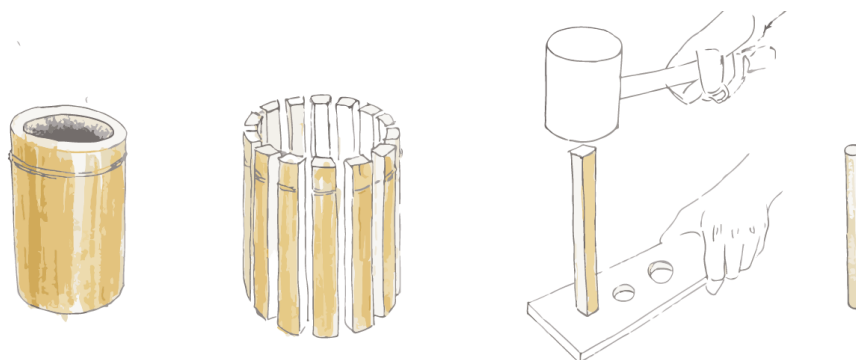


Figura 79 Obtención de pasadores de bambú utilizando una plantilla metálica.

Autor: Lucila Aguilar (2018, p.33)



Figura 80 Obtención de pasadores de bambú utilizando un cuchillo

Autor: Lucila Aguilar (2018, p.34)



Figura 81 Uso de los pasadores de bambú en la estructura

Fuente: Chiangmai Life Construction

3.5. Resumen del Capítulo

Una de los factores determinantes para un buen comportamiento del bambú en los diferentes elementos constructivos, viene dado por la protección previa a la que se vio expuesta. Es por esto que es fundamental realizar un buen procedimiento de tratamiento y de secado a los tallos de bambú. A pesar de que existen diferentes métodos para protegerlo y secarlo, tanto de manera natural como artificial, existen métodos más efectivos y más amigables tanto con el medio ambiente como con el material. Si bien es cierto en el caso de los métodos naturales su tiempo de ejecución es mayor, tienen la ventaja de ser más amigables con el bambú. Por otro lado existen métodos artificiales que no son tan agresivos y son sumamente efectivos como es el caso del el tratamiento por inmersión en sales de Boro, o el secado por inyección de aire caliente, donde su tiempo de ejecución es menor que los métodos tradicionales.

Asimismo no solo existen diferentes técnicas de tratamiento, sino también, diferentes técnicas para realizar las uniones con piezas de bambú. Actualmente existen muchas formas de fijar las estructuras en bambú, partiendo de las más tradicionales que utilizan cuerdas de fibras naturales, pasando a generarse uniones por elementos creados en bambú, sin embargo con el pasar del tiempo aparecen nuevos métodos de fijación que utilizan elementos metálicos, así como otro tipo de técnicas y cortes que permiten resolver uniones más complejas. Las uniones pueden ser efectuadas longitudinalmente así como transversalmente, en base a las necesidades de la edificación, sin embargo el uso de correas metálicas puede significar una mayor duración en obra y menor costo de manutención posterior.

Otro factor importante a considerar son las técnicas en las cimentaciones ya que estas pueden influir en la resistencia del elemento en bambú. Las cimentaciones pueden ser abordadas de diferentes maneras, sin embargo para garantizar una mayor durabilidad del material se debe evitar el contacto directo con el suelo, esto con la finalidad de evitar que la

humedad ascienda a través de las fibras de bambú. Al igual que en las uniones, en las cimentaciones se aplican varias técnicas con diferentes tipos de materiales. Los tallos de bambú pueden introducirse en el suelo, o a su vez ser elevados del suelo con ayuda de elementos metálicos y de otros materiales.

Por otro lado el bambú puede ser utilizado de diversas maneras, las mismas que no siempre son aplicadas con su forma cilíndrica natural, sino que puede ser modificado para la elaboración de latas y esterillas, las mismas que cumplen funciones de revestimiento y decorativas dentro de la arquitectura.

4. CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS

Como fue establecido anteriormente, las construcciones en bambú son elaboradas principalmente en lugares donde existe un fácil acceso a este material para su uso en la construcción, esto se da cuando las condiciones climáticas son las más apropiadas para su crecimiento y regeneración, es por eso que tanto Asia como Latinoamérica debido a sus climas tropicales y sus tipos de suelo son los continentes con mayor cantidad y diversidad de especies de bambú. Sin embargo esto no significa que no se puedan construir obras de gran calidad e importancia en países y continentes que no cuenten con el bambú como una especie nativa de la zona.

Este tipo de construcciones se logra principalmente con el correcto tratamiento del material y con el uso de las técnicas más adecuadas para cada uno de los proyectos. Es posible crear importantes edificaciones en bambú al igual que se lo haría en lugares de climas tropicales. Todo esto se vuelve viable porque el bambú es un material muy versátil, con propiedades de adaptación a diferentes condiciones, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias, además de que cuenta con grandes beneficios tanto para el medio ambiente como para sus usuarios. Se debe recalcar que el uso de bambú en zonas donde no es originario ha ido incrementando con el paso de los años, esto se debe a que hace algunas décadas no existían normativas internacionales que regulen su uso y aplicación haciendo que el uso de bambú en las construcciones sea restringido en ciertos países, lo que generaba un rechazo hacia el mismo y se optaba por el uso de materiales tradicionales como madera, hormigón y acero. Sin embargo en el 2004 se implementó la normativa ISO para este material, la misma que como fue previamente mencionada, en el año 2019 fue reemplazada por una nueva versión de normativas para estructuras de bambú. Aunque no se ha llegado a emplear en la misma medida que Latinoamérica o Asia, el bambú fuera de estos continentes ha sido aplicado tanto de manera decorativa, como estructural e incluso en la totalidad de la construcción (Figura 82).

Existen varios proyectos que utilizan el bambú en su totalidad así como de manera parcial en conjunto con otros materiales, lo que otorga una diversidad estética a los proyectos. Este tipo de construcciones pueden ser de diferentes escalas e incluso arquitectura efímera. Algunas de las obras que utilizan bambú fuera de dichos continentes son las siguientes:

- Pabellón Temporal “Contemplation”

Realizado el 2018 por los arquitectos Simón Vélez y Stefana Simic, se encuentra ubicado a orillas del río Ródano en Arles, Francia. Este fue el sitio escogido para crear el pabellón, el cual estaba proyectado para poder ser montado y desmontado del lugar. Contemplation cuenta con un área de 1000m² y demora cerca de un mes en ser construido, se implementó una técnica diferente de las que suele utilizar comúnmente el arquitecto colombiano ya que uso piezas metálicas en vez de llenar los canutos con mortero de cemento. Una parte fue prefabricada en Colombia, mientras que el resto se realizó directamente en Francia. Este proyecto fue contemplado como lugar de serenidad, su diseño estuvo inspirado en las malocas indígenas de los ríos Orinoco y Amazonas, las cuales cuentan con un amplio espacio interior, del cual fue inspirado el espacio central de la exposición. (Moribe, 2018)



Figura 82 Interior del Pabellón Temporal

Fotografía: Patricia Moribe (2018, para.1)

- MPavilion 2016

Fue realizado en el 2016 por el arquitecto indio Bijoy Jain del Studio Mumbai. Este proyecto forma parte de un movimiento internacional que comenzó en el 2014 el cual busca valorizar la arquitectura hecha a mano y que fue inspirado por la Fundación Naomi Milgrom. El pabellón de verano originalmente fue ubicado en Queen Victoria Gardens de Melbourne, Australia, permanece allí de manera temporal cerca de cinco meses, para luego ser ubicado en el CBD de Melbourne y dar paso al pabellón del año siguiente.

Cuenta con un área aproximada de 17m², y fue realizado a partir de 7km de bambú importados de la India, 50t de piedra y 26km de cuerda (Figura 83). Además de que los paneles entretejidos que forman parte de la cobertura fueron realizados por artesanos de la India con elementos de la planta Karvi. Este pabellón está inspirado en la cultura india, lo que se puede ver reflejado principalmente en la torre de “Tazia” que se encuentra como elemento en la entrada, así también como la abertura de la cubierta, la cual descende directamente hasta un pozo resaltando mediante la luz solar la importancia que tiene el agua dentro de la sociedad. (Hites, 2016)



Figura 83 Interior del MPavilion 2016

Fotografía: John Gollings (Hites, 2016, para.5)

- “ZERI Pavilion”

Este pabellón fue realizado por el arquitecto colombiano Simón Vélez para la Fundación Zeri (Zero Emissions Research and Initiatives) y fue parte de la Expo2000 en Hannover, Alemania. Fue uno de los proyectos más visitados de la exposición, sin embargo para poder ser construida en Alemania tuvo que pasar por una serie de pasos que le permitan cumplir con las características propicias para obtener los permisos necesarios de su construcción. Fue necesaria la construcción de un prototipo exacto del Pabellón, el cual fue ubicado en Manizales, Colombia (Figura 84); el objetivo de esto era realizar las pruebas estructurales necesarias para que su construcción en Hannover fuese aprobada.

El proyecto tiene un área total de 2000m² donde se utilizaron aproximadamente 3000 piezas de *Guadua Angustifolia Kunth*, en conjunto con cemento, acero y piezas de madera. Este pabellón tiene forma circular, lo que significa que no existe un inicio y un fin, esto era para representar que ZERI es una organización con acceso universal y conceptos aplicables para cualquier lugar y situación. Con este proyecto el arquitecto dio una nueva connotación del bambú para el resto del mundo mostrando así todas sus propiedades. (Tiempo, 1999)



Figura 84 Replica del Pabellón ZERI en Manizales

Fuente: Adaptado de LaPatria (Franco, Arquitectura en Bambú: la obra de Simón Vélez, 2013b, para. 3)

- “Vergiate Pavilion”

Fue realizado en el año 2003 por parte del grupo “Emissioni Zero” con los arquitectos Valeria Chioretto y Neri Baulin como encargados. Se encuentra ubicado en el parque Ticino de Vergiate al norte de Italia, y es utilizado principalmente para llevar a cabo eventos culturales. Este proyecto fue la primera construcción permanente realizada en Europa, sin embargo fue inspirada en el Pabellón ZERI realizado en Alemania; es por eso que las uniones utilizadas son de bambú con mortero (Figura 85), las mismas que emplea el arquitecto Simón Vélez en sus obras. Fue necesario importar 400 culmos de *Guadua Angustifolia* desde Colombia los cuales tuvieron que ser previamente preservados con la técnica de humo.

El pabellón consiste en una nave rectangular de 32m x 16m, la misma que se encuentra dividida en 3 partes según la altura de sus cubiertas. La parte central tiene una altura aproximada de 7m mientras que las dos partes laterales son de 6m de alto, por otra parte la sección transversal tiene 10m de distancia entre pilares, los mismos que son efectuados con una técnica de 3 tallos de bambú por cada pilar con el objetivo de otorgar más estabilidad. (Minke, 2012)



Figura 85 Vista del Vergiate Pavilion

Fotografía: Christoph Tönges

- “Low Energy Bamboo House”

Este proyecto fue realizado en el año 2010 por “AST 77 Architecten”, donde el arquitecto a cargo era Peter Van Impe. Se encuentra ubicado en Rotselaar, Bélgica y es un proyecto residencial el cual reemplazó a una antigua casa existente en el terreno, su área de construcción es de 118m², la misma que se divide en tres niveles. Es un proyecto con características estrechas ya que es un rectángulo de 26,3m x 4,5m el mismo que se encuentra ligeramente enterado debido a la pendiente del terreno.

En este proyecto el bambú es utilizado de manera parcial, ya que solamente es aplicado como recubrimiento de todo el proyecto. El exterior de la edificación está compuesto por tallos de bambú dispuestos de manera vertical dentro de unos marcos de acero de color negro como se puede ver en la Figura 86. El bambú crea un efecto interesante de iluminación en el interior del proyecto, además tiene como objetivo crear una ganancia solar de manera pasiva generando calor en el interior en la época de invierno, mientras que en verano los paneles de bambú funcionan como una protección para los rayos de sol, en conjunto con los árboles que rodean la casa. (Architecten, 2012)



Figura 86 Vista Exterior de Low Energy Bamboo House

Fotografía: Steven Massart (Architecten, 2012, para.1)

En el caso de Low Energy Bamboo House al encontrarse situado en un ámbito de situaciones climáticas adversas, el uso del bambú como elemento de recubrimiento permitió que la calidad térmica en el interior sea más elevada; esto se debe principalmente a las características físicas que posee el bambú, ya que al ser un cilindro hueco se convierte en un aislante térmico natural y ecológico.

Se debe destacar que los proyectos realizados fuera de los continentes que tienen al bambú como planta endémica utilizan diferentes tipos de bambú para sus construcciones. Esto permite que el diseño no se vea limitado a una sola especie con características específicas sino que puede ser combinado para crear diferentes espacialidades. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que el bambú va a estar expuesto a condiciones climáticas diferentes de aquellas que se encuentran en su país de origen, por lo que es necesario realizar los estudios pertinentes que permitan establecer las condiciones en las que debe ser aplicado dentro de la construcción.

4.1 Metodología de Análisis

El bambú fue escogido para ser analizado como material constructivo, principalmente por el comportamiento que ha presentado frente a diferentes fenómenos naturales. Un ejemplo es el terremoto ocurrido en Ecuador en 2016 donde las viviendas construidas con este material reaccionaron positivamente ante estos movimientos. Es por eso que cada vez existen más arquitectos que apuestan por el uso de este material en sus obras, recontextualizando el uso de los sistemas constructivos en bambú para una arquitectura contemporánea. El bambú fue escogido como material predominante en los proyectos que serán analizados, debido a las propiedades que posee, la versatilidad que genera para sus diseños y sobre todo por sus cualidades como material sustentable, las mismas que deben ser evidenciadas de manera clara en cada uno de los proyectos. Para la elección de los casos de

estudio de este trabajo fue necesario establecer una serie de pasos, los cuales permiten determinar las opciones más adecuadas para realizar el análisis posterior.

Era primordial escoger casos de estudio que se encuentren ubicados en zonas de diferentes características, con el objetivo de analizar el comportamiento que presenta el bambú en base a diferentes circunstancias tanto geográficas, climáticas y culturales. Debido al tiempo disponible para la realización de la tesis, fue decidido en la etapa inicial que sería realizado el análisis de solamente dos casos de estudio, los mismos que debían pertenecer a diferentes continentes. Al ser de nacionalidad Ecuatoriana, América fue elegida como uno de estos continentes, posteriormente debido al análisis de la bibliografía consultada, al ser Asia el continente con más especies de bambú, fue elegido como la opción más acertada para la elección del caso de estudio.

A pesar de que el bambú se encuentra presente en diferentes continentes del planeta como es el caso de África, fue escogida América y Asia, debido a que han presentado un mayor desarrollo del mismo dentro de la arquitectura. Sin embargo en base a la bibliografía consultada se pudo determinar que en África se está apostando cada vez más por el uso de este como material constructivo, lo que podría conllevar a un posterior análisis de nuevos casos de estudios en este continente.

Al ser establecidos los continentes pertenecientes a los casos de estudio y en base a la bibliografía analizada previamente, tanto en lo que se refiere a propiedades del material, así como diferentes sistemas constructivos utilizados, fueron establecidas las pautas necesarias para la elección de los casos de estudio. Las características que debían cumplir los proyectos para ser considerados era, ser de mediana o gran escala, tener un uso programático de carácter más industrial y no residencial, y tener el bambú como material principal en su estructura. Era importante establecer estos aspectos, ya que de esta manera podían crearse

pautas en las que pueden ser comparados, para de esta manera establecer las diferencias que existen, o a su vez, las coincidencias que presentan para las soluciones constructivas en cada uno de los casos de estudio.

Una vez establecidos estos parámetros fueron contactados cerca de 12 estudios de arquitectura en ambos continentes con la finalidad de obtener mayor información para un mejor análisis posterior. Los estudios contactados variaron entre arquitectos de renombre como es el caso de Kengo Kuma y Simon Velez, sin embargo al no ser un factor predominante, también fueron contactados arquitectos locales, los mismos que trabajan con bambú en diferentes obras arquitectónicas.

Chiangmai Life Construction en Tailandia, fue el primer estudio que puso a disposición información acerca de su proyecto *Bamboo Sports Hall Panyaden International School*, por lo que se convirtió en el referente escogido para ser el caso de estudio del continente Asiático. En base a la elección del primer caso de estudio fue necesario buscar proyectos en Latinoamérica que cumplan con ciertas similitudes en cuanto a tipología constructiva para poder realizar el análisis comparativo. Posteriormente fue establecido contacto con Lucila Aguilar Arquitectos ubicado en México, los mismos que se dispusieron a aclarar ciertas dudas referentes a su proyecto de “La Ceiba”. Este fue el proceso que logro determinar cuáles serían los dos casos de estudio para esta disertación. Estos son solo algunos proyectos que demuestran las capacidades del bambú para la arquitectura, sin embargo hay que destacar que existen varios proyectos en ambos continentes y fuera de ellos que trabajan con bambú como elemento constructivo, y los cuales pueden ser analizados en trabajos futuros como complemento de esta disertación. Asimismo la bibliografía consultada previamente, da las pautas necesarias para el análisis en lo que se refiere a los aspectos constructivos, debido al conocimiento adquirido acerca de temas generales y constructivos.

Al ser establecidos La Ceiba y Bamboo Sports Hall como casos de estudio, se mantuvo un contacto directo con ambos estudios de arquitectura responsables por los mismos, a través de mails y llamadas telefónicas, las mismas que resolvían dudas pertinentes en ambos proyectos. En el caso de Chiangmai Life Construction, tuve contacto directo con Carolina Rivadeneira, que forma parte del estudio de arquitectura. A través de diversos emails fueron aclaradas dudas y aspectos técnicos correspondientes al proyecto. Fueron proporcionados diferentes elementos como imágenes del proceso de obra, tablas con información de las propiedades técnicas de cada especie de bambú, elementos tridimensionales de la estructura y detalles constructivos de diferentes elementos. En base a toda la información proporcionada fue posible elaborar el análisis posterior para poder ser comparado con los aspectos técnicos del caso de estudio en Latinoamérica.

Por otro lado para Lucila Aguilar Arquitectos tuve un primer contacto con Lucila Aguilar, la misma que me puso en contacto con Miguel Vargas, uno de los arquitectos encargados del diseño de las diferentes estructuras de La Ceiba. A través de diferentes emails, y finalmente, con una llamada telefónica directa fueron resueltas varias dudas que existían con respecto a los Dormitorios de La Ceiba. Seguidamente fue proporcionado diferentes elementos como sus manuales de construcción, detalles constructivos y láminas del concepto utilizado; los mismo que permitieron un mejor entendimiento del proyecto para la realización del análisis posterior.

Después de haber establecido contacto con los estudios de arquitectura, y en base a toda la información proporcionada por ambos, fue posible la ejecución de un análisis comparativo de las soluciones constructivas que cada uno de los arquitectos utilizó en sus respectivos proyectos. Existen similitudes y diferencias entre ambos, las mismas que serán estudiadas a continuación.

4.2 Continente Asiático

Anteriormente fue establecido que el bambú crece en casi todos los continentes del mundo, siendo el continente Asiático uno de los más representativos en cuanto a diversidad del mismo. Asia cuenta con la mayor población del planeta tierra con más de cuatro mil millones de habitantes, así también es el continente más grande ocupando alrededor de 1/3 de la superficie del planeta (Figura 87). Es por eso que, al tener una extensión tan grande, existe una amplia diversidad de climas, ecosistemas y medioambientes, siendo uno de estos climas el tropical, el mismo que reúne las propiedades adecuadas para el crecimiento de una gran variedad de especies de bambú. Debido a que Asia cuenta con una amplia área de territorio tropical más del 60% de todas las especies de bambú se encuentran en esta zona, es por eso que las construcciones de bambú forman parte de la cultura de varios países asiáticos en especial los que se encuentran al sur del continente, debido principalmente a sus condiciones climáticas tropicales con humedades elevadas.



Figura 87 Extensión del Continente Asiático

Fuente: Adaptado de PngOcean

Como fue previamente establecido las construcciones de bambú se remontan a periodos arcaicos, donde el bambú era utilizado de diferentes maneras que van desde la alimentación hasta su uso en las construcciones de la época. Debido a que el bambú es un material que no necesita maquinaria sofisticada para ser aplicado en construcciones, se convirtió en una de las opciones más viables a la hora de construir en tiempos pasados. Las estructuras de bambú pueden construirse de manera fácil y rápida, ya que son necesarias herramientas básicas como machetes, cuchillos cuerdas, hachas, entre otras; las mismas que al ser utilizadas de manera cotidiana por diferentes sociedades desde épocas remotas elegían el bambú como uno de sus materiales de construcción.

