

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Uso y Rentabilidad del Bambú como Material Estructural de
Construcción**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

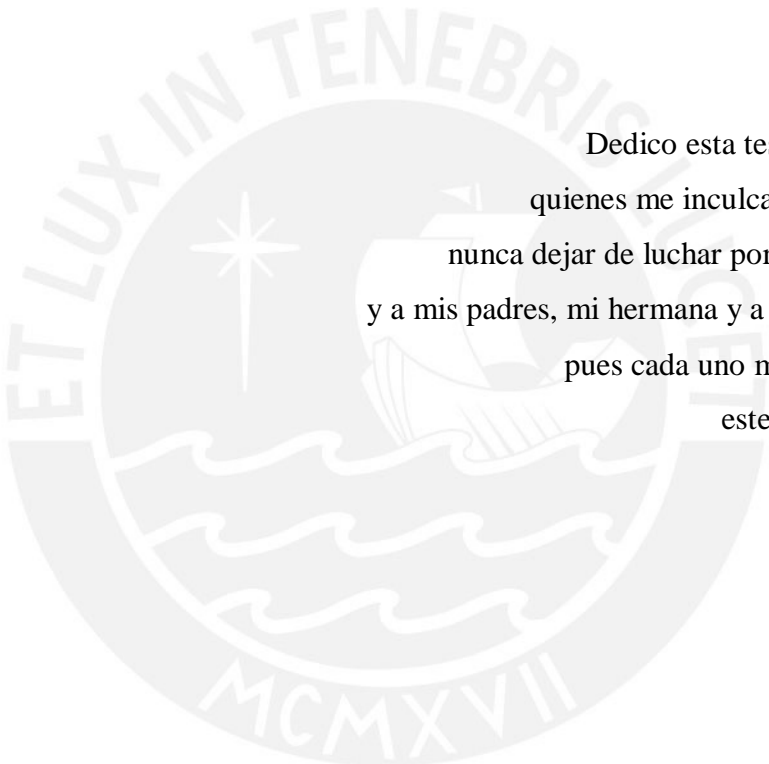
DIEGO ALONSO JUÁREZ GONZÁLEZ

ASESOR: ING. JUAN FRANCISCO GINOCCHIO CELI

Lima, noviembre 2019

RESUMEN

El presente documento es la síntesis de una investigación académica sobre el uso y rentabilidad del bambú como material de construcción. Esto se ha llevado a cabo por la búsqueda de materiales alternativos para la industria de la construcción que otorguen reducción de costos, menor impacto al medio ambiente y una mejor accesibilidad en comparación a los materiales tradicionales. La tesis busca demostrar una mayor rentabilidad del bambú para la construcción de una vivienda básica en nuestro país, tomando en cuenta los datos teóricos de diversas fuentes, estudios y referencias bibliográficas, tanto de América Latina como a nivel mundial, así como la consulta a profesionales expertos del medio local. Una vez hecha una síntesis y análisis de las características del bambú como material de construcción, con evidencias reales, y realizado un reporte de las pautas a tomar en cuenta para emplearlo adecuadamente se realizó un diseño estructural y su respectivo metrado y presupuesto. Este cálculo finalmente otorgó resultados que dan validez a la hipótesis, el bambú resulta ser un material mucho más rentable si se emplea para la construcción de una vivienda simple, en comparación a una vivienda de características similares hecha de materiales tradicionales, como el acero, el concreto y los ladrillos de arcilla.



Dedico esta tesis a mis abuelos,
quienes me inculcaron el espíritu de
nunca dejar de luchar por nuestros sueños,
y a mis padres, mi hermana y a mi esposa Laura,
pues cada uno me apoyó en sacar
este trabajo adelante.

ÍNDICE

	Pág.
1. Marco Preliminar.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Identificación del problema y sus características.....	3
Enfoque social y económico.....	3
Enfoque de las condiciones de la localidad.....	3
Enfoque ambiental.....	4
1.3. Objetivos del proyecto.....	6
Objetivos generales.....	6
Objetivos específicos.....	6
2. Marco Metodológico.....	7
3. Marco Teórico: Tecnología Básica del Material y en el Campo de la Construcción...9	
3.1. Aspectos generales del bambú.....	9
Distribución.....	9
Características principales.....	10
Efectos positivos en el medio ambiente.....	11
3.2. Propagación y extracción.....	13
Sembrío y desarrollo.....	13
Pre-corte.....	13
Corte y extracción.....	14
3.3. El bambú en el Perú.....	18
Especies más notorias en el Perú.....	18
Principales usos en el Perú.....	19
Ventajas del uso general del bambú en el Perú.....	19
Desventajas del uso general del bambú en el Perú.....	20

3.4. El bambú en el campo de la construcción.....	21
Propiedades mecánicas.....	22
Contracción durante el secado.....	23
Ventajas y desventajas.....	23
Casos notables de la aplicación del bambú en la ingeniería civil.....	24
3.5. Curado y secado.....	29
Curado en la mata.....	29
Inmersión en agua.....	30
Curado al calor.....	30
Curado al humo.....	30
Datos complementarios.....	31
3.5. Tratamientos especiales.....	33
Método del encalado.....	34
Método por inmersión en tanque.....	34
Método Boucherie.....	35
Tratamientos de retardo contra el fuego.....	36
3.6. Consideraciones para la estructura general.....	37
Consideraciones generales.....	37
Ambiente de trabajo.....	37
Trabajos preliminares, trazado y cimentaciones.....	38
Consideraciones para columnas.....	39
Consideraciones para vigas.....	42
Consideraciones para muros.....	45
Consideraciones para techos.....	48
Impermeabilización.....	50
3.7. Consideraciones para uniones y amarres.....	52
Generalidades.....	52
Piezas para mejorar la adherencia entre elementos.....	52
3.8. Mantenimiento	59

4. Diseño de dos viviendas: de bambú y de albañilería.....	61
4.1. Aspectos preliminares.....	63
Concepto general de las viviendas.....	63
Ambiente y lugar de trabajo.....	64
4.2. Diseño de las viviendas.....	65
Ejemplo base: Casa de bambú del Parque Ecológico de Surco.....	65
Predimensionamiento.....	65
Materiales a emplear.....	66
Diseño de las cimentaciones.....	68
Diseño de la estructura principal.....	69
Aspecto arquitectónico y de instalaciones.....	73
5. Metrado y presupuesto de las viviendas.....	75
5.1 Metrado de las partidas.....	75
5.2. Costos y presupuestos	79
6. Análisis de rentabilidad.....	84
7. Conclusiones.....	87
7.1 Análisis técnico económico.....	87
7.2. Conclusiones adicionales.....	88
8. Referencias bibliográficas.....	89
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de distribución mundial del bambú.....	9
Figura 2. Esquema de las partes de una planta de bambú.....	10
Figura 3. Esquema de las partes de una caña de bambú.....	10
Figura 4. Esquema del punto de corte correcto.....	15
Figura 5. Distribución incorrecta y correcta de los tallos a cortar en una misma cepa durante una fecha específica del año.....	16
Figura 6. La “Green School” en Indonesia.....	25
Figura 7. Ejecución de los trabajos de construcción de las viviendas de bambú en Piura.....	26
Figura 8. Esquema del proceso de acondicionamiento del bambú para ser usado como material de construcción estructural basado en el análisis de la bibliografía consultada.....	28
Figura 9. Ejemplo de almacenamiento horizontal de cañas.....	32
Figura 10. Sobrecimiento de 20 cm de concreto en casa de bambú.....	39
Figura 11. Columna de bambú compuesta asentada sobre una base de acero.....	40
Figura 12. Columnas de bambú para el prototipo de un vivero en Granada, España.....	40
Figura 13. Kit de varillas roscadas, con tuercas y arandelas.....	41
Figura 14. Esquema de armado de columna compuesta por dos cañas, a la que se une una tercera caña para arriostrar una viga.....	41
Figura 15. Columna y vigas de bambú unidas por medio de varillas enroscadas, tuercas y arandelas en la construcción de una vivienda en Valencia.....	42
Figura 16. Vigas compuestas de bambú en la estructura de un garaje.....	43
Figura 17. El uso de elementos compuestos por varias cañas también se presenta en arriostres, como por ejemplo en este auditorio.....	43