En lo que se refiere al continente asiático, el uso del bambú ha tenido diferentes connotaciones las mismas que han ido cambiando con el paso de los años. Tomando en cuenta que la naturaleza siempre ha formado parte de la cultura, y siendo el bambú uno de los elementos más abundantes en este continente, ha estado presente en las diferentes etapas de su evolución como civilización. Sus primeras aplicaciones fueron elementos cotidianos y rudimentarios como utensilios, herramientas, instrumentos de caza, hasta llegar a ser utilizado como elemento arquitectónico (Figura 88). Uno de las primeras creaciones destacadas en la construcción con bambú fueron puentes en especial en China, los cuales estaban hechos con fibras de bambú para otorgar resistencia y capacidad estructural. (Recht & Wetterwald, 1992)

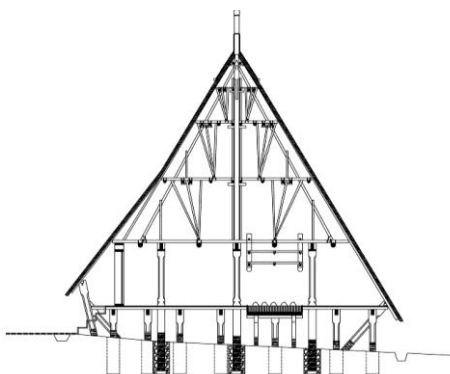


Figura 88 Representación de las Chozas Mbaru Niang en Indonesia

Autor: Aga Khan (Franco, 2013^a, para. 5)

Las tipologías primitivas se mantienen hasta la actualidad en algunas zonas de diferentes países. En el caso de Timor mantiene una cultura ancestral que permanece fuertemente ligada a la población. A pesar de que existen diferentes tipologías de viviendas que responden al entorno donde se encuentran ubicados, es común que mantengan las técnicas vernáculas con materiales naturales y locales que forman parte de su tradición. El bambú es uno de los materiales que se usan en las viviendas de Timor, es principalmente utilizado para la creación de pisos (Figura 89) y paredes en las diferentes construcciones. Para las viviendas, el bambú se utiliza en combinación con otros materiales como eucalipto de Timor, Pandanos, hojas de palma y piedra (Figura 90). (Cinatti, Almeida, & Mendes, 1987)

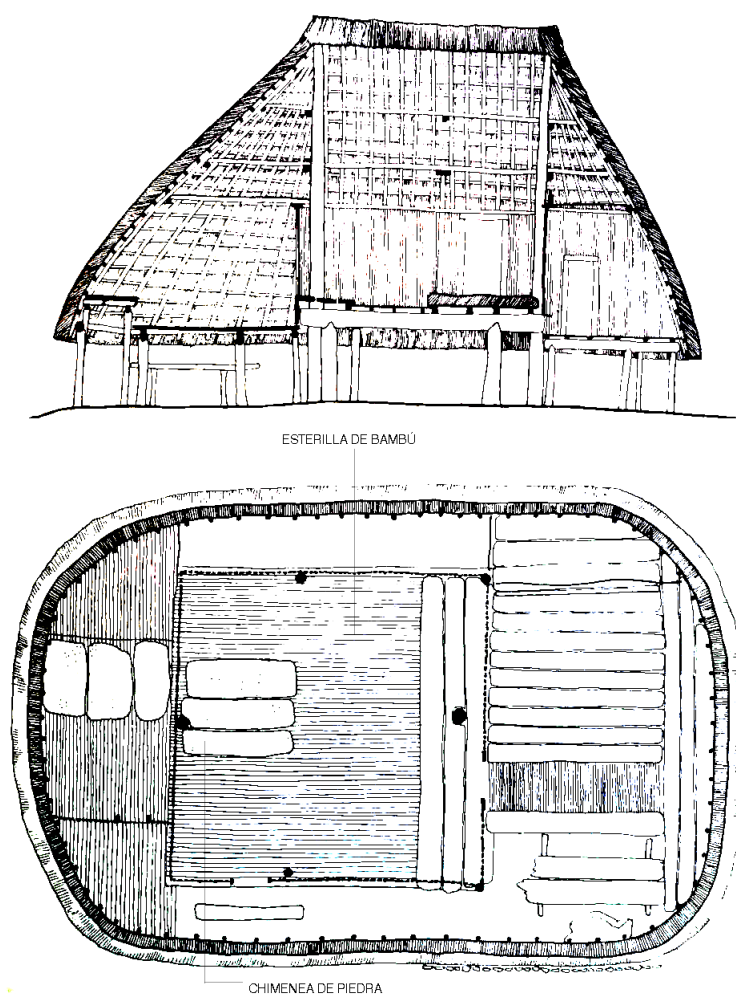


Figura 89 Esquema Vivienda en Timor

Fuente: Arquitectura Timorense (Cinatti, Almeida, & Mendes, 1987)

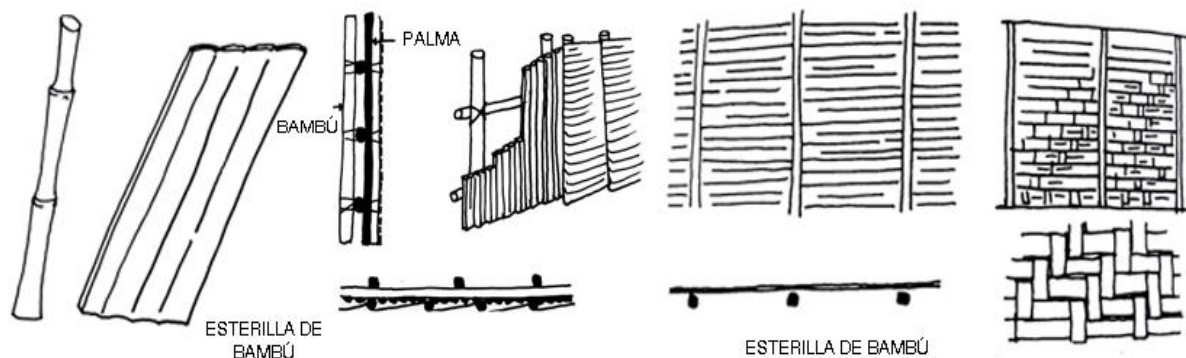


Figura 90 Materiales utilizados en las viviendas Timorenses

Fuente: Arquitectura Timorense (Cinatti, Almeida, & Mendes, 1987)

Debido a todas las propiedades que tiene el bambú su notoriedad como elemento constructivo fue aumentando ya que muchas de las civilizaciones antiguas aprovecharon su flexibilidad y resistencia para crear todo tipo de construcciones. La arquitectura en bambú ha ido evolucionando con el pasar del tiempo pero siempre ha reflejado las características de la cultura, creando construcciones que mimetizan las formas de la naturaleza a través del uso del bambú, con el objetivo de integrarse de mejor manera con su entorno. Este material puede servir como solución para diferentes desastres naturales, y siendo el continente asiático propenso a sufrir movimientos tectónicos, el bambú como material sismo resistente fue una de las soluciones que se encontraron en la actualidad para afrontar este tipo de catástrofes.

Existen innumerables estudios de arquitectura que se dedican a construir con bambú en diferentes países asiáticos, con obras de escalas variadas, y con usos programáticos diversos. Muchos de estos estudios tienen gran renombre a nivel mundial, han sido ganadores de varios premios importantes y han llegado a convertirse en exponentes significativos de la construcción en bambú. Es por eso que muchas de sus obras han servido para conocer algunas de las capacidades que el bambú tiene para ofrecer como elemento constructivo y cuáles son las ventajas y desventajas que presenta este material, con que materiales puede ser combinado, y cuáles son los tratamientos adecuados que debe proporcionarse.

Muchas veces el bambú no fue considerado la primera opción como material constructivo pero desde hace algunas décadas esto ha cambiado mostrando a arquitectos de renombre internacional, cuales son todas estas facetas que pueden llegar a tener el bambú. Un ejemplo de esto se dio cuando el arquitecto Frank Gehry visitó el estudio CLC (*Chiangmai Life Construction*)³⁹ el mismo que al hablar con Markus Roselieb, uno de los arquitectos encargados, y tras conocer algunas de sus obras, pudo determinar que el bambú si es un elemento competitivo a la hora de construir. (Architects C. L., CLA/CLC, 2013) Además existen muchos otros estudios arquitectónicos los cuales trabajan el bambú en conjunto con materiales naturales, creando obras que se desarrollan a lo largo de todo el continente asiático y fuera de él también. Estos son solo algunos de los ejemplos de estos estudios de arquitectura que utilizan el bambú en la construcción.

- IBUKU

Es un taller de arquitectura que trabaja netamente con bambú, como fue previamente establecido fue fundado en 2010 por Elora Hardy y su padre John Hardy, a partir de los conceptos formados conjuntamente con el arquitecto alemán Jörg Stamm en Green School. Se encuentra ubicado en Bali, Indonesia y está formado por un equipo de jóvenes arquitectos, diseñadores e ingenieros los cuales exploran innovadoras maneras de construir con bambú para mostrar que arquitectura de lujo puede crearse en base a este material y al mismo tiempo generar una fuerte relación entre el usuario y la naturaleza. Hasta ahora han sido construidas más de 60 obras con bambú, entre las que se encuentran proyectos que forman parte de *Green Village*, (Figura 91). Todas sus edificaciones tienen como objetivo principal reinventar la concepción de las construcciones modernas, mostrando todo el poder del bambú dentro una construcción sustentable. (IBUKU, 2010)

³⁹ Estudio de arquitectura tailandés especializado en la construcción local de gran calidad realizado con bambú y tierra. En conjunto con CLA (Chiangmai Life Architects) diseñan varios proyectos que hacen uso de materiales naturales y técnicas modernas.



Figura 91 *Sunrise House at Green Village*

Autor: IBUKU (para.1)

- *Vo Trong Nghia Architects*

Estudio de arquitectura fundado por el arquitecto vietnamita Vo Trong Nghia en el año 2006. Actualmente tiene dos oficinas que se encuentran, tanto en Ho Chi Minh City como Hanói, la cuales cuentan con un equipo de más de 60 diseñadores, ingenieros y arquitectos encargados de crear proyectos de diseño contemporáneo e innovador, utilizando materiales naturales y sustentables que se vinculen sutilmente con su entorno. A partir del año 2007 en adelante ha sido ganador de una gran variedad de premios arquitectónicos, siendo considerado uno de los grandes exponentes en la construcción sustentable. Sus técnicas innovadoras con materiales locales, le han otorgado gran renombre a nivel nacional como internacional. A lo largo de los años ha creado obras de diferentes escalas e incluso proyectos de arquitectura efímera, como se puede ver en la Figura 92. Muchas de sus obras son efectuadas con bambú, las mismas que destacan la capacidad que tiene este material para cambiar su morfología, demostrando la versatilidad de formas y diseños que se pueden alcanzar con el uso adecuado del bambú. (Architects V. , 2006)



Figura 92 Estalactita de Bambú

Autor: Vo Trong Nghia Architects

- *Kengo Kuma and Associates*

Es un estudio arquitectónico fundado en 1990 por el arquitecto japonés Kengo Kuma, desde su fundación este estudio ha crecido, llegando a emplear más de 150 asociados, los mismos que forman parte tanto de la oficina en Tokio como la de París. El objetivo principal de sus obras es recuperar las tradiciones de la cultura japonesa reinterpretándolas y plasmándolas en obras modernas. Esto es efectuado a través del uso de diferentes materiales naturales, experimentando con las capacidades de cada uno creando una relación directa con la naturaleza. El bambú es uno de los materiales utilizados en sus proyectos, siendo la obra más destacada, con el uso de bambú como material constructivo, “*Great (Bamboo) Wall House*”. Esta obra fue construida en Beijing, China en 2002, su objetivo principal es mostrar la combinación armoniosa que se puede crear entre el bambú y la naturaleza, como se puede ver en la Figura 93, al mismo tiempo que se genera una continuidad de los diferentes espacios de manera que el usuario puede relacionarse con su entorno, es decir este proyecto no es un elemento aislado, al igual que la Gran Muralla China no lo es. (Associates, 1990)

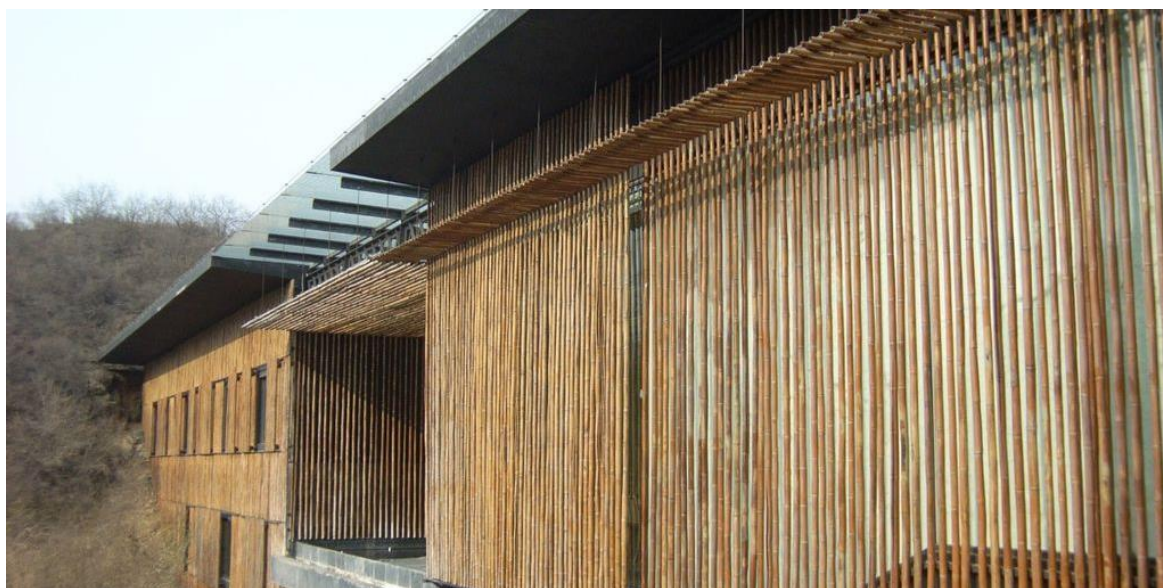


Figura 93 *Great (Bamboo) Wall House*

Autor: Kengo Kuma y Asociados

- *Manasaram Architects*

Es un estudio de arquitectura fundado en el año 1991 por la arquitecta India Neelam Manjunath en Bengaluru, India. Su objetivo principal es combatir los cambios climáticos que se están produciendo en la actualidad, a través del concepto de la combinación de diferentes elementos de la naturaleza para crear un vínculo entre el ser humano y el medio ambiente. Promueven fuertemente el uso de materiales locales y naturales ya que permite que sean recursos renovables con bajo impacto ambiental. Al usar materiales de la zona, también pueden ser utilizadas técnicas locales, las cuales permiten el concebir un proyecto que sea rentable y sostenible. Uno de los materiales que utilizan es sus obras es el bambú, el mismo que se adapta para cumplir con las necesidades de los usuarios. Entre las obras principales con bambú se encuentra “*Bamboo Symphony*”, construida el 2010 como oficinas de *Manasaram Architects*, utilizar el bambú como sustituto de materiales como acero y hormigón (Figura 94), creando una espacialidad abierta para que exista una continuidad constante. (Manjunath, 1991)



Figura 94 *Bamboo Symphony*

Autor: *Manasaram Architects*

Estos son sólo algunos de los referentes que trabajan con bambú en Asia, sin embargo existen muchos arquitectos que trabajan con este material en diferentes países de este continente, ya que el bambú forma parte de su cultura.

“Entonces, ¿por qué bambú? El bambú es el futuro. Es el material más hermoso, versátil, alto y fuerte que podríamos elegir. La selva tropical está casi extinta, la madera contrachapada está hecha principalmente de selva tropical y el cemento tiene una huella de carbono que no ayudará al futuro. Eso deja al bambú y si los niños siembran bambú hoy en ocho años, tendrán madera lista para usar y la obtendrán todos los años durante el resto de su vida para construir todo lo que necesiten”

John Hardy – *Green School*⁴⁰

⁴⁰ “So why bamboo? Bamboo is the future. It is the most beautiful, versatile, tallest and strongest material that we could possibly choose. The rainforest is almost gone, plywood is mostly made from the rainforest and cement has a carbon load that is not going to help the future. That leaves bamboo and if children plant bamboo today in eight years they will have timber ready to go and they will get timber every year for the rest of their life to build anything they need.” John Hardy - *Green School*



“BAMBOO SPORTS HALL PANYADEN INTERNATIONAL SCHOOL”

Como fue previamente establecido al final del punto 4.1, el referente escogido como caso de estudio del continente Asiático es “*Bamboo Sports Hall Panyaden International School*”. Es un proyecto realizado por el estudio arquitectónico CLC (*Chiangmai Life Construction*).

Chiangmai Life Construction Architects es un estudio arquitectónico tailandés especializado en construcción con materiales locales como bambú y tierra, a través de sus proyectos busca crear estructuras de gran calidad de manera sustentable. CLC (*Chiangmai Life Construction*), junto con CLA (*Chiangmai Life Architects*), se encargan de diseñar grandes estructuras con bambú utilizando técnicas modernas pero aplicadas a materiales naturales. Para los arquitectos la combinación de elementos naturales puede proporcionar un valor agregado generando versatilidad espacial y arquitectónica.

“Primero vienen las necesidades del cliente y la función deseada. Después el espacio, luego los materiales. Todos estos factores se consideran en el orden correcto hasta que la forma y el diseño evolucionen a través de un proceso de tomar una idea plausible y rebotarla de un lado a otro hasta que todos sonrían y asienten con la cabeza.” *Chiangmai Life Construction Architects*⁴¹

⁴¹ “*First come the clients need, the desired function, then the space and then the materials. All these factors are considered in the right order until the form and design evolves through a process of taking a plausible idea and bouncing it back and forth until everybody smiles and nods his head.*” *Chiangmai Life Construction Architects*

Es importante que el proyecto sea lo más natural posible, desde el tratamiento del material hasta la ejecución en obra, es por eso que el procedimiento de preservación se utilizaron solo métodos naturales, sin sustancias artificiales, con el fin de mantener baja la huella de carbono. El objetivo principal de los arquitectos es aumentar la calidad de vida de sus usuarios a través de sus obras, y al mismo tiempo reemplazar la noción errada de los materiales naturales como elementos para la ejecución de obras de bajos recursos. (Architects C. L., CLA/CLC, 2013)

El proyecto de *Bamboo Sports Hall* es un pabellón deportivo creado específicamente para *Panyaden International School*. La elaboración de este proyecto tenía la finalidad de complementar el resto de estructuras existentes dentro de la escuela y proporcionar un espacio para la práctica de diferentes deportes y artes teatrales. Las edificaciones precedentes fueron elaboradas con materiales locales, entre los que se encuentra el bambú con el objetivo de integrarse armoniosamente con su entorno, esta fue una de las razones por las que se utilizó este material como elemento predominante del proyecto. Al ser diseñado para una escuela era imprescindible crear una estructura con las características necesarias para albergar a sus 300 estudiantes.

Bamboo Sports Hall se encuentra ubicado en el distrito de Hang Dong, en Chiangmai al noreste de Tailandia (Figura 98). Se localiza en el hemisferio norte, y sus datos geográficos son Latitud 18.7904° N Longitud 98.9847° E, por lo que en esta zona el clima juega un papel fundamental en el diseño de los diferentes proyectos, ya que es necesario prever todos los efectos climáticos de una zona con características ambientales específicas, como temperatura caliente y humedad elevada. De acuerdo con Markus Roselieb y Tosapon Sittiwong, los arquitectos encargados, el diseño del pabellón se vio influenciado por el clima, ya que debía contar con las propiedades necesarias para resguardarse de las variaciones climáticas del lugar, (Figura 95, Figura 96, y la Figura 97).

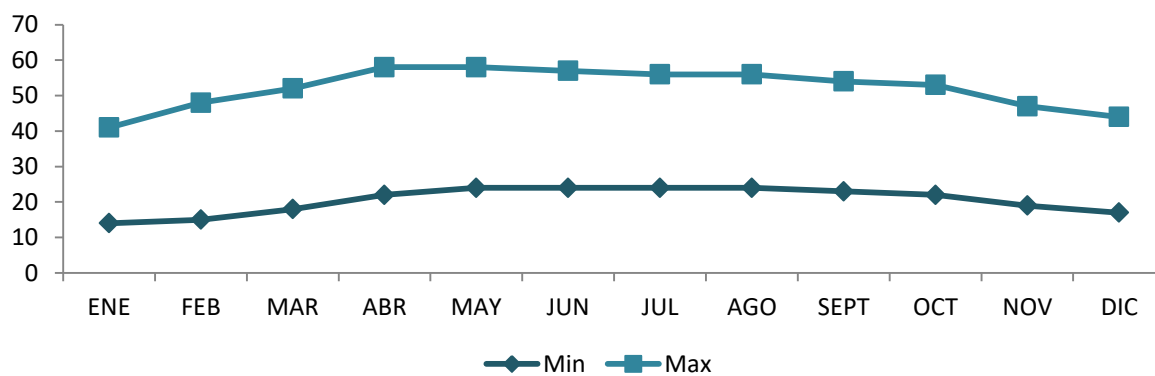


Figura 95 Temperatura Anual en Hang Dong, Tailandia

Fuente: Elaboración propia en base a World Weather and Climate Information

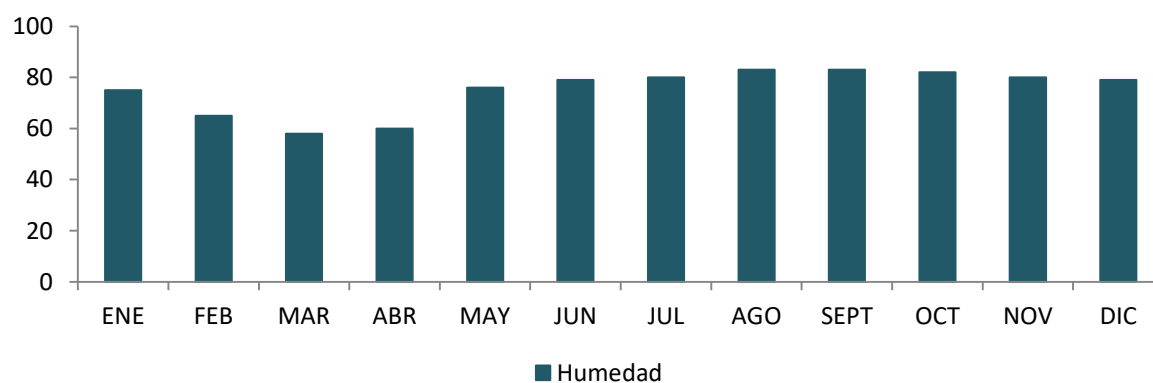


Figura 96 Humedad Anual en Hang Dong, Tailandia

Fuente: Elaboración propia en base a World Weather and Climate Information

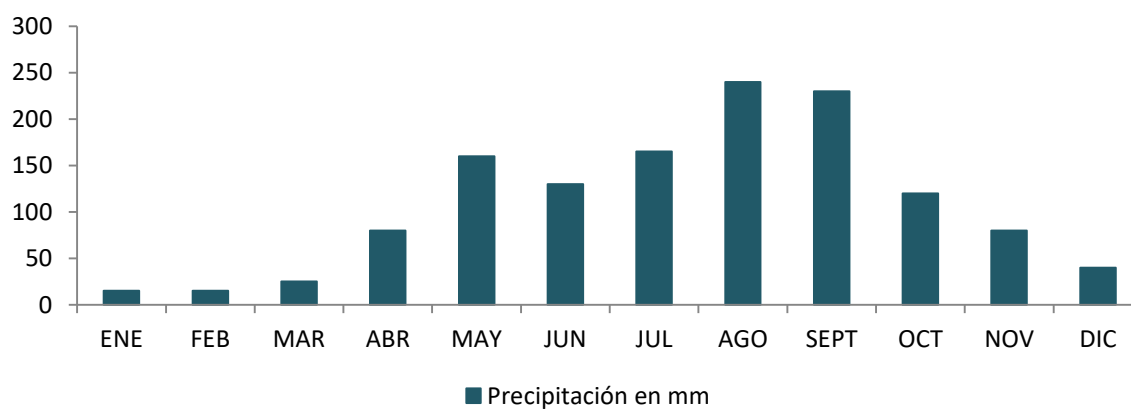


Figura 97 Precipitación Anual en Hang Dong, Tailandia

Fuente: Elaboración propia en base a World Weather and Climate Information



Figura 98 Mapa de Tailandia con la ubicación del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

El concepto principal fue basado en la Flor de Loto, por todo lo que representa dentro de la cultura. También esta idea forma parte fundamental de los principios de la escuela de manera espiritual, conjuntamente con la idea de naturalidad que plantea el proyecto. La influencia de la flor de loto se ve reflejada principalmente en el diseño de la cubierta, la cual está diseñada en tres diferentes niveles, buscando emular la forma de la misma, (Figura 99).

Los beneficios que tiene el diseño de la cubierta son las dilataciones que se crean entre las distintas capas, por las cuales se genera salida de aire caliente desde el interior del proyecto evitando la saturación del mismo. Del mismo modo a través de las separaciones existentes es proporcionado el ingreso de luz natural a lo largo del año, que en combinación con la renovación frecuente de aire ocasiona que no sea necesario usar aire acondicionado o de iluminación artificial para llegar al punto de confort dentro del proyecto.



Figura 99 Vista exterior del Pabellón

Fotografía: Markus Roselieb / *Chiangmai Life Construction Architects*

En superficie el pabellón cuenta con un área total de 782m² para albergar todas las instalaciones deportivas. La zona central puede adaptarse formando pistas para diferentes deportes, como Voleibol, Fútbol Sala, Bádminton y Básquetbol, las mismas que de acuerdo a los arquitectos, pueden ser transformados para proporcionar diferentes espacios. Uno de los usos más comunes que presenta este espacio es como escenario para diferentes presentaciones, obras, artes teatrales, entre otras.

El área central del pabellón es el espacio jerárquico del proyecto, no obstante en los laterales se crearon balcones elevados, con la finalidad de albergar a los espectadores para cada tipo de evento. Este espacio permite la visualización total del proyecto desde una perspectiva diferente (Figura 100). Los balcones laterales le dan un valor agregado al proyecto, aumentando su diversidad de espacios y su funcionalidad. (Architects C. L., Bamboo Sports Hall Panyaden International School)



Figura 100 Balcones Laterales *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: Alberto Cosi / *Chiangmai Life Construction Architects*

Debido al tratamiento natural y ecológico al que es sometido el bambú, sin ningún tipo de químico tóxico que pueda dañar el material o a su vez el medio ambiente, se proyectó el pabellón para una vida útil de por lo menos 50 años. El tratamiento del bambú consistió primeramente en escoger tallos que se encuentren en un rango de edad entre 3 – 5 años, ya que como fue previamente establecido, esta es la edad ideal para ser utilizado en construcción ya que cuenta con más resistencia y es menos propicio a sufrir el ataque de insectos. A continuación son escogidos los culmos más adecuados para el desempeño de cada función; los tallos de menores dimensiones son utilizados para la elaboración de latas y esterillas, por otro lado los de mayores dimensiones fueron usados como material estructural. Previo a la realización de la cura, fueron perforados los nodos del bambú para asegurar una mejor absorción del preservante. Para proteger los culmos se utilizó como cura un método natural con sales de boro. Este procedimiento consistió en sumergir los tallos por un periodo que varió entre una y dos semanas, dependiendo de la dimensión de los mismos.

Posteriormente se inició el proceso de secado natural, colocando los culmos de bambú al aire libre para que reciban directamente el sol; es necesaria la rotación continua de los tallos con la finalidad de evitar la formación de grietas. El tiempo de secado puede variar entre siete a quince días en base a la época de año en el que sea realizado este procedimiento ya que el clima juega un papel fundamental al momento de retirar la humedad del interior. El sol genera un blanqueamiento en el bambú el cual le otorga su coloración amarillenta distintiva. Finalmente los tallos de bambú son lavados a mano para retirar cualquier residuo restante del tratamiento efectuado, y se deja secar por unos días más hasta conseguir las características necesarias para su uso en construcción. Debe ser almacenado en lugares secos y ventilados para que no se genere humedad dentro de los culmos. (Architects C. L., Bamboo Treatment, 2019)

Uno de los objetivos principales de los arquitectos en este proyecto era ser lo más amigable posible con el ambiente, debido a esto se tomó la decisión de realizarlo en su totalidad con bambú, por lo que se convirtió no solo en una obra arquitectónica sino también en una gran muestra de artesanía. El diseño presenta continuidad espacial, esto se debe a su uso programático, asimismo como a la presencia mínima de paredes. En base a todas estas características logra integrarse con su entorno, creando un vínculo entre lo interior y lo exterior (Figura 101).

Los materiales naturales son valorizados por parte de los arquitectos para la creación de los diferentes elementos del proyecto. Al utilizar los materiales locales de la zona se logra valorizar las técnicas ancestrales así como sus costumbres culturales. “La fuerza, la flexibilidad y la reducida huella de carbono del bambú hacen que continúe siendo un material de construcción popular en el sudeste de Asia y más allá” (Mairs, 2017).⁴²

⁴² “Bamboo's strength, flexibility and low-carbon footprint means it continues to be a popular building material across Southeast Asia and beyond.” (Mairs, 2017)



Figura 101 Detalle elementos de Bambú que conforman *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: Alberto Cosi (Dejtiar, 2017a, para.7)

Bamboo Sports Hall fue uno de los proyectos más desafiantes que tuvieron que enfrentar los arquitectos, ya que previamente nunca habían elaborado una estructura tan grande solamente de bambú. Por esta razón y para lograr los objetivos estructurales del pabellón fue necesaria la colaboración de Phuong Nguyen y Esteban Morales Montoya, dos ingenieros independientes, los cuales estuvieron encargados del diseño estructural del pabellón, que permita cumplir con todos los estándares de cargas y fuerzas necesarios para su uso. Era importante que la estructura de la edificación fuera capaz de soportar los eventos naturales como fuertes vientos y terremotos a los cuales se encuentra expuesta esta zona. En base a todas las condicionantes del lugar previamente mencionadas, para la ejecución de la estructura fue necesario utilizar un método nuevo y moderno para asegurar la resolución más eficaz en el ámbito constructivo. Este método que será analizado posteriormente, consistió en crear una serie de cerchas prefabricadas, las mismas son ensambladas en el sitio y

colocadas en la posición deseada mediante la ayuda de una grúa. El diseño del proyecto es el resultado de la experiencia que tenían los arquitectos tailandeses con este material como elemento estructural, en combinación con el conocimiento de los ingenieros con respecto a las propiedades que presenta el bambú. En base a todos estos factores pudo ser creada la estructura y diseño que conforman el pabellón de la escuela (Figura 102).

Lo moderno e innovador del método aplicado en este proyecto, es que permite crear luces aproximadamente de 17 metros sin la necesidad de conexiones o refuerzos metálicos, consiguiendo así la libertad de espacio necesario para el desarrollar las diferentes funciones que son necesarias dentro del pabellón. Además de las características del espacio, el proyecto tiene grandes cualidades estéticas al ser utilizado el bambú prácticamente como único elemento del centro deportivo. Tanto su estructura como su cobertura están elaboradas con este material como se puede ver en la Figura 103 otorgándole una caracterización diferente de la que estamos acostumbrados con el bambú. (Architects C. L., *Bamboo Sports Hall Panyaden International School*)

Otra característica importante que debía poseer el proyecto era una huella de carbono reducida, ya que los materiales y el tratamiento de los mismos fue hecho de la manera más natural posible, utilizando cuerda como método de unión para así evitar en lo posible el uso de piezas de acero, lo que hizo que la absorción dada por el bambú utilizado sea mayor que el carbono emanado durante su procedimiento de construcción convirtiéndose en una de las características más importantes del proyecto. Su sustentabilidad, diseño innovador, y uso de materiales naturales fueron algunas de las características que llevaron a "*Bamboo Sports Hall Panyaden International School*" ser preseleccionado en la categoría de 'Edificios deportivos completados' en el WAF (World Architecture Festival) del 2018.



Figura 102 Elementos estructurales de bambú en el proyecto *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: Alberto Cosi (Architects C. L., Bamboo Sports Hall Panyaden International School)

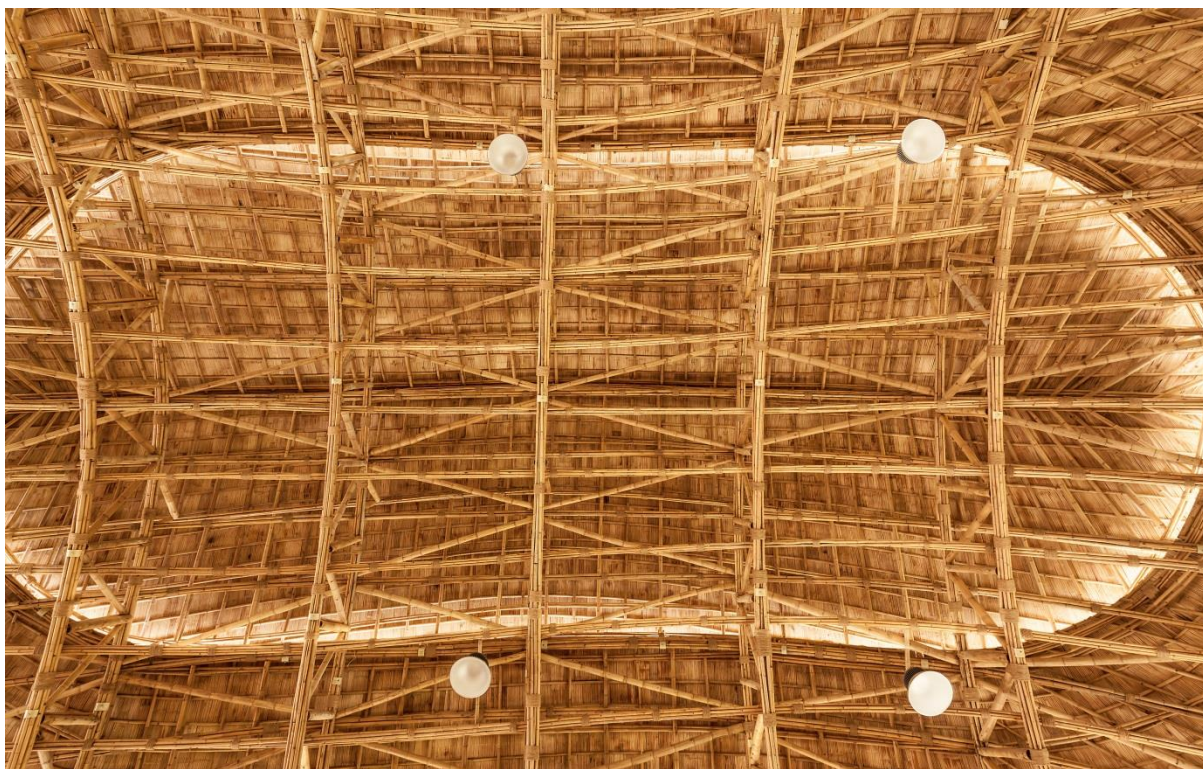


Figura 103 Estructura prefabricada en Bambú del proyecto *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: Alberto Cosi (Architects C. L., Bamboo Sports Hall Panyaden International School)

4.3 Continente Americano

América, específicamente la zona Latinoamericana (Figura 104), como fue anteriormente establecido es otro de los territorios que cuentan con el bambú como una de sus especies endémicas. Cuando hablamos de Latinoamérica normalmente nos referimos a la zona comprendida por 20 países que son Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela los mismos que en su totalidad abarcan más de quinientos millones de habitantes. Esta denominación viene como un concepto étnico-geográfico principalmente otorgado en base a las lenguas de origen latino que se hablan en este territorio del continente americano, las cuales se dividen entre español, portugués e incluso francés siendo esta última la que menos incidencia tiene dentro de la zona.



Figura 104 Extensión de Latinoamérica

Fuente: Adaptado de PngOcean.com

La extensión comprendida por Latinoamérica es aproximadamente 14% de la superficie terrestre, la misma que al igual que el continente asiático abarca una gran diversidad de ecosistemas y superficies geográficas. Existe también una gran variedad de climas entre los cuales se encuentra el clima tropical, el mismo que reúne las características necesarias para que el bambú se desarrolle de manera acelerada y eficaz. Por consiguiente Latinoamérica es el segundo territorio con más especies endémicas de bambú abarcando cerca del 30% de todas las especies que se encuentran en el planeta.

El continente asiático no es el único que utiliza el bambú desde tiempos remotos; en Latinoamérica los primeros habitantes aplicaban este material para crear diferentes herramientas cotidianas, y como material de construcción de diferentes estructuras. A pesar que las especies existentes en Latinoamérica en su mayoría difieren de aquellas endémicas de Asia, sus propiedades físicas como mecánicas son similares; destacando principalmente por su fácil aplicación en obra; es decir que sus construcciones pueden ser realizadas de forma rudimentaria con herramientas comunes las mismas que eran utilizadas desde la antigüedad. Pese a que muchos registros acerca de las civilizaciones aborígenes se perdieron en la época de la colonización, en países como Ecuador, Colombia y Perú se han encontrado vestigios de construcciones procedentes de épocas primitivas (Figura 105). (Vivas, 2011)

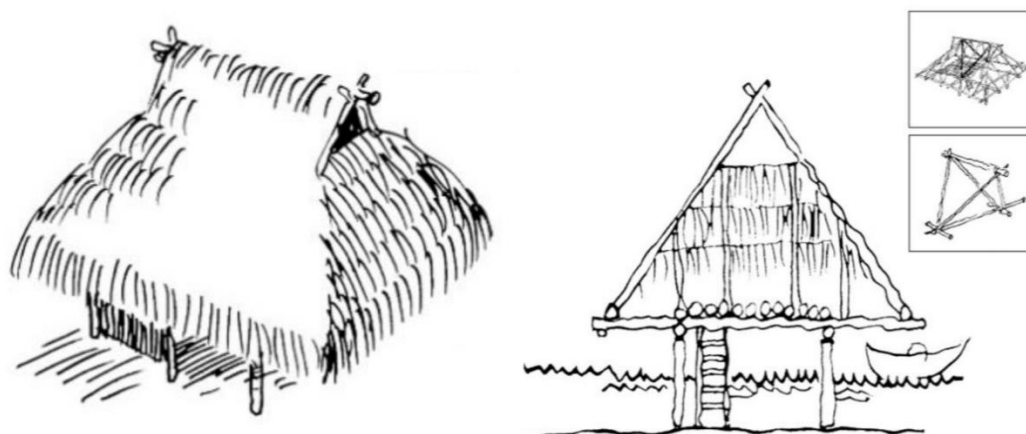


Figura 105 Ejemplo de Viviendas Aborígenes en América

Fuente: Fruto Vivas (2011, pp.44-45)

Al igual que en Asia, Latinoamérica ha tenido la naturaleza como parte fundamental de la cultura, en gran medida esto se genera debido a la gran biodiversidad que se encuentra en estas zonas, donde los principales recursos para llevar a cabo su día a día provenían de su entorno. Al ser el bambú un elemento abundante de este territorio se utilizó como uno de los materiales principales para sus viviendas con el objetivo de vincularse armónicamente con el medio ambiente. Muchas de estas viviendas aborígenes buscaban tener el menor impacto posible con su entorno por lo que su asentamiento sobre el lugar era mínimo, generando una adaptación pasiva entre lo construido y lo natural. (Vivas, 2011)

Existen zonas del planeta que por sus características geográficas y ambientales se tornan propensas a diferentes desastres naturales. En el caso de América Latina gran parte del territorio se encuentra dentro de una zona expuesta principalmente a movimientos sísmicos, donde a lo largo de los años terremotos de diferentes magnitudes han afectado ciudades enteras. Por otra parte en esta región las construcciones de bambú debido a sus grandes capacidades sismo resistente y su flexibilidad han conseguido sobrellevar este tipo de movimiento con pocas o ningún tipo de secuelas, demostrando una vez más las capacidades que posee este material dentro de la arquitectura.

En base a todas las características que posee el bambú se han creado innumerables edificaciones con el uso de este material. Dentro de Latinoamérica existen diferentes estudios de arquitectura que utilizan el bambú como uno de los materiales predominantes para sus obras, las mismas que han sido construidas dentro y fuera del continente. En América Latina también podemos encontrar algunos de los que han llegado a ser llamados “Maestros del Bambú” ya que mediante sus obras han forjado el concepto de las construcciones en bambú como una solución innovadora y sustentable para la actualidad, pero conferida por un legado ancestral.

Existen algunos arquitectos y estudios de arquitectura latinoamericanos han dedicado su obra a mostrar el bambú como un recurso abundante de grandes cualidades estructurales y estéticas, por lo que puede ser un sustituto válido para materiales industrializados como el acero y el hormigón, sin dejar de ser un complemento para los mismos. Las diferentes obras y publicaciones han generado que nuevos arquitectos adquirieran el conocimiento necesario para emplear este tipo de prácticas en sus obras; transformando de esta manera la concepción del bambú como material de construcciones temporales, para pasar a ser considerado un recurso viable para grandes obras arquitectónicas. Algunos de estos arquitectos son:

- Oscar Hidalgo

Fue un arquitecto colombiano nacido en Chinchina en 1930. Se vio influenciado por la arquitectura natural y rústica realizada con guadua dentro de su localidad, lo cual se vio reflejado en sus futuros proyectos. Varios años después de su graduación como arquitecto, fue a Estados Unidos para ejercer como profesor en la Universidad de Parson en Nueva York. Al ser uno de los pioneros en esta universidad influyó en el método de enseñanza del departamento de artes, fomentando una arquitectura de responsabilidad social, tal como se mostraba en sus obras.

Hidalgo se orientó hacia la construcción en bambú cuando se dio cuenta de todas las capacidades que brinda este material. Es por eso que dedicó su vida a la investigación del bambú en todos sus aspectos, lo que le llevó a fundar el centro de investigación del bambú (CIBAM) y ejercer como consultor en diferentes países de Latinoamérica. A lo largo de sus años de investigación escribió diferentes libros sobre bambú, los mismos que han creado las pautas necesarias para que arquitectos actuales puedan construir con este material. Uno de los más destacados es "*Bamboo the Gift of the Gods*", un manual creado en 2003 acerca de todas las características del bambú y su recorrido a lo largo de los años.