Figura 18. Viga compuesta por cañas sometidas a flexión previa.....	44
Figura 19. Viga compuesta por cañas sometidas a flexión previa (2)	44
Figura 20. Cercha central que sostiene el techo de un garaje.....	45
Figura 21. Proceso constructivo de paredes Bahareque.....	46
Figura 22. Distintos tipos de muros y paneles no portantes, fabricados con bambú.....	47
Figura 23. Columna de concreto en la que se asientan diversos elementos de bambú para sostener el techo de un auditorio.....	48
Figura 24. Techo de bambú machihembrado en una vivienda en Guatemala.....	49
Figura 25. Cubierta de calamina de policarbonato en un garaje.....	50
Figura 26. Techo de un auditorio abierto en el distrito de Santiago de Surco.....	50
Figura 27. Diversos conectores metálicos desarrollados por Marcelo Villegas y una unión empleando dichos conectores.....	53
Figura 28. Conectores de caucho diseñados por Adán Piza, y un nudo empleando dicho conector.....	53
Figura 29. Conexiones clásicas realizando cortes en los extremos y amarres de alambres...54	
Figura 30. Conexiones clásicas realizando cortes en los extremos de las cañas y empleando amarres con alambres.....	55
Figura 31. Uniones con cortes en extremos de cañas y empleando anclajes metálicos y clavijas.....	56
Figura 32. Soportes de vigas compuestas.....	57
Figura 33. Empalmes axiales.....	58
Figura 34. Casa de Bambú en el Parque Ecológico de Santiago de Surco.....	62
Figura 35. Esquema básico del plano de la vivienda proyectada.....	63
Figura 36. Esquema de la vivienda propuesto en programa de dibujo.....	66

Figura 37. Esquema de armado y anclaje de las cañas que servirán de columnas.....	70
Figura 38. Sistema de uniones de las vigas con las columnas en la Casa de Bambú del Parque Ecológico de Surco.....	71
Figura 39. Plano de la vivienda B a nivel de mitad de muros.....	72
Figura 40. Plano de la vivienda B a nivel de techos.....	72
Figura 41. Tubo de PVC corrugado de ½” que se puede emplear adosado a los muros y servir de canal para las instalaciones eléctricas.....	73
Figura 42. Instalación de puntos de iluminación en el cielorraso de una vivienda, adosados al techo de drywall y a las cañas de las vigas.....	74



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Experimentos realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Bogotá. Cañas de guadua, especie que también se emplea en el Perú.....	22
Tabla 2. Experimentos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP para trabajo de tesis.....	22
Tabla 3. Ventajas y desventajas del bambú como material estructural de construcción.....	23
Tabla 4. Periodicidad del mantenimiento del bambú dependiendo del tipo de elemento.....	59
Tabla 5. Soluciones recomendadas para distintos casos observados en la estructura del bambú.....	59
Tabla 6. Metrado de instalaciones sanitarias.....	76
Tabla 7. Metrado de las partidas básicas de instalaciones eléctricas.....	77
Tabla 8. Metrado de partidas de instalaciones eléctricas más especializadas.....	78
Tabla 9. Análisis de precios unitarios (APUs) para subcontratos de puertas.....	80
Tabla 10. Muestra de los análisis de precios unitarios desarrollados para partidas de estructura de bambú: columnas de pie y muros.....	81
Tabla 11. Análisis de precios unitarios para entubado empotrado y entubado adosado.....	83
Tabla 12. Comparación de ahorro entre la vivienda A y vivienda B.....	85