- Simón Vélez

Arquitecto colombiano nacido en Manizales en 1949, hace más de 35 años descubrió la innovadora técnica de inyectar mortero dentro de las cañas de bambú para otorgarles más resistencia en sus uniones. Desde entonces ha utilizado esta técnica en sus proyectos, los mismos que han llegado a tener gran reconocimiento a nivel mundial. Tiene una fuerte referencia de construcciones vernáculas, la misma que intenta combinar con una arquitectura contemporánea para generar de esta manera un nuevo estilo creando obras originales.

A través de los años ha realizado más de 200 proyectos dentro y fuera de Latinoamérica, tanto en bambú como en otros materiales. Sin embargo destaca que se debe generar una “arquitectura vegetariana” mediante el uso de materiales naturales y renovables. En el 2014 formó llamado “*Gigagrass Desing Studio*” junto a su esposa, la arquitecta estadounidense Stefana Simic. Sus obras continúan utilizando materiales naturales, en especial bambú como elemento principal. Una obra destacada es el Museo Nómada del Zócalo en México, el cual muestra el gran potencial del bambú para crear proyectos de gran escala en un corto periodo de tiempo como se ve en la Figura 106. (Vélez, 2015)



Figura 106 Museo Nómada del Zócalo

Autor: Simón Vélez

- Jorge Morán Ubida

Es un arquitecto ecuatoriano nacido en 1940 en Guayaquil. Gran parte de su carrera la ejerció como profesor de la Universidad Católica de Guayaquil en Ecuador. Su pasión por la enseñanza le permitió transmitir a sus estudiantes su conocimiento acerca del bambú, en específico de la *Guadua Angustifolia Kunth*. Para él siempre fue importante compartir su noción acerca de esta planta, en ese momento comenzó su proceso de aprendizaje e investigación lo que le llevo a dar más de 200 conferencias en países de Asia, Europa y América, principalmente en entidades educativas.

Él fue uno de los pioneros en el estudio comparativo del bambú con la madera, el mismo que le permitió establecer las propiedades mecánicas y físicas que presenta y la gran fuerza estructural que posee comparada con otros materiales. Debido a su vasto conocimiento sobre el bambú, participo en la creación de las casas Hogar de Cristo, un proyecto con fines sociales para ayudar a las familias de escasos recursos, es por eso que colaboro como consultor de INBAR en diferentes ocasiones. Ha sido ganador de diferentes reconocimientos internacionalmente, uno de los más destacados fue el 2015, donde recibió la distinción World Bamboo Pioneer en Corea del Sur, en base a todo su trabajo efectuado a lo largo de los años, en especial en el área de investigación sobre el material. Una de sus publicaciones más importantes es el manual que lleva como nombre “Construir con Guadua” es mismo que ha generado diferentes pautas para posteriores construcciones con bambú por parte de diferentes arquitectos alrededor de Latinoamérica. (Martillo, 2016)

Estos son sólo algunos de los referentes que existen dentro del territorio Latinoamericano. A pesar que el uso de bambú está más orientado a proyectos residenciales, por lo que tiene menos difusión, existen varias publicaciones acerca del material, en especial manuales de construcción que sirven como guía para diferentes arquitectos.



DORMITORIOS “LA CEIBA”

En el punto 4.1, fue desarrollada la metodología para la elección de los casos de estudio, donde fue establecido como referente de Latinoamérica uno de los elementos que conforman “La Ceiba”. Este proyecto fue realizado por Lucila Aguilar Arquitectos.

Lucila Aguilar, arquitecta formada en la Universidad Iberoamericana de la Ciudad de México. Fundadora del estudio arquitectónico Lucila Aguilar Arquitectos ubicado en la Ciudad de México. A lo largo de su carrera el bambú ha tenido gran influencia en su trabajo, teniendo una fuerte presencia en cada una de sus obras. En un inicio el uso del bambú se basaba solamente sobre la importancia de utilizar materiales locales, no obstante, con el pasar de los años se tornó uno de los materiales representativos de las obras de su despacho de arquitectura. Sus obras tienen como finalidad redefinir la arquitectura de una manera sostenible y con un diseño de calidad, inspirando a otros arquitectos a generar una arquitectura amigable con el medio ambiente. (Lucila Aguilar Arquitectos)

“Buscamos transmitir un mensaje en la región, las construcciones industriales pueden tener otro lenguaje, los materiales naturales como la tierra y el bambú pueden confluir con otros materiales comúnmente utilizados en un diseño atractivo y funcional. Estos materiales son una herramienta más para diseñar el paisaje de estados como Chiapas, Veracruz y Tabasco; el bambú es un material muy versátil y sustentable que nos ha permitido construir de forma práctica, reduciendo los costos de mano de obra y creando un marco de referencia para construir un México con conciencia social, ecológica y en balance y armonía con la tierra.”

Lucila Aguilar Arquitectos

Dentro de las estructuras creadas en “La Ceiba” será analizado específicamente el edificio de los dormitorios. Durante el año 2016 fue proyectado el diseño de diferentes estructuras para ser utilizadas por UUMBRAAL, una empresa agroforestal, la misma que tiene como parte de sus valores la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente. Fue solicitada la construcción de 16 diferentes estructuras, las mismas que debían ser diseñadas con características replicables, para cumplir con todas las actividades que son efectuadas dentro de una empresa agroforestal. (Aguilar, 2019)

El objetivo principal de este proyecto es cambiar la noción que existe sobre los materiales naturales, mostrando que mediante el uso de bambú y tierra pueden elaborarse estructuras industriales con un lenguaje natural, vinculándose armoniosamente con otro tipo de materiales usados comúnmente en la arquitectura. Se buscaba crear estructuras modernas y funcionales pero integradas al entorno de una manera ecológica. Al ser diseñado para una empresa agroforestal, cada una de las infraestructuras debía cumplir con los requerimientos necesarios para el desempeño de cada una de las funciones necesarias de la empresa, sin dejar de lado el tema ambiental. Es por esto que los materiales principales utilizados para la elaboración de las diferentes estructuras fueron el bambú y la tierra.

La Ceiba se encuentra ubicada en Palenque, Chiapas al sudeste de México (Figura 110). Se localiza en el hemisferio Norte, y sus datos geográficos son Latitud 17° 30' 36" N, Longitud 91° 58' 53" O. Al ser un lugar con temperaturas elevadas a lo largo del año, tuvieron que ser considerados los diferentes factores del clima al momento de diseñar las diferentes infraestructuras. Al igual que en el referente Asiático, el clima juega un papel fundamental al momento de construir y diseñar cualquier estructura en este territorio, ya que deben ser consideradas las diferentes variaciones climáticas que puedan existir en una zona cálida y de humedad elevada. (Aguilar, 2019) Los datos promedio de Chiapas pueden ser analizados en la Figura 107, Figura 108, y la Figura 109.

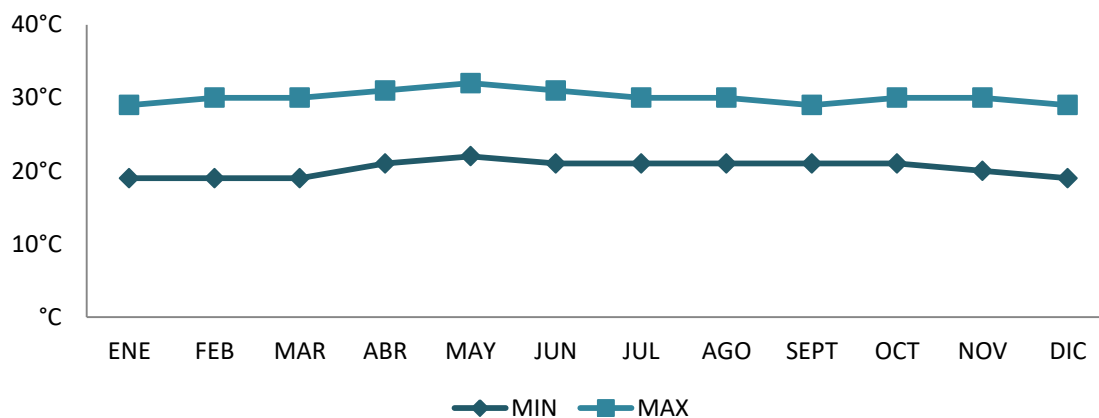


Figura 107 Temperatura Anual en Palenque, México

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de *Weather Spark*

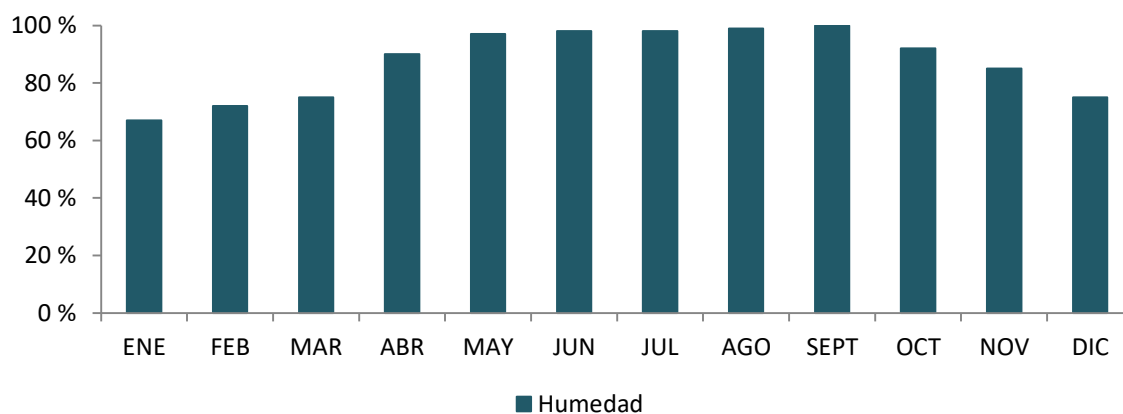


Figura 108 Humedad Anual en Palenque, México

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de *Weather Spark*

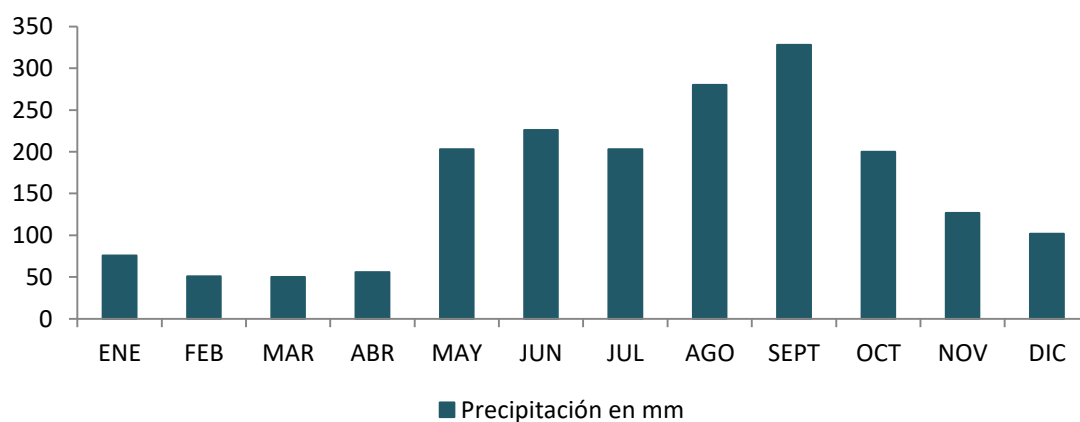


Figura 109 Precipitación Anual en Palenque, México

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de *Weather Spark*



Figura 110 Mapa de México con la ubicación del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

Los Dormitorios para campamento de La Ceiba tenían como concepto principal generar construcciones sustentables con materiales locales, creando una referencia de arquitectura con conciencia ambiental y social para mantener una relación armoniosa con el entorno. Era imprescindible que el prototipo de dormitorios cumpla con las certificaciones necesarias para asegurar que las operaciones sean efectuadas de la manera correcta.

En la ejecución del proyecto de los dormitorios, al igual que el resto de infraestructuras realizadas para la empresa UUMBAL, fue realizada una construcción en seco con materiales que cuenten con las características necesarias de ser reutilizables posterior al uso de las edificaciones (Figura 111). Como fue mencionado el clima es fundamental en el diseño de las estructuras, por lo que se tomaron las medidas necesarias para responder de una manera bioclimática en zonas con climas cálido-húmedos, usando grandes voladiza. La posición a la cual esta se encuentra orientada el edificio no fue aleatoria, por el contrario fue analizado el sitio para colocarlos estratégicamente con el objetivo de obtener la mayor cantidad de beneficios de los elementos naturales como el viento y el asoleamiento. (Santibañez, 2018)



Figura 111 Construcción en bambú La Ceiba

Fotografía: Lucila Aguilar Arquitectos

Los dormitorios de La Ceiba tiene una superficie rectangular que abarca un área aproximada de 270m², interiormente no cuenta con separaciones fijas, sin embargo fue prevista la creación de pequeñas divisiones otorgadas por la distancia que existe entre los pórticos y sus columnas. Uno de los principios más importantes al momento de la creación de este proyecto fue el uso estratégico de los recursos naturales, con el objetivo de crear el menor impacto en el lugar.

Este fue uno de los proyectos más demandantes para el estudio arquitectónico, ya que además de estar conformado por varias estructuras, fue una de las primeras experiencias realizadas en bambú. Es por eso que fue necesario el asesoramiento de un importante arquitecto, experto en construcción con bambú, Jörg Stamm. Este arquitecto, en conjunto con diferentes arquitectos colombianos fueron los encargados de capacitar a las personas encargadas en la ejecución de la construcción para que las estructuras sean realizadas de la mejor manera. (Aguilar, 2018)

Uno de los elementos predominantes en el edificio de los dormitorios es su cobertura. Se encuentra conformada por piezas de bambú como elemento estructural y de soporte, mientras que la parte superior está recubierta por vegetación. La función principal de la cobertura es proteger edificio, proporcionando sombra y confort interior para sus ocupantes. La vegetación utilizada es natural del sitio, con la finalidad de integrar el proyecto al ecosistema (Figura 112), además de que funciona como un aislante térmico natural y ecológico. (Santibañez, 2018)

Las aberturas ubicadas en la parte superior del edificio son generadas por una dilatación que existe en la cobertura, la misma que permite la salida del aire caliente como estrategia de control del flujo de aire, por otro lado el aire frío entra por las puertas ubicadas en los laterales transversales de la construcción, además para generar un confort térmico en el interior del edificio, se generaron la menor cantidad de aberturas posibles.



Figura 112 Dormitorios de La Ceiba vinculado a su entorno

Fotografía: Lucila Aguilar Arquitectos

Además de cumplir su función de ventilación para generar renovación del aire interior evitando la saturación del mismo, las aberturas en la cobertura otorgan iluminación al interior del edificio, lo que genera un gasto menor de electricidad, con el objetivo de mantener el carácter sostenible de las construcciones. Al ser un sitio de clima caliente se diseñaron coberturas con grandes voladizos, los mismos que permiten mantener un confort térmico para sus ocupantes, al mismo tiempo que protege los elementos de bambú de la luz solar directa.

Debido que el concepto principal se basa en la sostenibilidad y los materiales naturales, el tratamiento realizado para la protección del bambú también fue lo más natural posible, sin embargo se eligieron opciones más rápidas para realizar las estructuras de la manera más efectiva. Se utilizó el método de inmersión ya que es considerado la técnica de tratamiento

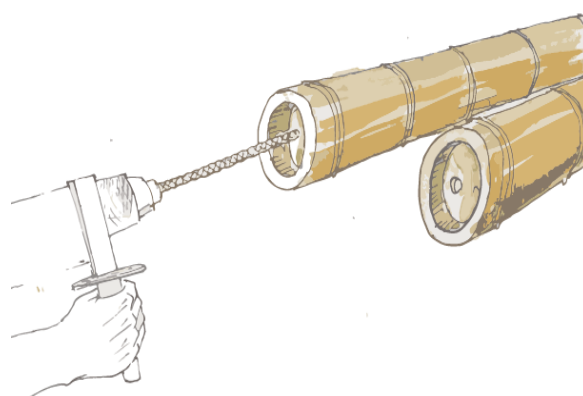


Figura 113 Perforación de los tallos de bambú previo a la inmunización

Autor: Lucila Aguilar (2018, p.13)

más respetuosa con el medioambiente. Para garantizar mejores resultados, son perforadas las cañas de bambú (Figura 113) con la finalidad que las sustancias penetren de la mejor manera. Es importante realizar este procedimiento en un corto tiempo después de haber sido efectuado el corte ya que es necesario que los tallos se encuentren ligeramente húmedos para que el proceso de inmunización sea más eficaz.

Al igual que en el caso de estudio anterior, La Ceiba utiliza un método innovador para la ejecución de las estructuras, ya que al ser cerchas prefabricadas de grandes dimensiones fue necesaria la ayuda de una grúa para el levantamiento de los diferentes pórticos que conforman el edificio de los dormitorios. Para garantizar las mejores propiedades estructurales fueron utilizados tallos que van entre 4 – 6 años de edad ya que contienen menor humedad y presentan mayor resistencia. (Aguilar, 2019)

4.4. Análisis Comparativo de los sistemas de construcción

El bambú es el material predominante en los casos de estudio referidos previamente. A pesar que ambos se encuentra situados en diferentes continentes, comparten algunas similitudes que permiten el desarrollo y el uso del bambú en estas zonas. Es importante destacar que ambos proyectos se encuentra ubicados en el hemisferio norte con respecto a la línea ecuatorial, lo que puede influir en algunas de las decisiones como la orientación del proyecto con respecto al norte. También es importante considerar cual es la ubicación del proyecto con respecto al norte (Figura 114 y Figura 115) ya que la incidencia del sol con respecto a las funciones del edificio pueden influir en su diseño y distribución.

A continuación serán analizados ambos casos, con la finalidad de definir cuáles son las técnicas y soluciones utilizadas en cada uno de los continentes, específicamente para cada uno de los proyectos escogidos. La especie de bambú utilizado es diferente en cada proyecto, esto se debe principalmente a que muchas de las especies de bambú son endémicas de cada uno de los continentes, es por eso que en este caso la especie de bambú utilizada en La Ceiba es la *Guadua Angustifolia Kunth*, ya que es una de las especies más comunes en Latinoamérica, es resistente y apta para ser utilizada en la construcción. Por otro lado en el proyecto *Bamboo Sports Hall* se utilizaron diferentes especies de bambú para cada una de las funciones. Estas especies son *Dendrocalamus sericeus*, *Bambusa Blumeana*, *Thyrsotachys oliveri*, *Dendrocalamus Asper*, *Gigantochloa albociliata*, y *Pai Luak Khao*. Para determinar cuáles eran las mejores especies para cada elemento estructural, fueron previamente establecidas las propiedades mecánicas de cada tipo de bambú que serían utilizados como se puede ver en la Tabla 6. En el caso de estudio de Asia estos datos vinieron de experiencia previa ya que llevan trabajando con estructuras de bambú cerca de 10 años, mientras que la arquitecta mexicana estaba teniendo sus primeras experiencias con este material por lo que fue necesario hacer un estudio previo de las características de la *Guadua Angustifolia Kunth*.

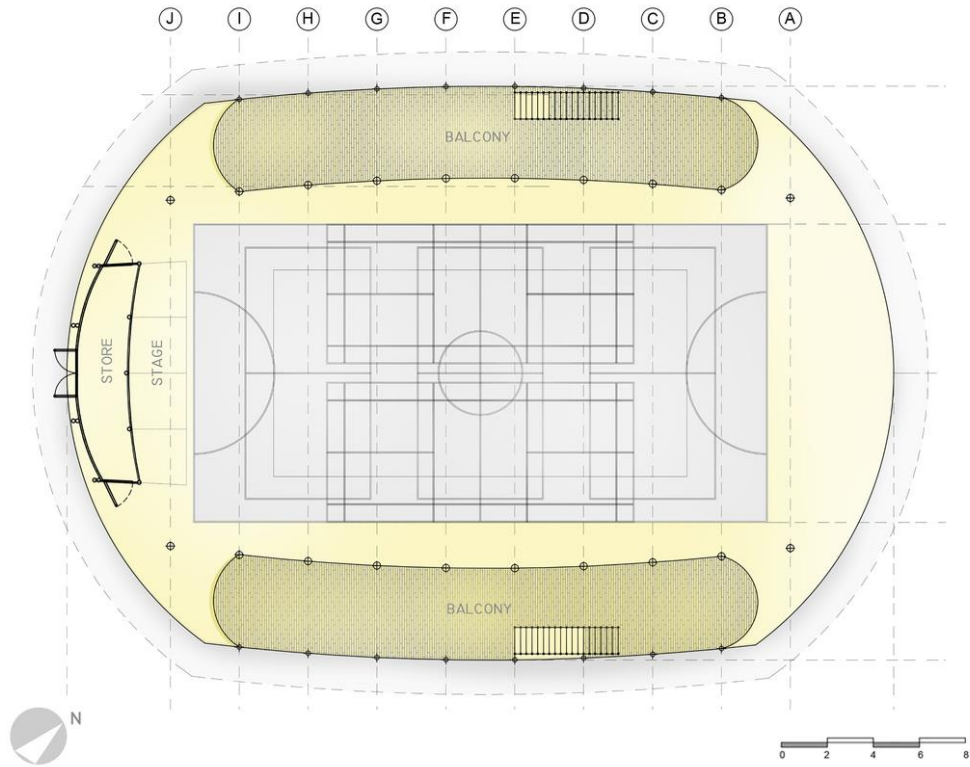


Figura 114 Planta Arquitectónica Bamboo Sports Hall

Fuente: Chiangmai Life Construction Architects

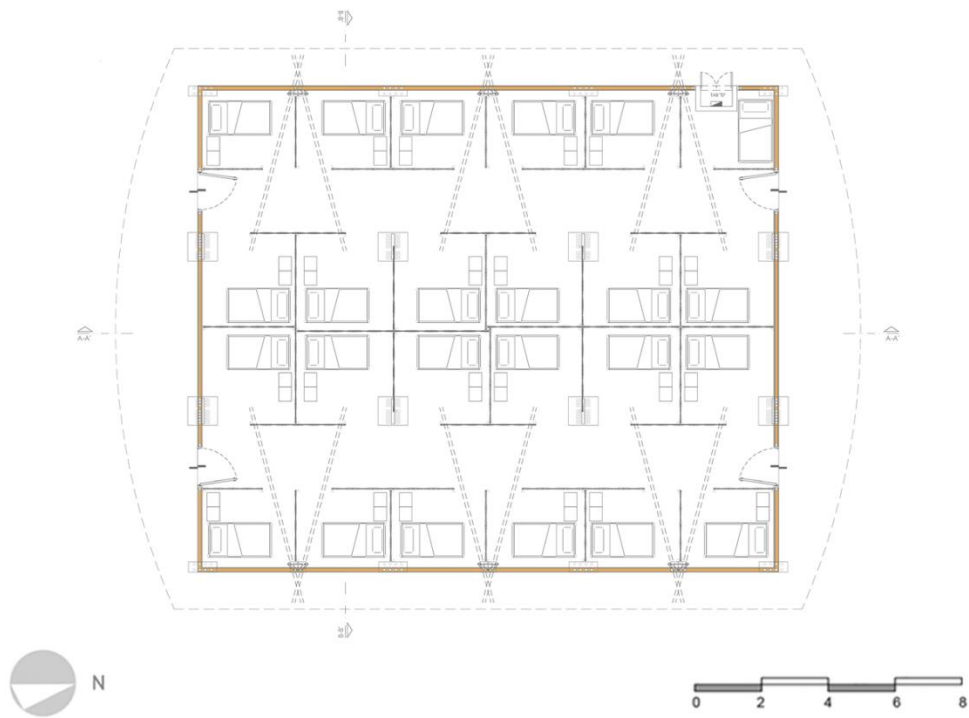


Figura 115 Planta Arquitectónica Dormitorios La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar Arquitectos

Información del Proyecto						Información de:	
						- Royal Forest Department (2013)	
						- Takeuchi; Gonzales (2007)	
Proyecto	Especie	Densidad kg/m ³	Flexión N/mm ²	Módulo de elasticidad 10 ³ N/mm ²	Tensión de Compresión N/mm ²	Módulo de elasticidad 10 ³ N/mm ²	Tensión de Compresión N/mm ²
Bamboo Sports Hall (Empírico)	Dendrocalamus sericeus	479	9.58	2.60	6.20	[-]	[-]
	Bambusa Blumeana	852	23.00	12.84	19.00	57.70	66.5
	Thyrsotachys oliveri	733	15.50	2.16	13.40	19.70	57.00
	Dendrocalamus Asper	767	21.00	13.20	20.00	59.50	68.67
	Pai Luak Khao	586	11.72	3.10	7.60	[-]	[-]
	Gigantochloa albociliata	[-]	[-]	[-]	[-]	30.80	45.30
La Ceiba (Ensayos)	Guadua Angustifolia Kunth	710	30.00	10.82	17.00	17.62	13.44

Tabla 6 Propiedades mecánicas de las especies utilizadas en los casos de estudio

Fuente: *Chiangmai Life Construction Architects/ Lucila Aguilar*

Debido a las propiedades mecánicas del bambú ambos proyectos utilizan este material como elemento principal de sus cerchas las mismas que funcionan como pórticos de soporte para la cobertura. Analizando la Tabla 6, se puede establecer que la especie de América permite mayores deformaciones que las de Asia, no obstante, algunas de las especies de Asia consiguen soportar cargas más elevadas. Debido a la experiencia de los arquitectos de Bamboo Sports Hall optan por un método empírico para los datos técnicos de las especies utilizadas, por otro lado en La Ceiba, al ser el primer proyecto de estas dimensiones con las que trabajo la arquitecta realizaron análisis de laboratorio previo a su aplicación en obra; considerando sus métodos y los resultados obtenidos en la bibliografía por otros autores se destaca que los valores encontrados para una misma especie pueden variar, esto se debe a que entran en juego otras variables como clima, tratamiento otorgado y edad, por esto que es imprescindible realizar estudios previos a cada uno de los proyectos para asegurar el comportamiento adecuado del material en la construcción.

Por otra parte, ambos estudios arquitectónicos tenían como objetivo a través de sus proyectos alcanzar la sostenibilidad y el uso de materiales naturales y locales, es por eso que el tratamiento aplicado para protección de los bambús utilizados en las edificaciones fue lo más natural posible. Los dos proyectos utilizaron el método de inmersión como técnica de preservación, asimismo el secado fue realizado de manera natural colocando los tallos al sol sobre un caballete, sin embargo algunas piezas de La Ceiba necesitaban un secado más rápido por lo que se utilizó la técnica de inyección de aire caliente.

En el proyecto realizado en Tailandia, fue utilizado el bambú para prácticamente todas las piezas que conforman el pabellón. Esto fue resultado de la decisión de los arquitectos de crear un edificio sin huella de carbono. La mayoría de uniones eran efectuadas con pasadores de bambú (Figura 116) ya que al ser del mismo material, el comportamiento frente a las variaciones de temperatura y humedad sería el mismo evitando las fisuras creadas por otro material. (Architects C. L., Bamboo Sports Hall Panyaden International School)



Figura 116 Uso de pasadores de bambú en *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: *Chiangmai Life Construction Architects*

Por otro lado el caso de estudio de Latinoamérica combina el bambú con el uso de bahareque, ya que es otro material natural de la zona. Al mismo tiempo para las uniones realizadas entre las diferentes piezas de bambú que conforman el proyecto, fueron utilizados espárragos metálicos (Figura 117), en este caso no fueron utilizados los pasadores de bambú por un tema de tiempo, ya que era necesaria la industrialización de la obra, pero no por una cuestión estructural. Debido a que las cerchas estaban conformadas por varias piezas de bambú fueron necesarios una gran cantidad de elementos de unión. (Aguilar, 2019)



Figura 117 Uso de espárragos metálicos para la unión de las piezas de bambú

Fotografía: Lucila Aguilar Arquitectos

Las cimentaciones son uno de los elementos más importantes que existen en un proyecto, ya que es la base donde se encuentra asentada toda la edificación. Por esta razón es fundamental analizar este aspecto en cada uno de los caso de estudio. Para mantener las capacidades mecánicas del bambú es indispensable evitar un exceso de humedad que puede ser provocado por el contacto directo con el suelo; esto puede lograrse con las soluciones de cimentación adecuadas para cada proyecto.

Los arquitectos de *Bamboo Sports Hall* llevan varios años trabajando con este material por lo que han experimentado diferentes formas de trabajar el bambú, tanto en lo que se refiere a uniones como en las cimentaciones. En *Bamboo Sports Hall*, fue utilizada una técnica con hormigón, la cual consiste en crear un agujero en la tierra donde se colocarán las cimentaciones, dentro de éste se coloca una zapata de hormigón armado que funciona como base, posteriormente se coloca un tubo de cemento con aproximadamente 1m de altura encima de la zapata, para poder introducir en el agujero de esta pieza los elementos de Bambú incrustados en varias varillas metálicas fijadas al hormigón, como se puede ver en la Figura 118 y Figura 119. Una vez terminada toda la estructura de la cimentación se procede a llenar de hormigón todo el tubo, de esta manera se asegura que el bambú quede firme para soportar todas las cargas. (CLC/CLA)



Figura 118 Cimentaciones utilizadas en *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: *Chiangmai Life Construction Architects*

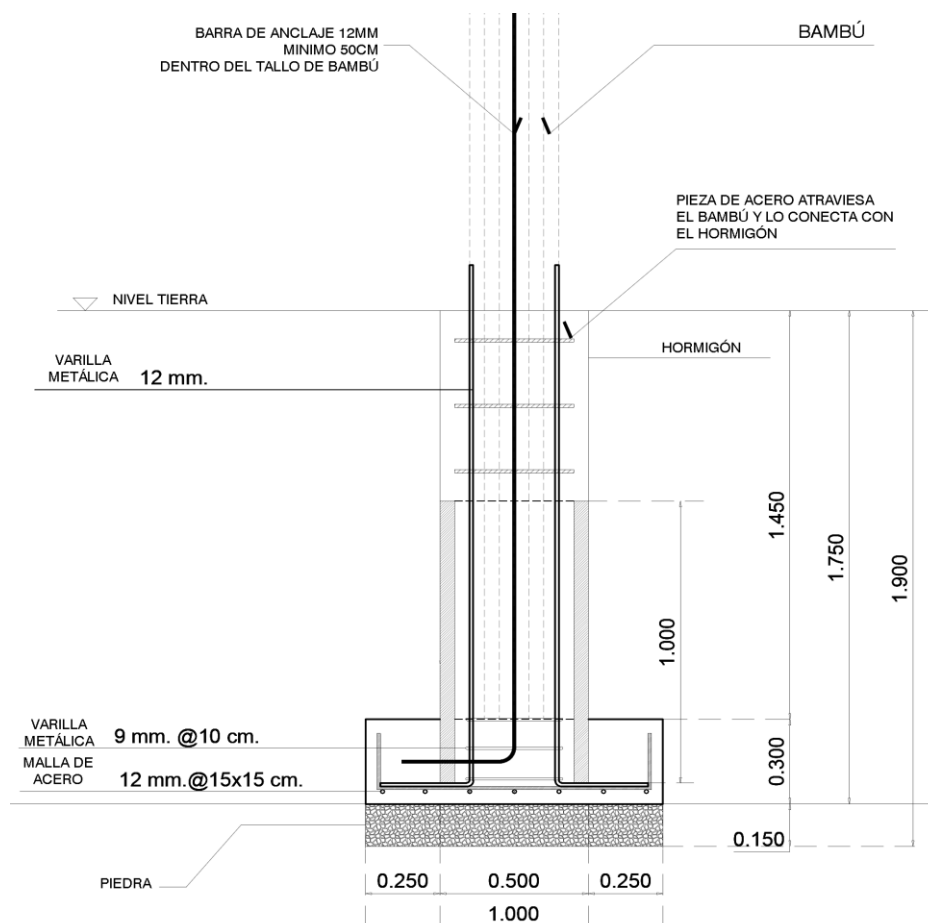


Figura 119 Detalle constructivo Cimentación *Bamboo Sports Hall*

Fuente: *Chiangmai Life Construction Architects*

Por el contrario la arquitecta mexicana, en los dormitorios de La Ceiba utiliza un método diferente al expuesto anteriormente, pero con algunas similitudes. El principal objetivo es proteger los tallos de bambú de cualquier factor que pueda comprometer su desempeño estructural, es por eso que escogieron esta técnica en conjunto con el asesoramiento y experiencia del arquitecto Jörg Stamm. El método utilizado no quita las capacidades sismoresistentes del material ya que los elementos rígidos se encuentran solamente en las uniones puntuales de los elementos y en la unión directa con el suelo.

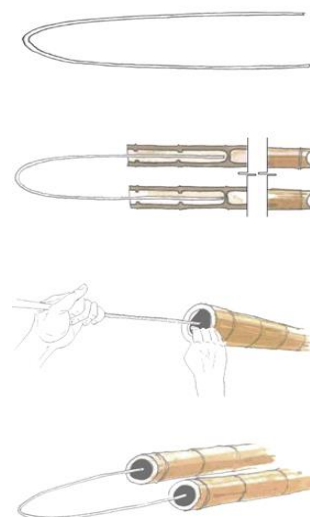


Figura 120 Inserción de varillas corrugadas metálicas en el Bambú

Fuente: Lucila Aguilar (2019, p.23)

Para la ejecución de las cimentaciones fue necesario hacer un agujero profundo en la tierra donde fue colocada la zapata de hormigón. Esta pieza se la deja preparada con varillas corrugadas, las mismas que posteriormente recibirán los tallos de bambú. Las varillas forman una “U” para poder insertarse en dos elementos de bambú, con la finalidad de crear más estabilidad, al mismo tiempo que se genera una ligera separación entre los mismos como se puede ver en la Figura 120, esta separación permite que los culmos de bambú oscilen en caso de que ocurra un sismo. Es importante prever los movimientos tectónicos ya que los dormitorios de La Ceiba se encuentran expuestos a este tipo de desastres naturales debido a la zona donde se localizan. El uso de varillas corrugadas cumple la función de protector del bambú, ya que al separar el bambú del hormigón, evita que éste quede sumergido dentro del hormigón, por lo que no absorbe su humedad en el proceso de fraguado evitando que cambie sus dimensiones o incluso que se pudra. Asimismo se utilizó una técnica que consiste en entrelazar las varillas (Figura 121) para generar más estabilidad estructural, las mismas que son posteriormente inseridas en las zapatas de hormigón, disminuyendo el contacto que existe entre el bambú y el suelo para evitar la humedad ascensional por sus fibras. (Aguilar, 2019)

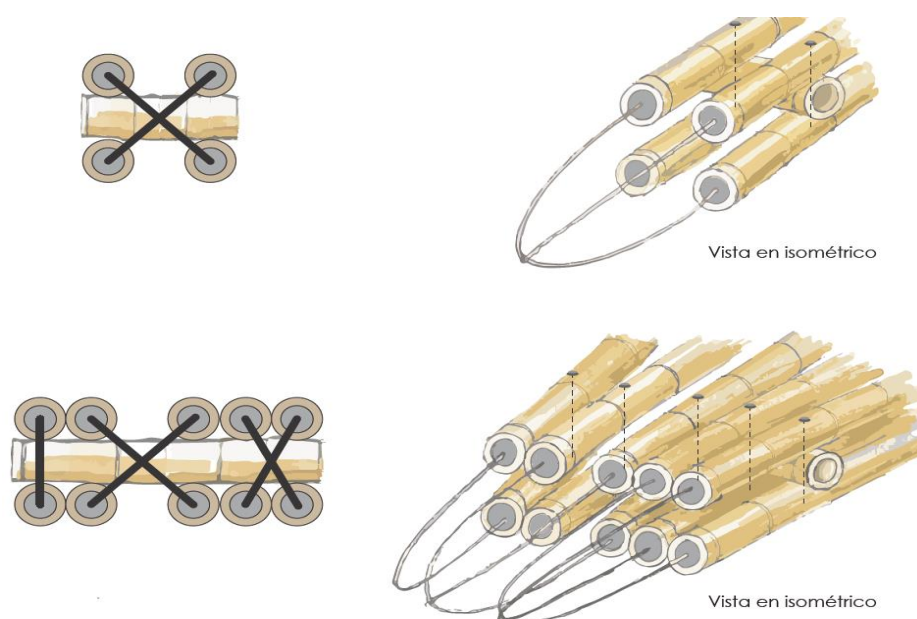


Figura 121 Estructura para la cimentación de columnas en los Dormitorios La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar (2019, p.14)

Los criterios para elegir la cantidad de bambús utilizados en cada uno de los proyectos, fue previamente establecido, sin embargo fue realizado con diferentes métodos. Para los arquitectos tailandeses en base a su experiencia con este material, es importante crear una maqueta a escala antes de la ejecución de cada proyecto, ya que esto permite determinar cuántos tallos de bambú serán necesarios para la elaboración de todo el proyecto. En contraste, la arquitecta mexicana se basó en los diseños estructurales previamente realizados para determinar cuál sería la cantidad de bambú necesario para elaborar cada una de las estructuras de La Ceiba. Dentro de ambos proyectos fue necesaria la aplicación de tallos de bambú con diferentes dimensiones tanto en longitud como en diámetro. Estas dimensiones venían determinadas por la función que cumplirían dentro de la estructura. En el caso de Asia se utilizaron más especies por lo que la variación de dimensiones era mayor mientras que en La Ceiba se utilizaron tallos no mayores a 6 metros y con diámetros entre 8cm y 9cm.

Asimismo era necesario trabajar con personas especializadas en el uso del bambú, principalmente debido a las grandes estructuras que se trabajaban en ambos proyectos. En el caso de *Bamboo Sports Hall* fueron necesarias cerca de 30 personas para la realización de la obra, las mismas que llevan trabajando con los arquitectos desde sus inicios por lo que son mano de obra especializada en el uso de bambú. Por otro lado en el caso de La Ceiba fueron necesarias aproximadamente 15 personas tanto para la ejecución de los dormitorios como para las otras estructuras. Las personas que trabajaron en el proyecto de Latinoamérica se vieron en la necesidad de ser capacitadas por arquitectos colombianos expertos en el uso del bambú para poder construir con este material de la mejor manera.

Las coberturas en cada uno de los proyectos son diferentes ya que responden a cada uno de los factores ambientales a los que se encuentran expuestos así como al objetivo pretendido por cada uno de los arquitectos. Por otra parte es importante destacar que las soluciones de cobertura utilizadas en ambos proyectos no establecen una tipología utilizada en la región,

sino que fueron diseñadas específicamente para cada una de las edificaciones previamente mencionadas. En el caso de *Bamboo Sports Hall* la cobertura asemejaba la flor de loto como se puede ver en la Figura 122, la misma que mediante su diseño de tres capas genera aberturas que funcionan como salidas de aire como medida de ventilación natural (Figura 123). La cobertura se compone por diferentes elementos de bambú, principalmente está conformado por esterilla de bambú la misma que se encuentra asentada sobre una trama de piezas de bambú como se puede ver en la Figura 124. (Architects C. L., CLA/CLC, 2013)

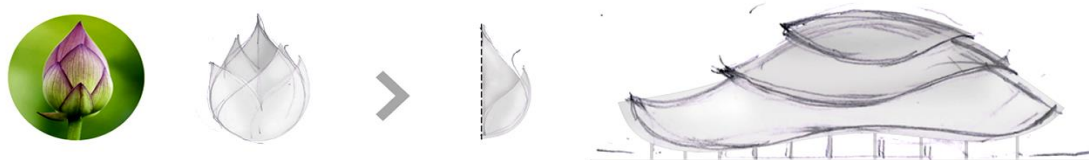


Figura 122 Concepto de la Flor de Loto en *Bamboo Sports Hall*

Fuente: Adaptado de *Chiangmai Life Construction Architects*



Figura 123 Dilataciones en la cobertura de *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: *Chiangmai Life Construction Architects*



Figura 124 Esterilla de bambú utilizada en la cobertura de *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: *Chiangmai Life Construction Architects*

En el caso de los dormitorios de La Ceiba, la cobertura está revestida por un techo verde. Esta no puede ser considerada una técnica comúnmente utilizada en Latinoamérica, por el contrario puede ser considerada una técnica innovadora y vanguardista ya que fue necesario un estudio previo para la resolver de la mejor manera la unión entre las cerchas de bambú que soportan la cobertura y su composición de sustrato y vegetación (Figura 125). Está diseñada en dos niveles diferentes los mismos que permiten la salida de aire caliente del interior hacia el exterior, en cuanto a su morfología siguen las curvaturas naturales definidas por la estructura. Como elemento de transición entre el sustrato vegetal y las cerchas son utilizadas esterillas de bambú lo que permite un tratamiento natural y ecológico de esta técnica.

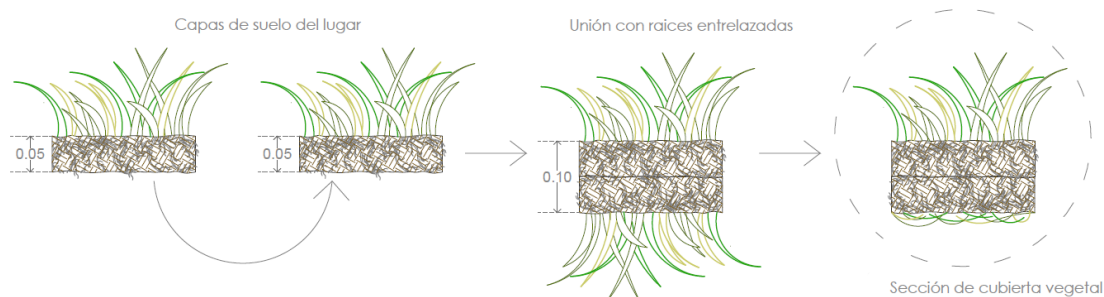


Figura 125 Composición del Sustrato y Vegetación utilizada en la cobertura de los Dormitorios

Fuente: Lucila Aguilar Arquitectos

Para la creación de la cobertura ajardinada fue necesario crear varias capas que garanticen la impermeabilización total hacia el interior del edificio. Al igual que en otro tipo de coberturas con bambú, se utilizó esterillas de bambú las mismas que colocadas con la vista hacia el interior se conectaban directamente con las correas colocadas en sentido horizontal que conectan los diferentes pórticos. Sobre la esterilla es colocado un impermeabilizante similar a los paneles de yeso, sobre este viene colocado el geotextil, posteriormente el sustrato y luego la tierra (Figura 126). El sistema de drenaje se manejó de una manera natural, la cual consistía en escurrir el agua libremente por la cubierta hasta llegar a unos botaguas (Figura 127) ubicado en los extremos de cada estructura.