1. Marco Preliminar

1.1. Introducción

Actualmente vivimos en un mundo donde prevalece el uso del plástico, el acero y el concreto, los cuales son el producto de suplir una de las mayores necesidades del ser humano en el mundo, la de tener una vivienda. Sin embargo, este fuerte problema social no ha podido solucionarse en el mundo ni en nuestro país, debido a diferentes factores. Entre ellos, la falta de organización debido al crecimiento descontrolado de la población y sus constantes migraciones en busca de mejor futuro, pero que muchas veces contribuyen a aumentar aún más esta problemática. Se pueden citar también otras causas clave, que inclusive se interrelacionan entre ellas, como son la falta de recursos económicos, y a ésta se suman los problemas ambientales, como la contaminación y la sobreexplotación de recursos. A su vez, estamos en constante peligro por uno de los mayores fenómenos naturales, los sismos, los cuales siempre han dejado como consecuencia la destrucción de viviendas y familias damnificadas.

Frente a estos problemas sociales, económicos y ambientales, es necesario proponer nuevos sistemas de construcción, que garanticen principios de sostenibilidad y seguridad. Tenemos diversas opciones en este campo, fruto de diversas investigaciones alrededor del mundo, las cuales nos sorprenden cada día en cuanto a sus cualidades extraordinarias, como son por ejemplo la fibra de vidrio o de carbono, o los nuevos tipos de resinas. No obstante, muchos de estos nuevos procesos y materiales no se encuentran al alcance de la mayoría de personas, y más aún si nos referimos a nuestro medio, o aún se encuentran en una fase temprana de desarrollo y todavía no se conocen lo suficiente sus propiedades y aplicaciones por completo.

Es por ello, que se propone la aplicación de una de las tecnologías que más se han empleado desde tiempos remotos, y que ha comenzado a revitalizarse aumentando aún más su contribución en los últimos años. En este caso nos referimos al bambú como material estructural de construcción.

El bambú se ha ido reconociendo cada vez más en diferentes partes del mundo (principalmente en Europa, el sudeste asiático y América Latina) debido a sus cualidades

excepcionales en diferentes campos de aplicación. Uno de estos ha sido en la construcción, la cual en nuestros días tiene entre sus objetivos la búsqueda de nuevos materiales renovables, llegando a ser una de las respuestas más sobresalientes. (Bejarano, 2002). A pesar de ello, su empleo para construir viviendas y otras estructuras ha implicado ciertos problemas en cuanto a sus propiedades mecánicas y su preservación, por lo que ha sido objeto de estudio e investigación por diferentes especialistas para buscar superar estas adversidades. Hoy en día se han obtenido resultados gratificantes en su aplicación con nuevas tecnologías alrededor del mundo, incluyendo en muchos sectores de América Latina.

Sin embargo, en el Perú, a pesar de ya ser empleado en diferentes oportunidades desde hace décadas, y aunque se tienen diferentes grupos profesionales dedicados a su investigación y divulgación de su uso, como es el caso del Instituto de Vivienda, Urbanismo y Construcción de la USMP, y la Sociedad Peruana del Bambú, su manejo aún se encuentra a un nivel básico, pero con un trayecto constante.

Bajo estos antecedentes es necesario tomar consciencia de que para solucionar el fuerte problema de la falta de vivienda no solo debemos ejercer nuestra responsabilidad como ingenieros, sino buscar que la sociedad en general realice un cambio profundo en todos sus aspectos, pues resulta inaceptable que sigan existiendo dos realidades paralelas: la de la riqueza que sigue en aumento, con grandes y costosos avances tecnológicos; y por otro lado, la de la necesidad que sigue sin suplirse, y la cual requiere de una mayor sensibilidad y consideración humana.

Todos esperaríamos una solución rápida, pero si nos enfocamos en la utilización del bambú como material para contribuir en la construcción de viviendas sostenibles, seguras y económicas, tenemos muchas restricciones, pues su uso apenas está normado y sigue en etapa de investigación. No obstante, aún bajo estas condiciones, se buscará obtener un análisis de la rentabilidad que puede tener el bambú frente a otros materiales tradicionales en el Perú, basándonos en la tecnología del material que se ha trabajado hasta la fecha en nuestro país, desde su fase de extracción hasta su empleo durante la Obra, de modo que se logre comprobar las oportunidades y ventajas que puede brindar este material para la construcción, sin desconsiderar los aspectos de seguridad y sostenibilidad ambiental.