Como fue previamente mencionada la cobertura se encuentra conformado por dos niveles, dos aleros laterales y un alero central más elevado (Figura 128). Esta dilatación al igual que en Tailandia permite la ventilación natural mediante la salida de aire caliente.

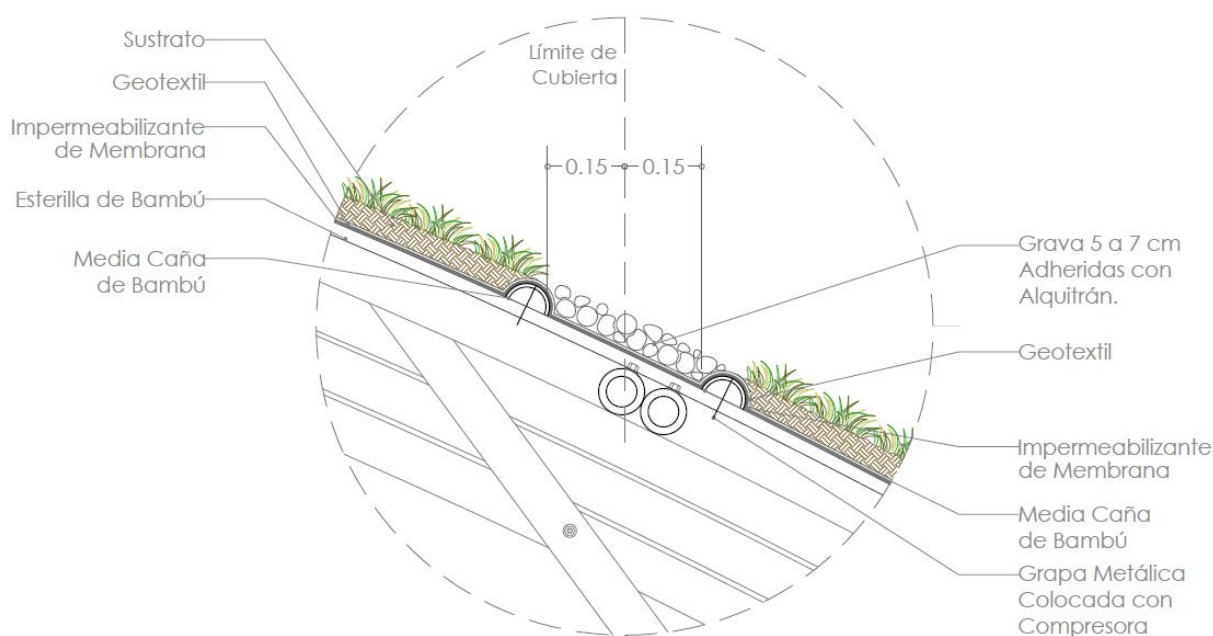


Figura 126 Detalle del funcionamiento de la cobertura de los dormitorios La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar Arquitectos

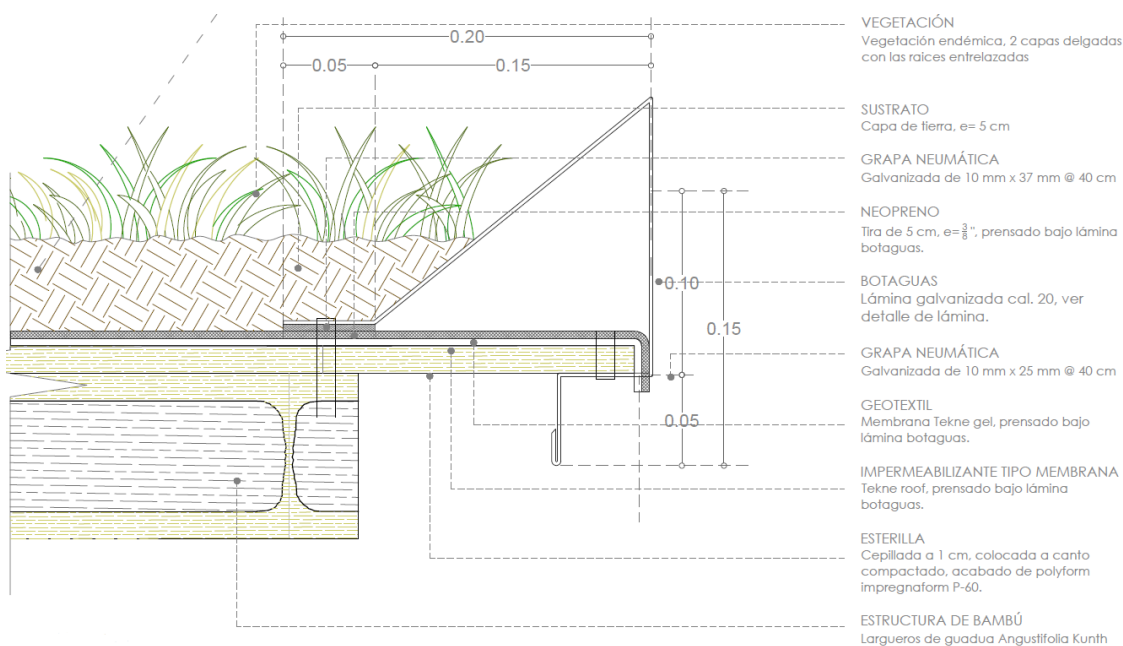


Figura 127 Unión del botagua a los diferentes elementos de la cobertura

Fuente: Lucila Aguilar Arquitectos

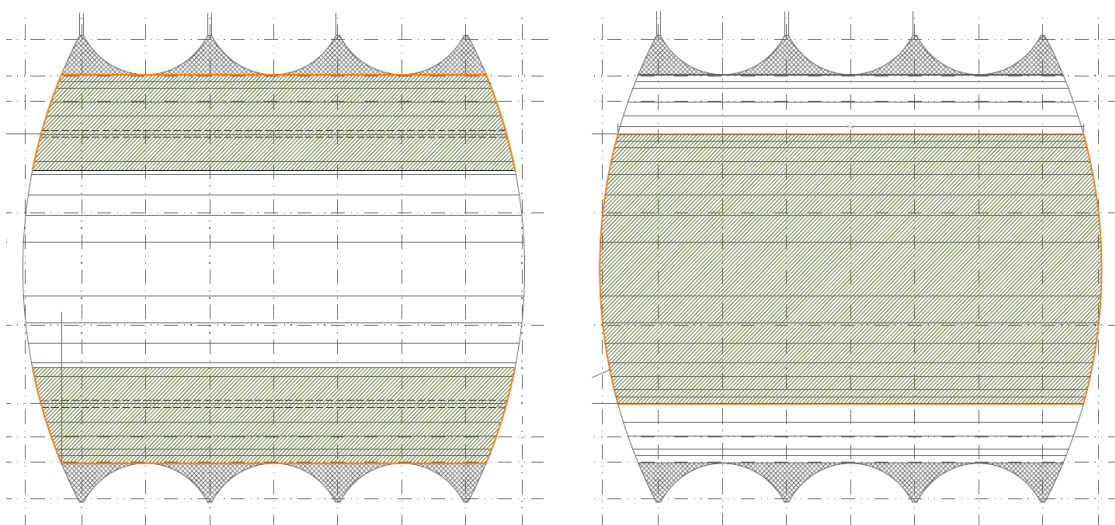


Figura 128 Planta de cubiertas Aleros laterales y central

Fuente: Lucila Aguilar Arquitectos

Ambos proyectos se vieron enfrentados a diferentes limitaciones en obra, en el caso de estudio asiático al ser el primer proyecto con estas dimensiones se enfrentaron a un proceso de experimentación para el montaje de las cerchas ya que era necesario encontrar la mejor forma de armar la estructura. Finalmente se optó por el uso de una grúa para el levantamiento

de las diferentes cerchas. Fueron colocadas en orden para después ser amarradas con la estructura secundaria en el momento que todo se encontraba alzado. (*Chiangmai Life Construction Architects*)

La principal limitación a la que se vieron enfrentados en México para la ejecución de La Ceiba fue la localización en la que se encontraba, ya que al ser un sitio remoto fue difícil el traslado y suministro de los materiales necesarios para la construcción. A partir del momento en que los materiales se encontraban en el sitio de construcción, la ejecución de la obra fue sencilla. Otro de los problemas que enfrentaron fue la falta de experiencia con el uso de bambú por lo que como fue previamente mencionado fue necesaria la intervención de arquitectos colombianos para el aprendizaje sobre las diferentes técnicas constructivas. (Lucila Aguilar Arquitectos).

Las técnicas constructivas utilizadas en cada uno de los casos de estudio son similares en algunos aspectos y diferentes en otros. La resolución que se dio para cada uno de los proyectos se basa en el conocimiento que cada uno de los arquitectos tiene en base a este material.

En el caso de las uniones longitudinales que sirven para alargar las piezas de bambú, la técnica utilizada en *Bamboo Sports Hall* consiste en unir dos tallos de bambú uno al lado del otro, en el caso de las uniones longitudinales para las cerchas fueron utilizados bambús más delgados los cuales se van uniendo unos al lado de otro a lo largo de toda la curvatura, al momento que todos los bambús se encuentran en posición se procedió a asegurar los tallos mediante el uso de alambres (Figura 129), posteriormente con la ayuda de un taladro se crearon incisiones en diferentes partes del arco y en varias direcciones. Estos agujeros creados sirven para colocar pasadores de bambú a través de varios tallos de bambú para conseguir sostener todas las piezas (Figura 130). (CLC/CLA)



Figura 129 Unión longitudinal del bambú en *Bamboo Sports Hall*

Fotografía: Adaptado de *Chiangmai Life Construction Architects*

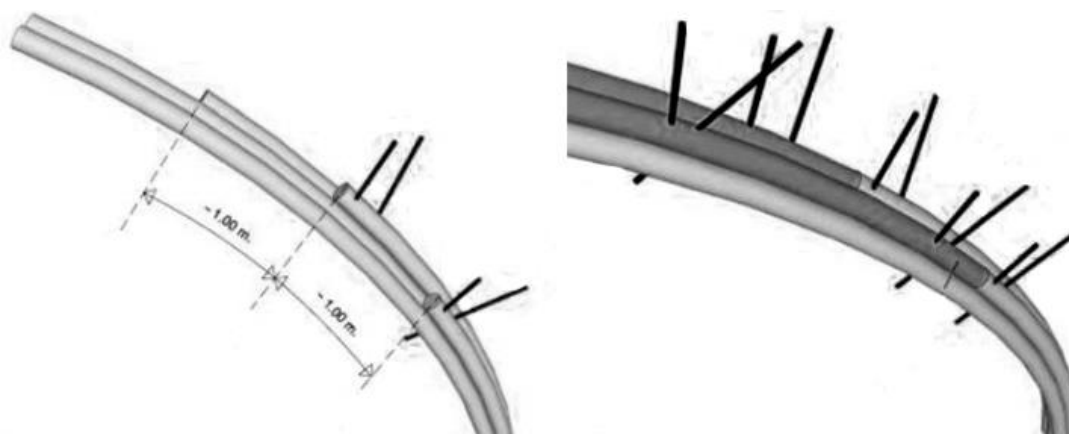


Figura 130 Esquema unión longitudinal del bambú en *Bamboo Sports Hall*

Fuente: Adaptado de *Chiangmai Life Construction Architects*

En contraste, la arquitecta mexicana en los dormitorios de La Ceiba utiliza un método diferente para alargar las piezas de bambú con el objetivo de llegar a una mayor dimensión longitudinal. Primero debe determinarse la medida que se desea alcanzar, posteriormente es preciso seleccionar los tallos de bambú necesarios para alcanzar esa medida.

Para realizar las uniones se debe efectuar un corte diagonal de manera precisa a 60° en ambos tallos hacia la misma dirección (Figura 131). Fueron conectadas las secciones delgadas unas con otras, así también es importante que las curvaturas naturales que presenta el bambú sean orientadas hacia la misma dirección en los culmos que van a ser unidos. Para la ejecución de la prolongación, primero es necesario romper parcialmente los nudos del tallo de bambú. Esto con la finalidad de ingresar el palo de madera o latas de bambú (Figura 132), por lo menos en dos entre nudos de cada culmo de bambú. La dimensión de los palos o latas debe ser suficientemente larga para generar la unión entre las dos piezas. Después de haber ingresado el palo de madera dentro de los tallos, se procede a fijar la unión mediante varilla corrugada, o a su vez esparrago galvanizado, los mismos que tienen que estar colocados en diferentes direcciones para asegurar una buena fijación de las piezas (Figura 133). Finalmente deben ser cortados los excedentes en los pasadores para que no queden piezas sueltas. (Aguilar, Manual para la Construcción con Bambú, 2018)

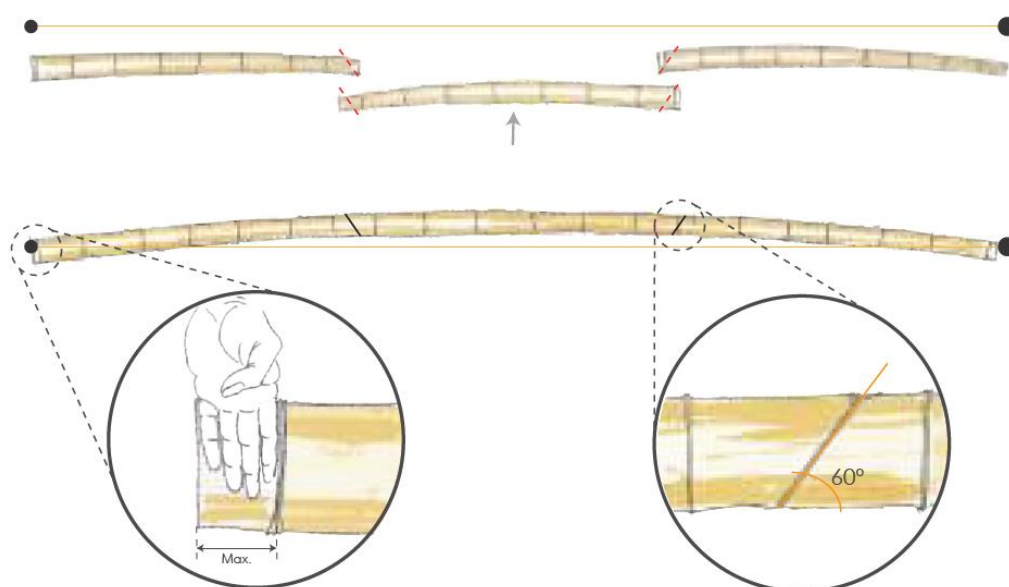


Figura 131 Corte y unión longitudinal de tallos de bambú

Fuente: Lucila Aguilar (2019, p.4)



Figura 132 Prolongamiento longitudinal del Bambú en La Ceiba

Fuente: Adaptado de Lucila Aguilar (2018, p.39)

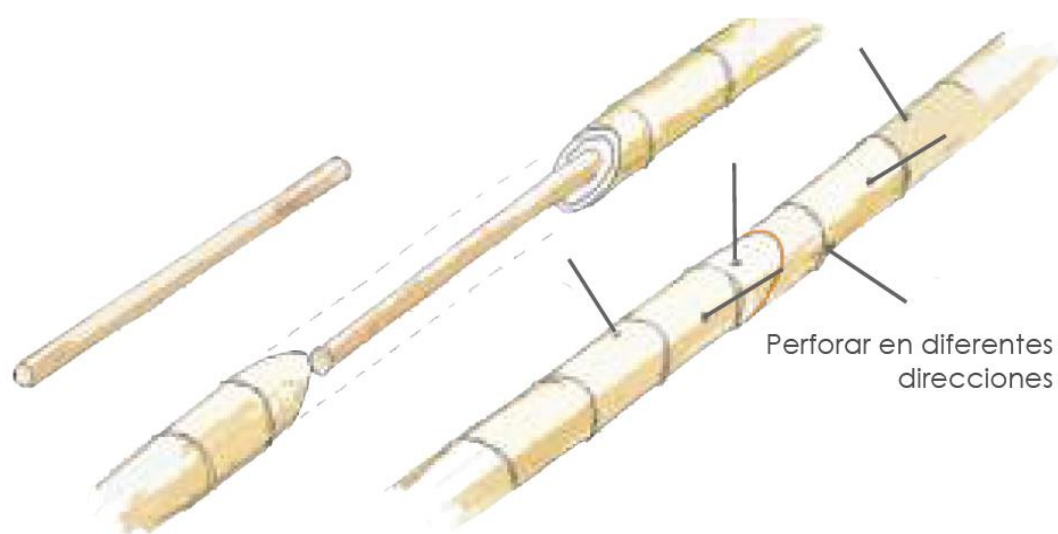


Figura 133 Detalles del proceso de ligación longitudinal aplicado en los dormitorios de La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p.39)

Ya que tanto *Bamboo Sports Hall* como los dormitorios de La Ceiba utilizaron las cerchas de bambú como elemento estructural principal, en ambos casos estas estructuras fueron efectuadas de manera prefabricada, esto con el objetivo de montarlo en obra de manera más eficaz. En los dos continentes fue necesaria la ayuda de una grúa para alzar todos los pórticos y unirlos una vez colocados en posición vertical, por lo que fue necesario el uso de uniones provisionales mediante cuerdas y alambres metálicos, los mismos que permiten ajustar las diferentes piezas de bambú, pero al mismo tiempo es posible moverlos en caso de que sea necesario. Estas cerchas de bambú para los dos casos de estudio se conectan horizontalmente mediante el uso de correas del mismo material. El proceso constructivo de ambos proyectos puede apreciarse en la Figura 134 y Figura 135, donde se puede ver la morfología de las cerchas de bambú.



Figura 134 Proceso Constructivo *Bamboo Sports Hall*

Fuente: Markus Roselieb / *Chiangmai Life Construction Architects*



Figura 135 Proceso constructivo de los dormitorios de La Ceiba

Fotografía: Lucila Aguilar Arquitectos

Las uniones utilizadas para juntar los diferentes elementos de bambú utilizan diversos materiales en cada caso de estudio. En Tailandia los arquitectos encargados de la construcción, como fue previamente establecido, decidieron utilizar piezas de bambú incluso en los elementos de unión, sin embargo existen situaciones puntuales dentro del proyecto, en especial en piezas que soportarían mayor cargas como es el caso de la cercha, fue necesario reforzar las uniones con elementos de diferente material como pernos y correas metálicas. Estas situaciones se encuentran principalmente en los arcos que conforman las cerchas. El objetivo de estas piezas metálicas era reforzar los arcos realizados con uniones de bambú; para esto fue utilizada una correa de metal que posteriormente sería recubierta por una cuerda o hilo de cáñamo. Estas cuerdas de fibras naturales solo cumplen una función estética como se puede ver en la Figura 136 y Figura 137, debido a que al ser fibras naturales su vida útil es más corta. Para poder realizar mejor las uniones a nivel transversal se utilizó principalmente la técnica de “Boca de Pescado”. A pesar que se utilizaron piezas metálicas para la unión de ciertos elementos cuando analizamos el proyecto podemos establecer que el bambú es el material predominante en la obra.



Figura 136 Unión de bambú a través de correas metálicas

Fuente: Adaptado de *Chiangmai Life Construction Architects*

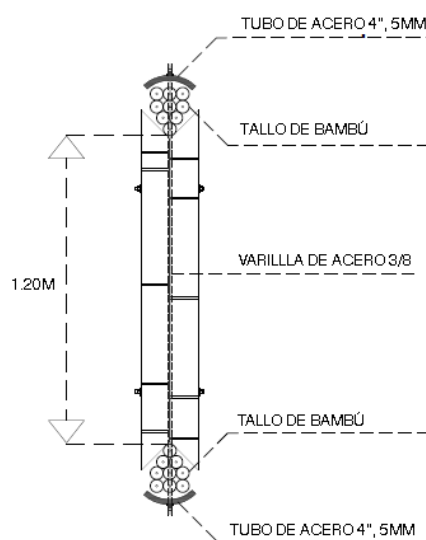


Figura 137 Detalle constructivo de tallos de bambú con varillas metálicas

Fuente: Adaptado de *Chiangmai Life Construction Architects*

Por otra parte en el proyecto de Latinoamérica fueron utilizados solamente elementos metálicos para realizar las uniones de bambú. Para asegurar de mejor manera las piezas se utilizó el método creado por el arquitecto colombiano Simón Vélez, el cual consiste en inyectar mortero de cemento dentro de los culmos de bambú. Esta decisión fue basada en estudios estructurales realizados, los cuales determinan que la capacidad portante de un tallo de bambú aumenta considerablemente cuando se rellenan con *grout*⁴³ los entrenudos adyacentes a la zona donde van a ser colocados los pernos metálicos. Esta técnica busca evitar los aplastamientos generados por las grandes cargas y esfuerzos a las que se ven sometidos los elementos de bambú en estructuras de gran escala como, en el caso de La Ceiba, los pórticos estructurales. Las uniones transversales de los tallos de bambú fueron realizadas de dos maneras, mediante la unión boca de pescado con espárragos galvanizados (Figura 138), así como uniones sobrepuestas entre los tallos de bambú que se unen mediante elementos metálicos (Figura 139). Estas técnicas fueron las escogidas ya que se ajustaban a las expectativas que se tenía del material y del proyecto. (Aguilar, 2018)

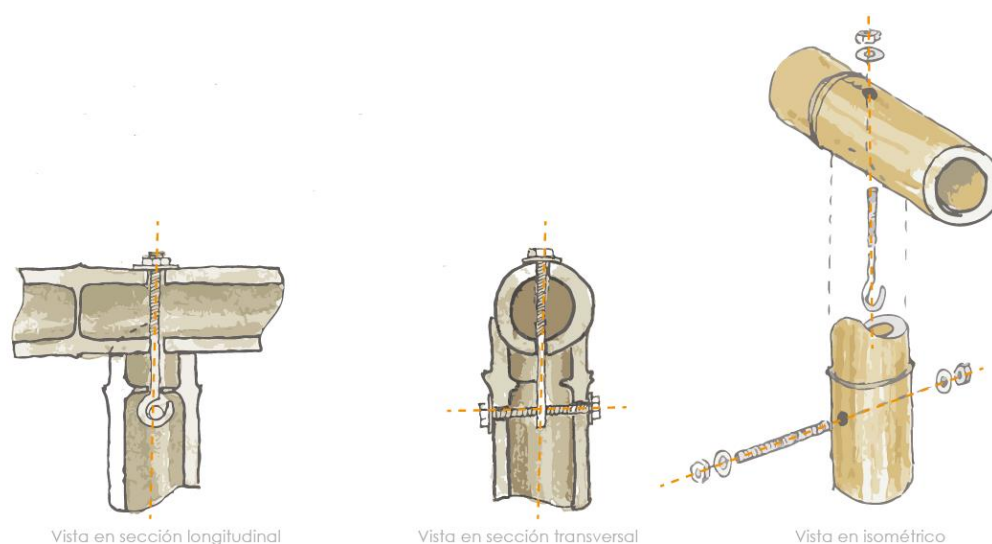


Figura 138 Unión boca de pescado con espárragos galvanizados utilizados en los dormitorios de La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p. 32)

⁴³ Es un mortero hidráulico para anclajes, que permite la transmisión uniforme de los esfuerzos.

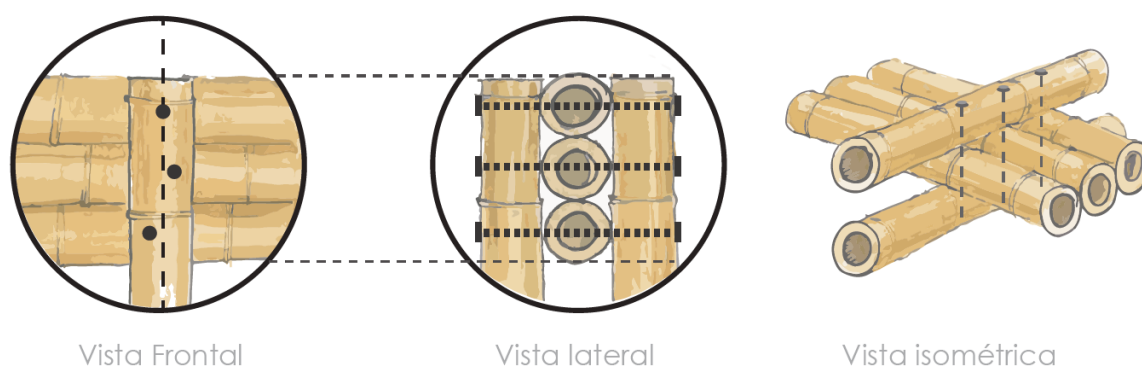


Figura 139 Unión transversal mediante espárragos galvanizados en los dormitorios de La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar (2019, p.12)

Finalmente uno de los pasos más importantes al finalizar la construcción de estructuras con bambú es proteger sus extremos huecos. Es esencial sellar los culmos de bambú, en especial en ciertos elementos de la construcción que se encuentran más expuestos como por ejemplo las vigas que soportan la cobertura. La finalidad principal es proteger la integridad de las piezas de bambú para evitar el ataque de insectos, la suciedad e incluso la acumulación de humedad dentro de los culmos. Existen diferentes técnicas utilizadas para sellar los extremos del bambú, en los casos de estudio analizados se pueden establecer dos métodos que utilizan materiales diferentes.

En *Bamboo Sports Hall* los arquitectos optaron por una técnica que utiliza bambú. Este método se basa en el proceso de aprendizaje que han tenido con los diferentes proyectos realizados en este material. Para sellar los extremos de bambú, utilizan pedazos circulares del mismo material, los mismos que funcionan como una especie de tapa elaborada a medida (Figura 140). La ventaja de utilizar el mismo material para sellar es que no existirán contraposiciones de comportamiento ante diferentes situaciones ambientales. (CLC/ CLA)



Figura 140 Sellantes de bambú utilizados en los extremos de los tallos de *Bamboo Sports Hall*

Fuente: Fuente: Adaptado de *Chiangmai Life Construction Architects*

La técnica utilizada en los dormitorios de La Ceiba, es diferente ya que utiliza una masilla elaborada con la unión de aserrín, cola blanca y agua. El sellamiento de los extremos es simple ya que solamente es necesario colocar la mezcla, con ayuda de una espátula o directamente con la mano, dentro de los bordes de los tallos de bambú que quedan expuestos en la construcción del proyecto (Figura 141). (Aguilar, 2018)



Figura 141 Sellante de aserrín para los tallos de bambú en los dormitorios de La Ceiba

Fuente: Lucila Aguilar (2018, p.47)

4.5. Resumen del Capítulo

Con el pasar de los años el bambú ha sido difundido a diferentes continentes donde no es originario, llegando a formar parte de obras arquitectónicas de diferentes escalas y con diferentes usos programáticos. Sin embargo el uso de bambú en continentes como Europa se ha visto ligeramente obstaculizado por la falta de suficientes normas constructivas que permitan su aplicación de manera libre, a pesar de la existencia de la Norma ISO 22157. De todas maneras ha sido posible la creación de diferentes obras en varios países de diversos continentes. Asimismo al ser un material tan abundante en ciertas zonas del planeta, el bambú ha sido el material utilizado por muchos arquitectos en continentes como Asia y América por lo que diferentes estudios de arquitectura han utilizado bambú como material principal para sus proyectos arquitectónicos.

Fue decidido el enfoque en dos casos de estudio pertenecientes a diferentes continentes para ser analizados. A pesar de que el bambú se encuentra disponible en varios continentes, Latinoamérica y en Asia son las zonas que han generado un mayor desarrollo del mismo dentro de la arquitectura, es por esto que se optó por el análisis de los casos de estudio pertenecientes a estos dos continentes, sin embargo en base a la bibliografía consultada se está apostando cada vez más por el uso de este material en África por lo que puede ser un tema para investigaciones posteriores. Fueron contactados cerca de 12 talleres de arquitectura, los cuales tenían proyectos que cumplían con las características. ChiangMai Life Architects fueron los primeros en poner a disposición la información de su proyecto, por lo que el referente americano debía cumplir con ciertas similitudes en cuanto a tipología de construcción para poder facilitar el análisis. Posteriormente entre en contacto con Lucila Aguilar Arquitectos, los mismos que se dispusieron a aclarar dudas existentes acerca del proyecto. Es así como se llegó a consolidar Bamboo Sports Hall y Los dormitorios de La Ceiba para ser los casos a analizar.

El caso de estudio de Asia fue Bamboo Sports Hall, construido por Chiangmai Life Architects, siendo los arquitectos encargados Markus Roselieb y Tosapon Sittiwong. Sin embargo al ser un proyecto de una escala tan grande fueron asesorados por dos ingenieros Phuong Nguyen y Esteban Morales Montoya. El proyecto se encuentra ubicado en Chiangmai al Noreste de Tailandia. Una zona tropical con temperaturas constantes a lo largo del año y con humedad elevada. Por lo que las técnicas utilizadas en este proyecto fueron en respuesta a las condiciones climáticas.

Por otro lado el caso de estudio de Latinoamérica fue el edificio de Los Dormitorios de La Ceiba, construido por Lucila Aguilar Arquitectos, donde los arquitectos encargados fueron Miguel Vargas y Lucila Aguilar. Sin embargo al ser unas de las primeras estructuras que construirían en bambú fueron asesorados por el experto en construcción con bambú Jörg Stamm. Este proyecto se encuentra ubicado en Chiapas al sudeste de México. Una zona de clima cálido y humedad elevada a lo largo del año por lo que en respuesta a estas condiciones fueron creados grandes voladizos en sus coberturas.

Algo que es importante destacar es que en el caso de Asia debido a su experiencia construyendo en bambú utilizaron un método empírico en lo que se refiere a la resistencia del bambú mientras que en México fueron realizados estudios de laboratorio para determinar estos valores. En base a la bibliografía consultada los valores de una misma especie pueden variar según diferentes factores ya que al ser un material natural puede verse influenciado por agentes externos es por eso que no es recomendable utilizar el método empírico ya que eso puede comprometer la durabilidad y resistencia de una estructura por lo que lo más acertado es realizar un análisis para cada proyecto a realizar. En ambos casos fue necesario el uso de mano de obra especializada debido a la magnitud de los proyectos, además del uso de grúas para montar el sistema estructural principal.

Características	Asia	América
	Bamboo Sports Hall	Dormitorios La Ceiba
Materialidad	Completamente en bambú	Combinación de bambú y bahareque
Área de construcción	782m ²	270 m ²
Especies de bambú utilizadas	Dendrocalamus sericeus, Bambusa Blumeana, Thyrsotachys oliveri, Dendrocalamus Asper, Pai Luak Khao, Gigantochloa albociliata	Guadua Angustifolia
Cimentaciones	Bambú inserido en un cilindro de hormigón y recubierto para fijar la estructura	Varillas Metálicas inseridas dentro de los culmos de bambú las mismas que se insieren en el suelo
Uniones Longitudinales	Mediante correas metálicas, recubiertas por cuerdas de fibras naturales	Elementos de bambú inseridos en el interior de ambos tallos para unir uno con otro
Uniones Transversales	Realizadas con elementos del mismo material	Realizadas con elementos metálicos como tornillos y pernos
Uniones en Diagonal	Uso de ensamblajes y pasadores de bambú	Uso de elementos metálicos que no estén colocados en el mismo eje
Sistema Estructural	Cerchas de bambú prefabricadas	Cerchas de bambú prefabricadas
Cubierta	Estructura principal en bambú y revestimiento con esterilla de bambú. Diseñada en 3 diferentes capas con dilataciones que permiten la salida de aire caliente	Estructura principal en bambú, con cubierta vegetal. Esterilla como elemento de transición entre la estructura y la vegetación. Diseñada en 2 niveles para permitir la salida de aire caliente.

Tabla 7 Características constructivas de los dos casos de estudio

Fuente: *Chiangmai Life Architects* | Lucila Aguilar Arquitectos

5. CONSIDERACIONES FINALES

Como se sabe la arquitectura ha ido desarrollándose con el pasar del tiempo, utilizando nuevas técnicas y materiales que han permitido crear diferentes tipos de proyectos para alcanzar nuevas posibilidades dentro de la construcción. El bambú es uno de los materiales que permite crear nuevos tipos de estructuras para innovar la arquitectura como la conocemos. Uno de los mayores atributos que presenta es su beneficio para el medio ambiente, ya que esto hace que las construcciones que utilicen este material generen menos contaminación, bajando la huella de carbono del proyecto global.

A pesar de ser uno de los materiales utilizados en las construcciones más primitivas como se pudo apreciar en capítulos anteriores se ha mantenido su uso hasta tiempos modernos. Ya que es un material que tiene una gran trayectoria dentro de la arquitectura y con la aparición de nuevas tecnologías las formas de trabajar el bambú han incrementado, no obstante las técnicas vernáculas se mantienen hasta la actualidad y probablemente seguirán siendo aplicadas en obras posteriores. A pesar de ser un material natural, cualidades que tiene el bambú han permitido que sea trabajado tanto de forma artesanal como de manera “industrializada” ya que puede ser adaptado a cada una de las necesidades que cada proyecto requiera.

Después de haber analizado las propiedades y usos de este material se puede establecer que definitivamente el bambú es uno de los elementos naturales más versátiles con los que se puede trabajar, ya que puede ser combinado con diferentes materiales, sin embargo, por sí solo también puede cumplir varias funciones dentro de una edificación; incluso como se puede apreciar en *Bamboo Sports Hall*, puede ser prácticamente el único material utilizado para crear un proyecto arquitectónico. Esto es posible por diversas razones, en primer lugar existen más de 1600 especies de bambú en todos los continentes con excepción de Europa y la Antártica, y cada una cuenta con características propias que determinan cual es el mejor campo de aplicación que pueden tener, ya sea dentro de la arquitectura o en algún otro

aspecto. Asimismo otra de las razones es que puede ser utilizado con diferentes morfologías, sea en su forma natural tubular aplicado en estructuras, en secciones pequeñas como latas e incluso como una superficie horizontal como las esterillas. Cada una de estas morfologías puede ser aplicada en diversas partes de la arquitectura pudiendo llegar a conformar un proyecto en su totalidad.

Al ser analizadas las propiedades mecánicas del bambú, podemos destacar las grandes cualidades que posee como material estructural, ya que presenta un buen comportamiento a compresión otorgado principalmente por los nudos interiores que se distribuyen a lo largo de todo el culmo. De igual manera estos nudos aportan en gran medida las capacidades a tracción que presenta el bambú al ser sometido a diferentes tipos de cargas; esta propiedad es destacable porque puede soportar grandes cargas con la ventaja de ser un material natural. Otra de las propiedades destacadas del bambú es su gran flexibilidad ya que esta es una de las principales características que hace que el bambú sea utilizado como material sismo-resistente, ya que la rigidez que otorgan sus entrenudos en combinación con la ligereza de sus nodos huecos permiten las oscilaciones de este material en caso que ocurra un sismo produciendo el menor daño en la edificación en comparación con otros materiales más rígidos.

Después de haber considerado los resultados obtenidos en los diferentes estudios expuestos previamente podemos establecer que el comportamiento del bambú a tracción es mayor que su comportamiento a compresión, sin embargo, se debe recalcar que este último también soporta grandes cargas, incluso mayores que las que resisten otro tipo de materiales. Sin embargo, no todo son ventajas con respecto al bambú, ya que al ser un material natural se ve fuertemente expuesto a diferentes factores que pueden comprometer sus capacidades. Se vuelve un elemento vulnerable al ataque de insectos y hongos, en especial cuando no se otorga el tratamiento y secado necesario para garantizar una mayor resistencia; no obstante, si

es preservado de la manera correcta su expectativa de vida como material estructural incrementa considerablemente.

Al igual que las formas de trabajar el bambú, los tratamientos de preservación y secado también han ido evolucionando con la llegada de nuevas tecnologías, sin embargo, hasta la actualidad siguen siendo utilizados métodos naturales por factores como el costo de ejecución, además del impacto que presenta para el medio ambiente. De todas maneras dentro de las técnicas artificiales o químicas se pueden encontrar opciones que no son agresivas con el entorno, y que por otro lado presentan resultados más rápidos y eficaces; es decir, se puede encontrar un balance entre las medidas ambientales y la efectividad del procedimiento.

El uso del bambú se ha ido extendiendo cada vez más a nivel mundial, incluso en zonas donde este material no es originario como se pudo ver en los ejemplos de obras realizadas fuera de estas zonas. Fue necesaria la creación de normas internacionales para facilitar su aplicación en diferentes continentes, sin embargo, una vez establecidas estas normas de construcción con bambú, la concepción del bambú como material perecible ha ido cambiando, gracias a las grandes obras realizadas en diferentes países como fue establecido en el capítulo 4. Sin embargo, a pesar de la existencia de estas normas, al ser un material poco o nada utilizado en algunos países, la principal dificultad que presenta es la autorización por parte de los órganos reguladores de cada país para la construcción con bambú, así como la importación del material necesario para la construcción.

A pesar de la existencia de normas internacionales que garanticen el correcto uso del bambú como material constructivo, la variabilidad de sus propiedades puede generar un menor control de calidad en comparación con materiales industrializados. No obstante, eso no significa que las capacidades de materiales naturales como el bambú sea inferior, de hecho como fue establecido al analizar las propiedades mecánicas del bambú, su comportamiento

alcanza cifras elevadas lo que lo convierte en un óptimo elemento constructivo. De todas maneras las técnicas utilizadas para trabajar el bambú siguen siendo innovadas por varios arquitectos, los mismos que buscan explorar las capacidades que este material tiene para ofrecer. El hecho de utilizar nuevas tecnologías en combinación con nuevos materiales hace que el sistema constructivo en bambú evolucione, sin embargo, hay que tomar en cuenta que no siempre el uso de nuevas tecnologías es sinónimo de mejores construcciones.

Algunos de estos arquitectos con técnicas innovadoras fueron estudiados en los casos de estudio tanto de Asia como de Latinoamérica. Al analizar los proyectos realizados podemos establecer las diferencias y similitudes que presentan las técnicas utilizadas en cada uno de los continentes. Primero que nada es importante destacar que las especies utilizadas en Asia no suelen ser las mismas que en América Latina. Esto se debe principalmente a que cada especie es endémica de cada zona por lo que la *Guadua Angustifolia Kunth* es principalmente utilizada en las construcciones latinoamericanas, por otro lado, en Asia las construcciones son efectuadas con más de una especie como en el caso de *Bamboo Sports Hall*, donde fueron utilizadas 6 diferentes tipos de bambú.

En lo que se refiere a las técnicas utilizadas en el caso de estudio de Asia en comparación al método Latinoamericano se pueden establecer ciertas diferencias entre cada una. En los dormitorios de La Ceiba los tallos de bambú evitan en mayor medida el contacto directo con el suelo o el hormigón, de esta manera se previene la absorción de humedad generada por el proceso de fraguado. En *Bamboo Sports Hall* por otra parte, son inseridos los tallos de bambú dentro de un tubo de cemento que contiene varillas metálicas por lo que se encuentran en contacto más directo con estos materiales, sin embargo, la experiencia de los arquitectos les llevo a determinar ésta como la técnica más apropiada para sus proyectos.

Las uniones de los elementos de bambú también difieren en cada uno de los casos, así como en otros referentes de cada continente. Destacan las técnicas más artesanales y naturales en el continente asiático, ya que optan por materiales locales incluso para la unión de sus elementos, sin embargo, en situaciones puntuales donde es necesario reforzar las estructuras que son sometidas a esfuerzos mayores son utilizadas piezas metálicas para garantizar su estabilidad. Uno de estos ejemplos es la técnica utilizada por el arquitecto colombiano Simón Vélez, que utiliza pernos y piezas metálicas, en combinación con mortero de cemento para asegurar los entrenudos donde son realizadas las diferentes uniones.

A pesar que pueden ser establecidas las técnicas más utilizadas en cada uno de los continentes, no se puede establecer una norma general, ya que muchas de estas decisiones vienen dadas por parte de cada arquitecto, del diseño escogido y de factores ambientales que varían para cada uno de los proyectos; así también el uso de la cobertura ajardinada del caso de estudio Latinoamericano es una técnica innovadora utilizada en este caso, mas no es la solución aplicada para todas las obras realizadas en este continente, por lo que no puede ser generalizado. No existen soluciones ideales estándar, pero sí soluciones adecuadas para cada lugar con su tecnología existente.

Al ser el bambú un material natural su vida útil se encuentra directamente relacionada con el cuidado y tratamiento proporcionado, es por esto que al realizar estructuras con bambú deben ser previstos los cuidados de mantenimiento posterior, tanto en la pieza completa, como en las uniones realizadas, con el fin de garantizar un buen comportamiento de la estructura. El uso de materiales industriales como acero u hormigón para la ejecución de las conexiones exige una mantenimiento inferior que las uniones realizadas con bambú o fibras naturales, por lo que muchas veces los arquitectos se inclinan por la primera opción, en especial cuando se trata de uniones complejas, o en la conexión de elementos principales de la estructura.

A lo largo del trabajo se determinó que la ventaja de utilizar elementos de un mismo material garantiza que el comportamiento ante factores externos sea el mismo, a pesar de ello el uso de elementos metálicos puede traer ventajas estructurales en las uniones en lo que se refiere a estabilidad, por lo que al ser combinados componentes de diferentes materiales, deben ser considerados los comportamientos tanto de contracción como dilatación de cada material. En especial estos factores deben ser analizados en países donde la construcción con bambú no se realice comúnmente, ya que el comportamiento del mismo puede variar considerablemente de acuerdo al lugar del cual es importado.