1.2. Identificación del Problema y sus Características

Enfoque social y económico.

Si definimos la pobreza como una condición de dificultad para acceder a una canasta básica de bienes y servicios básicos con los cuales vivir en condiciones adecuadas en términos predeterminados, se puede decir que es un estado en el que se encuentra gran parte de la población peruana aún hoy en día.

Según las estimaciones efectuadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el nivel de pobreza al 2017 ocupa el 21.7% de toda la población, es decir, alrededor de 6,9 millones de habitantes. Según el Banco Mundial, algunos de los factores que más se vinculan a la pobreza son la falta de acceso a la educación, las planificaciones y composiciones familiares, el nivel del interés empresarial, y, sobre todo, el acceso a una infraestructura adecuada y servicios básicos. (*Diario Gestión, 2013*) (INEI, 2018).

Se sabe que cuanto mayor es el número de servicios a los que se accede en un hogar se logra contrarrestar mejor la pobreza, y que, por el contrario, el no tenerlos genera un círculo vicioso que tiene efectos graves en la calidad y nivel de vida con el paso del tiempo, y disminuye las posibilidades de salir de la pobreza.

A pesar de que el actual gobierno peruano incorpora y lleva a cabo varias políticas para impulsar programas sociales para aliviar la pobreza en el sector vivienda, todavía no es posible beneficiar a las decenas de miles de personas que aún viven en difíciles condiciones.

Enfoque de las condiciones de la localidad.

Junto a ello, también tenemos una realidad que no puede evitarse. Lamentablemente, el país se encuentra en una zona altamente sísmica. Tan solo hace 11 años, en el 2007, el terremoto de Pisco dejó una alarmante cifra de 54 855 damnificados, así como 8734 viviendas destruidas y 4511 viviendas afectadas, según informe de la Municipalidad Provincial de Pisco en un folleto sobre la reconstrucción del sismo en el 2007.

Pese a la ayuda internacional, el apoyo de los diferentes organismos y la intervención del estado peruano, la ayuda no ha sido completamente efectiva y no ha llegado a beneficiar a miles de damnificados. A un año del terremoto muchos pobladores seguían alojados en “viviendas” improvisadas, las cuales no tenían una calidad y provisiones adecuadas, las cuales no garantizaban seguridad o higienización, poniendo en riesgo la salud y la vida de estas personas. Construir viviendas con material noble tiene el fuerte inconveniente de tomar mucho tiempo para casos de emergencia como estos, así como una fuerte inversión por cada una.

Frente a este escenario que puede repetirse en cualquier punto de la costa peruana, se requiere desarrollar técnicas que ayuden a mitigar o reducir los efectos de los sismos en las viviendas, así como una solución viable y rápida en caso que una vivienda ya existente se vea severamente afectada.

Enfoque ambiental.

Dentro del campo de la ingeniería civil se produce uno de los mayores impactos ambientales de entre la mayoría de distintas disciplinas, tanto de manera directa como indirecta, generándose distintos problemas en las distintas etapas de la construcción, desde la concepción y diseño, pasando por la ejecución de la obra, así como también la extracción de materia prima y la producción de los materiales de construcción, sin olvidarnos de los servicios de abastecimiento y transporte.

El mismo proceso de urbanización es el mayor ejemplo del impacto del hombre sobre la naturaleza. Si consideramos impacto ambiental como cualquier repercusión en el medio ambiente que genera algún cambio notable de sus componentes, afectando su ciclo natural o degradándolo, entonces muchas de las etapas de la construcción vienen produciendo distintos problemas al medio ambiente.