Para la construcción de estructuras con bambú de pequeña escala no son necesarios grandes conocimientos, ya que muchas veces son realizadas las construcciones de manera empírica con los conocimientos que pasan de generación en generación. Sin embargo, siempre es recomendable utilizar mano de obra especializada, o a su vez, estar asesorado por personas expertas en la construcción con bambú, principalmente en lo que se refiere a la construcción de estructuras de grandes dimensiones, ya que las cargas y esfuerzos a los que se ve sometido el bambú son mayores, por lo que es imprescindible un correcto cálculo y aplicación en obra.

Un punto crítico en la construcción con bambú son las cimentaciones, debido a que este aspecto tiene que tratarse con especial cuidado dentro de la ejecución del proyecto. Las fundiciones son un elemento significativo dentro de la construcción, ya que son la base en la que se asienta la estructura completa. Es por eso que las técnicas que mantienen el bambú cerca de la humedad del suelo así como las otras técnicas existentes, deben tener en consideración las medidas necesarias para evitar la pérdida de propiedades en base a los cambios en las condiciones de equilibrio, tanto de temperatura, como de humedad, ya que juegan un papel fundamental en el comportamiento final del bambú.

Con este trabajo se pueden analizar las propiedades físicas y mecánicas que tienen algunos tipos de bambú y cuáles son las posibilidades que presenta para ser utilizado como material de construcción en la actualidad. Sin embargo, la versatilidad del bambú permite que, con el paso del tiempo se generen nuevas técnicas constructivas, tal como ha ocurrido hasta el momento. Siendo el bambú es uno de los materiales naturales que más beneficios brinda tanto para el ambiente como para los proyectos en los que es aplicado, con la ayuda de este trabajo se obtienen las pautas necesarias para conocer los sistemas constructivos y las aplicaciones que se puede dar al bambú, al mismo tiempo son determinados diferentes tipos de proyectos que han sido creados hasta la actualidad, los mismos que han utilizado este material como elemento primordial de sus estructuras.

En definitiva, después de haber analizado todas las aportaciones que brinda el bambú, se puede establecer como un elemento de transformación para la arquitectura contemporánea desde un punto de vista sustentable. Si se utiliza el bambú de manera recurrente para la construcción puede representar un cambio en la industria actual, recuperando la memoria de una arquitectura pasada pero aplicada para la resolución de problemas actuales. Ya que es un material amigable con el medio ambiente, las bondades que presenta para su entorno pueden ayudar a recuperar un ecosistema afectado, mejorando la calidad de vida de sus usuarios a través de una arquitectura sustentable.

En base al análisis realizado a lo largo de este trabajo, pueden ser establecidas posibles vertientes futuras, las mismas que podrían ser desarrolladas como complemento del mismo; sería de gran interés estudiar un mayor número de proyectos arquitectónicos que utilicen el bambú como elemento principal de su estructura y que se encuentren dentro de Latinoamérica y Asia tal como los casos estudiados en esta disertación; esto con el objetivo de realizar un análisis comparativo más profundo dentro de diferentes realidades donde es aplicado este material.

Asimismo al ser África uno de los continentes que produce bambú y que apuesta cada vez más por el uso de este material dentro de la arquitectura sería recomendable realizar un análisis de proyectos construidos en este continente. De esta manera se puede estudiar las tipologías y métodos aplicados, los mismos que pueden variar ya que las condiciones climáticas, sociales y culturales son diferentes en cada uno de estos continentes. Ya que el uso del bambú ha trascendido en la arquitectura los últimos podemos encontrar proyectos fuera de los continentes que producen bambú de manera endémica, por lo que su análisis puede ser de gran relevancia para complementar los datos previamente establecidos en esta disertación.

Las características físicas y mecánicas del bambú varían incluso siendo de la misma especie por diferentes factores externos, es por eso que las construcciones en este material no deben ser basadas en conocimientos empíricos acerca de su resistencia como lo hacen en el proyecto Bamboo Sports Hall. Y a pesar de que han sido creadas normas internacionales, su construcción aún no está del todo reglamentada es por eso que la experiencia empírica es una realidad. En lo que se refiere a los casos de estudio las cimentaciones utilizadas no son las soluciones más aptas para garantizar su durabilidad ya que fácilmente podrían verse afectados por humedad ascendente a través de sus fibras, es por eso que se recomienda utilizar técnicas que aislen el bambú de la humedad.

En lo que se refiere a las uniones utilizadas, en La Ceiba se muestran a simple vista mientras que en el caso de estudio de Asia son recubiertas por cuerdas de fibras naturales. Asimismo las técnicas de prolongamiento aplicadas en ambos casos tienen beneficios y desventajas sin embargo en lo que se refiere a mantenimiento posterior las correas metálicas son la opción más acertada. Las técnicas utilizadas son diferentes en cada caso, en La Ceiba evitan el uso de cortes diagonales, creando principalmente uniones transversales con pernos metálicos, mientras que las uniones diagonales predominan en Sports Hall.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, L. (2018). *Manual para la Construcción con Bambú*. México: Lucila Aguilar Arquitectos .

Aguilar, L. (2019). *Baños y Vestidores de Campamento* . México : XIII Bienal Habana.

Aguilar, L. (2019). *Dormitorios para Campamento*. México: XIII Bienal Habana.

Arce, O. A. (1993). *Fundamentals of the design of bamboo structures*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven DOI: 10.6100/IR402687.

Architecten, A. 7. (20 de Diciembre de 2012). *Low Energy Bamboo House*. Recuperado el 13 de Junio de 2019, de ArchDaily: <https://www.archdaily.com/306183/low-energy-bamboo-house-ast-77-architecten>

Architects, C. L. (Octubre de 2013). *CLA/CLC*. Recuperado el 23 de Julio de 2019, de Sitio Web de Chiangmai Life Construction: <https://www.bamboo-earth-architecture-construction.com/in-the-news/frank-gehry-visits-clc-panyaden-school/>

Architects, C. L. (24 de Julio de 2019). *Bamboo Treatment*. Obtenido de Sitio Web de Chiangmai Life Construction: <https://www.bamboo-earth-architecture-construction.com/bamboo-treatment/>

Architects, C. L. (s.f.). *Bamboo Sports Hall Panyaden International School*. Recuperado el 22 de Julio de 2019, de Sitio Web de Chiangmai Life Construction: <https://www.bamboo-earth-architecture-construction.com/portfolio-item/panyaden-international-school-sports-hall/>

Architects, V. (2006). *Company and Awards*. Recuperado el 07 de Agosto de 2019, de Vo Trong Nghia Architects: <http://votrongnghia.com/company/>

- Associates, K. K. (1990). *About Kengo Kuma*. Recuperado el 27 de Agosto de 2019, de Kengo Kuma and Associates: <https://kkaa.co.jp/about/kengokuma/>
- Avila, F. D. (2017). *Teoría, diseño y práctica con bambú, riesgo y sostenibilidad en San Antonio Suchitepéquez*. Guatemala: Repositorio Universidad de San Carlos de Guatemala .
- AVSI, U. d.-F. (2017). *Manual Técnico del Bambú para Productores*. Perú: Biblioteca Nacional del Perú .
- Awalluddin, D., Ariffin, M. A., Osman, M. H., WaridHussin, M., Ismail, M. A., Lee, H.-S., & Lim, N. H. (Enero de 2017). Mechanical properties of different bamboo species. *MATEC Web of Conferences 138*, 1-10. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/322269901_Mechanical_properties_of_diffe
rent_bamboo_species](https://www.researchgate.net/publication/322269901_Mechanical_properties_of_different_bamboo_species)
- BambooU. (2015). *About Us*. Recuperado el 11 de Febrero de 2019, de Sitio web de Bamboo U: <https://www.bamboou.com/about>
- BambooU. (14 de Junio de 2019). *Guide to making a fish mouth*. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de Bamboo U: <https://bamboou.com/projects/fishy-joinery/>
- BambooU. (7 de Junio de 2019). *The 7 Bamboo species we use the most*. Recuperado el 3 de Agosto de 2019, de Artículos de Bamboo U: <https://bamboou.com/articles/special-species/>
- Cinatti, R., Almeida, L. d., & Mendes, S. (1987). *Arquitectura Timorensis*. Lisboa: Museu de Etnologia.

Consentino. (31 de Agosto de 2017). *Magaceen*. Recuperado el 25 de Enero de 2019, de <https://magaceen.com/es/architecture/international-bamboo-biennale/>

Dejtjar, F. (05 de Septiembre de 2017a). *Pabellón de Deportes de Bambú para la Escuela Internacional Panyaden / Chiangmai Life Construction*. Obtenido de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/878837/pabellon-de-deportes-de-bambu-para-la-escuela-internacional-panyaden-chiangmai-life-construction>

Dejtjar, F. (17 de Enero de 2017b). *Playa Man / The Scarcity and Creativity Studio*. Obtenido de Plataforma Arquitectura: https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/803135/playa-man-the-scarcity-and-creativity-studio?ad_medium=gallery

Department, R. F. (2013). *Physical and Mechanical Properties of some Thai Bamboos for House Construction*. Tailandia : Aksornsiam Printing.

Duarte, M. d. (Agosto 2016). *Estructuras en Guadua (GaK)*. Ecuador: MIDUVI.

Duque, K. (05 de Mayo de 2014). *Dormitorios Temporales / a.gor.a Architects*. Recuperado el 17 de Febrero de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-357915/dormitorios-temporales-a-gor-a-architects>

Ecotableros de Colombia . (2017). *Nosotros: Ecotableros de Colombia*. Obtenido de Sitio Web de Ecotableros de Colombia: <http://www.ecotableros.com/nosotros/>

Editorial, E. (01 de Septiembre de 2015). *Prototipos de vivienda en bambú para Nepal, por RootStudio*. Recuperado el 05 de Marzo de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/772894/prototipos-de-vivienda-en-bambu-para-nepal-por-rootstudio>

- Editorial, E. (15 de Noviembre de 2017). *Aprendiendo carpintería básica en Bambú junto a artesanos indonesios*. Recuperado el 09 de Junio de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/883696/aprendiendo-carpinteria-basica-en-bambu-junto-a-artesanos-indonesios>
- Franco, J. T. (04 de Mayo de 2013a). *Arquitectos de Indonesia trabajan para preservar y reconstruir las tradicionales chozas cónicas Mbaru Niang*. Recuperado el 27 de Agosto de 2019, de Plataforman Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-257209/arquitectos-de-indonesia-trabajan-para-preservar-y-reconstruir-las-tradicionales-chozas-conicas-mbaru-niang>
- Franco, J. T. (4 de Junio de 2013b). *Arquitectura en Bambú: la obra de Simón Vélez*. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265878/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez>
- Franco, J. T. (07 de Octubre de 2013c). *Casa Bb / H&P Architects*. Recuperado el 22 de Febrero de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-297672/casa-bb-h-and-p-architects>
- Franco, J. T. (16 de Diciembre de 2017a). *Alerta de material notable: el Bambú Negro*. Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/883941/alerta-de-material-notable-el-bambu-negro>
- Franco, J. T. (23 de Octubre de 2017b). *Bamboo U: Curso de construcción y diseño con bambú en Bali*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/882155/bamboo-u-curso-de-construccion-y->

diseno-en-bali?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-
show&ad_content=other-user

Franco, J. T. (30 de Noviembre de 2017c). *Cómo (y por qué) integrar tierra y bambú en un proyecto de arquitectura*. Recuperado el 08 de Marzo de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/883942/como-y-por-que-integrar-tierra-y-bambu-en-un-proyecto-de-arquitectura>

García, J. J., Rangel, C., & Ghavami, K. (Junio, 2012). Experiments with rings to determine the anisotropic elastic constants of bamboo. *Construction and Building Materials Vol. 31*, 52-57.

Gonzáles, H., Montoya, J., & Bedoya, J. (2007). Resultado del ensayo a Flexión en muestras de bambú de la especie *Guadua Angustifolia Kunth*. *Scientia et Technica Año XIII, No 35*, 503-508.

Gonzáles, M. G. (2011). *Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Gutiérrez-González, M., & Takeuchi-Tam, C. P. (2014). Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua Angustifolia Kunth*. *Scientia et Technica Año XIX, Vol. 19, No. 3*, 245-250.

Hidalgo, O. (1974). *Bambú: Su cultivo y aplicación*. Bogotá, Colombia: ITALGRF.

Hidalgo, O. (1981). *Manual de Construcción con Bambú*. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos, Ltda.

Hidalgo, O. (2003). *Bamboo the Gift of the Gods*. Bogotá: Propio Autor.

- Hites, M. (22 de Octubre de 2016). *MPavilion 2016 / Bijoy Jain of Studio Mumbai*. Recuperado el 23 de Mayo de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/797942/mpavilion-2016-bijoy-jain-of-studio-mumbai>
- Hunnarshala. (Marzo de 2014). *Bamboo Construction Source Book*. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de Hunnarshala Foundation: <http://www.hunnarshala.org/manuals-and-resources.html>
- IBUKU. (2010). *About us*. Recuperado el 30 de Agosto de 2019, de IBUKU: <https://ibuku.com/about/>
- IDAC. (17 de Enero de 2018). *El Bambú Negro* . Obtenido de Blog Idac: <https://yosoyidac.blogspot.com/2018/01/el-bambu-negro.html>
- INBAR. (1997). *Acerca de INBAR*. Recuperado el 04 de Marzo de 2019, de Sitio web de INBAR: <https://www.inbar.int/es/about-inbar/>
- ISO22157, N. I. (18 de Enero de 2019). *Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods*. Obtenido de Online Browsing Platform (OBP): <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22157:ed-1:v1:en>
- Janssen, J. J. (1981). *Bamboo in building structures*. Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven DOI:.
- Janssen, J. J. (1988). *Building with Bamboo: A Handbook*. Londres: Intermediate Technology Publications.
- Jaramillo, J. O. (2004). *Análisis Clásico de Estructuras*. Bogotá, Colombia: Unilibros.

- Javadian, A., Smith, I. F., Saeidi, N., & Hebel, D. E. (13 de Febrero de 2019). *Mechanical Properties of Bamboo Through Measurement of Culm Physical Properties for Composite Fabrication of Structural Concrete Reinforcement*. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de *Frontiers in Materials*: <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00015>
- Jiménez, E., & Montoya, J. A. (2006). Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación automática y experimental de la *Guadua Angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica Año XII, No 30*, 415-419.
- Kaminski, S., Lawrence, A., & Trujillo, D. (Agosto de 2016). Structural use of bamboo: Technical note series in *The Structural Engineer*. *Structural Engineer 94*, 42-45. Obtenido de Researchgate: <https://www.researchgate.net/project/Structural-use-of-bamboo-Technical-note-series-in-The-Structural-Engineer>
- Krawczuk, K. (2013). *Bamboo as a sustainable material for future building industry*. Copenhagen : Copenhagen University of Technology in Constructing Architecture.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H., & Wu, J. (2007). *Publicatios: World Bamboo Resources*. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de The Food and Agriculture Organization: <http://www.fao.org/3/a-a1243e.pdf>
- Londoño, X. (2005). Recuso sostenible de incalculable valor. En M. Villegas, *Guadua: Arquitectura y Diseño* (pág. 22). Bogotá, Colombia: Villegas Editores.
- Longhi, M. M. (1998). *Cultivo y uso del Bambú en el Neotropico*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Lopez, J. G., Rivera, A. J., & Urbina, M. J. (2009). *Capacidad resistente del bambú Guadua Amplexifolia, para propósitos constructivos*. Managua: Repositorio Institucional Riuma.

- Losada, J. H. (1993). *Vigencia del bambú como hecho constructivo*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) .
- Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F., & Lozano, J. (2011). Metodología de diseño de estructuras en *Guadua angustifolia* como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. *Revista educación en ingeniería Vol. 6 Num. 11*, 66-75.
- Mairs, J. (21 de Agosto de 2017). *Dezeen*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019, de Arched bamboo trusses left exposed in Chiang Mai sports hall to create a "feast to the eye": <https://www.dezeen.com/2017/08/21/chiangmai-life-architects-construction-sports-hall-panyaden-international-school-thailand-arching-bamboo-trusses/>
- Mandu'a. (2015). La arquitectura debe ser un poco más vegetariana . *Mandu'a*, 27-33 Edición 389.
- Manjunath, N. (1991). *Who we are*. Recuperado el 28 de Agosto de 2019, de Manasaram Architects: <http://www.manasaramarchitects.com/whoWeAre.php>
- Martillo, J. (2016). Jorge Morán: El arquitecto de la caña. *La Revista - El Universo*.
- Menéndes, J. M. (7 de Marzo de 2012). *Bambú, alternativa sostenible para construcciones del sector agropecuario cubano*. Obtenido de EcoHabitar: <http://www.ecohabitar.org/el-bambu-alternativa-sostenible-para-construcciones-del-sector-agropecuario-cubano/>
- MIDUVI, M. d. (2016). *Estructuras de Guadúa*. Quito: Sin Editorial.
- Minke, G. (2012). *Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel: Birkhauser Architecture.

- Montoya, J. A. (2008). *Preservación de la Guadua*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira.
- Montoya, J., & Orozco, C. (2005). Secado Solar y Convencional de la Guadua Angustifolia. *Scientia et Technica Año XI, No 27*, 133-138.
- Morán, J. (2015a). *Construir con Bambú*. Lima, Peru: Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR.
- Morán, J. (2015b). *Preservación del bambú en América Latina*. Guayaquil: INBAR.
- Moribe, P. (10 de Julio de 2018). *Arles: pavilhão de bambu traz fotos que convidam à contemplação*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019, de RFI As Vozes do mundo: <http://br.rfi.fr/franca/20180710-arles-pavilhao-de-bambu-com-fotos-de-monge-budista-frances-convida-contemplacao>
- Nurdiah, E. A. (2016). The Potential of Bamboo as Building Material in Organic Shaped Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences Vol 216*, 30-38.
- Ordóñez, V. R., Mejía, M. T., & Bárcenas, G. M. (2013). *Manual para la construcción sustentable con bambú*. México: Comisión Nacional Forestal.
- Pastorelli, G. (31 de Octubre de 2008). *Refugios temporales de bambú / Ming Tang*. Recuperado el 21 de Febrero de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-11607/refugios-temporales-de-bambu-ming-tang>
- Recht, C., & Wetterwald, M. F. (1992). *Bamboos*. Londres: Timber Press.
- Rivera, Y. (01 de Mayo de 2018). *Bahareque, una técnica constructiva sismoresistente en Colombia*. Recuperado el 25 de Abril de 2019, de Plataforma Arquitectura:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/892994/bahareque-una-tecnica-constructiva-sismoresistente-en-colombia>

Santibañez, D. (08 de Octubre de 2018). *La Ceiba / Lucila Aguilar Arquitectos*. Recuperado el 08 de Septiembre de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903308/la-ceiba-lucila-aguilar-arquitectos>

Sharma, B., Harries, K. A., & Ghavami, K. (2012). Methods of determining transverse mechanical properties of full-culm bamboo. *Construction and Building Materials Vol 38*, 627-637.

Souza, E. (12 de Diciembre de 2017). *Si tuviéramos que crear el material de construcción ideal, se parecería al Bambú*. Recuperado el 07 de Febrero de 2019, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/885341/si-tuvieramos-que-crear-el-material-de-construccion-ideal-se-pareceria-al-bambu>

Stamm, J. (2001). Bamboo bridges as an alternative to rainforest destruction. *INBAR International Workshop on the Role of Bamboo in Disaster Avoidance* (pág. 9). Guayaquil, Ecuador: ICE Publishing.

Takeuchi, C. P., & González, C. E. (2007). *Resistencia a la Compresión Paralela a la fibra de la Guadua Angustifolia y determinacion del modulo de elasticidad*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia pg: 89-103.

Tiempo, R. E. (07 de Septiembre de 1999). Hannover 2000 Conocerá el Acero Vegetal. *El Tiempo*.

Tito Morales Pinzón, L. F. (2012). Contenido de humedad en guadua rolliza preservada y secada en invernadero. *Recursos Naturales y Ambiente/no. 65-66*, 45-50.

- Torres, E. (2017). *Bambú una Cultura y una Evolución, Cuatro conceptos - Tres Arquitecturas*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Trujillo, D. (2007). Bamboo Structures in Colombia. *The Structural Engineer* 85 Vol.6, 25-30.
- Valencia, N. (26 de Abril de 2017). *Conoce los proyectos de la primera Bienal Internacional de Arquitectura en Bambú*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/869992/conoce-los-proyectos-de-la-primera-bienal-internacional-de-arquitectura-en-bambu>
- Vantomme, P., Braulin, N., Chioetto, V., & Liese, W. (2003). Public constructions made with bamboo: lessons learnt. *J. Bamboo and Rattan, Vol. 2, No. 4*, 369-380.
- Vélez, S. (2015). *Acerca de Nosotros*. Recuperado el 06 de Abril de 2019, de GigaGrass: <http://www.gigagrass.com/info.html>
- Vivas, F. (2011). *Las Casas Más Sencillas*. Guarenas, Venezuela.: Fundación Imprenta de la Cultura.