La ejecución de la obra genera mayor impacto que otras fases de un proyecto: se genera una cantidad excesiva de desechos, como restos de fierro, concreto, plásticos, entre otros materiales inorgánicos. Recordemos que muchos de los materiales de construcción vienen envasados y dichos descartables una vez que se usa el material también formarán parte del material a eliminar. De la misma manera, la extracción de la materia prima y la producción de estos materiales tradicionales consumen una gran cantidad de energía, no solo por los equipos de extracción y procesamiento, sino también el transporte de los materiales.

Se genera contaminación del aire por polvo, ruido, emisión de gases, sobre todo si hablamos de la producción de cemento. Es necesario buscar disminuir los efectos del impacto ambiental de la construcción civil, siendo una opción posible el bambú pues su manejo, desde su extracción hasta la eliminación del material excedente no generaría un impacto tan grande como otros materiales tradicionales como el cemento, los ladrillos de arcilla y el acero.

Ante estas situaciones que convergen en un único contexto se propone al bambú como material de construcción alternativo para estructuras de viviendas, aprovechando sus ventajas y cualidades más significativas para este caso, como serían su bajo costo, su adaptación, manejo, propiedades estructurales, cualidades de uso constructivo sostenible, e indicando las más importantes recomendaciones para aprovechar sus características al mayor nivel posible.



1.3. Objetivos del Proyecto

Objetivos generales.

- Investigar sobre los usos del bambú para la construcción de pórticos y estructuras de viviendas de uno o dos pisos, así como algunas estructuras especiales; y cuáles especies en nuestro país serían las más accesibles y resistentes para este tipo de construcciones.
- Investigar las principales propiedades mecánicas del bambú, así como sus métodos de extracción, tratamientos y otros manejos para adecuarlo al campo de la construcción civil.
- Analizar qué tan rentable o viable es el uso del bambú en sus variedades de especies peruanas más adecuadas para la construcción en zonas específicas del Perú. Para ello se realizará el diseño, metrado y cotización de una vivienda simple.

Objetivos específicos.

- Proponer algunas pautas para hacer del bambú un material alternativo de construcción estructural, basándose en sus propiedades mecánicas y su economía.
- Buscar despejar el prejuicio que se tiene sobre el bambú de considerarlo un material poco útil, de uso marginal y/o de uso exclusivo para los sectores bajos.
- Demostrar que una construcción simple con bambú puede resultar más beneficiosa y accesible para la construcción de una vivienda simple frente a una vivienda empleando materiales tradicionales del Perú.

2. Marco Metodológico

Este presente trabajo se sustentará en primer lugar por el trabajo teórico, es decir, mediante consulta y documentación de fuentes bibliográficas, como libros, manuales, artículos de investigación y reportes, además se buscarán medios audiovisuales y recursos electrónicos que sirvan como apoyo o referencia a las consultas que vayan a realizarse. Otro aspecto por el que se sustentará este trabajo será mediante un trabajo directo con profesionales y expertos en diferentes campos, que complementen los conocimientos de las referencias bibliográficas con sugerencias y datos adicionales producto de la experiencia. Esto consistirá en recopilación de información por medio de cursos o exposiciones locales. Finalmente, para corroborar la rentabilidad del bambú como material estructural de construcción se realizará un diseño básico de una vivienda, y se compararán los costos y presupuestos entre un modelo diseñado íntegramente de bambú con uno similar de materiales tradicionales.

En cuanto al desarrollo de la tesis, el marco teórico se hará mediante **análisis y deducción**, es decir, luego de realizar la respectiva lectura y revisión de la información en las fuentes, se realizará un análisis y síntesis de la misma, para llegar a la sistematización deseada.

Este método de **análisis y deducción** comienza con la recolección de datos del bambú en sus aspectos más importantes en base a los objetivos, que incluyen principalmente, sus características principales como material de construcción, su situación en el mundo y en el Perú, con evidencias concretas en construcciones típicas y en infraestructura. También se incluyen todas las pautas que deben seguirse para acondicionar correctamente el bambú para usarlo como material de construcción estructural.

Para el apartado de diseño y análisis de rentabilidad se realizará un **diseño estructural** básico tomando como punto de partida las solicitudes y requerimientos mínimos que especifican las normas técnicas vigentes, las mismas en las que se basa cualquier diseño profesional de obras civiles.

Después se realizará el **cálculo del metrado y presupuesto**. Dependiendo de las partidas que se vayan a emplear se calcularán el monto por análisis de precios unitarios o a

todo costo. El análisis de rentabilidad se efectuará mediante la comparación de los presupuestos de ambas viviendas.

Para concluir la investigación se expondrán las conclusiones finales de su uso y rentabilidad como material de construcción estructural en el entorno local, señalando además sus recomendaciones pertinentes y características a tener en cuenta en los aspectos económico y ambiental, que busquen darle un mayor sustento a su uso en el campo de la ingeniería civil en el Perú.



3. Marco Teórico: Tecnología Básica del Material y en el Campo de la Construcción

3.1. Aspectos Generales del Bambú

El bambú no es un árbol como usualmente se piensa, sino que se trata de una planta de consistencia sólida y dura de la familia de las gramíneas, una de las más extensas del planeta. A diferencia de otras plantas, el bambú surge de la tierra con su diámetro definitivo, y crece mucho más rápido que otros grupos botánicos, llegando a su altura máxima entre 30 y 180 días.

Una de las características más resaltantes del bambú, para fines de esta investigación, es su alta resistencia, la cual se da por su alto contenido de fibra, lo que le provee de capacidades altas de tracción, flexión y deformación. Pero a pesar de ello, siempre se han presentado ciertos inconvenientes, como su vulnerabilidad a ciertos agentes como insectos xilófagos y hongos, su esperanza de vida y en cierta parte, las consecuencias de su uso incorrecto.

Distribución.

Como se indica en la figura 3.1 se le puede encontrar en todos los continentes a excepción de Europa y las zonas polares. Primordialmente se ubican en los trópicos, y la mayoría en regiones cálidas y tropicales, aunque se pueden encontrar creciendo hasta los 1700 m sobre el nivel del mar aproximadamente, inclusive existen algunas especies que tienen su límite hasta el inicio de las nieves.

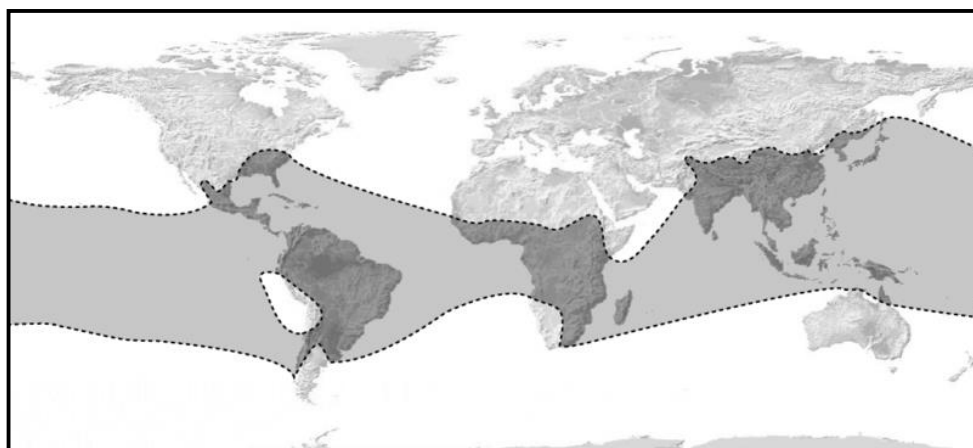


Fig. 1. Mapa de distribución mundial del bambú. Fuente: Radcyberzine (2005).

En América existen cerca de 290 especies, de las 1250 en el mundo. En Sudamérica la más conocida es la guadua (*guadua angustifolia*). En el Perú se le llama “caña de Guayaquil”, y es la que presenta mayor diámetro y resistencia.

Características principales.

La estructura principal del bambú se compone del eje longitudinal que presenta el diafragma. La caña es segmentada en nudos y entrenudos, y a veces por ramificaciones. Estas partes se observan en los esquemas de las figuras 2 y 3.

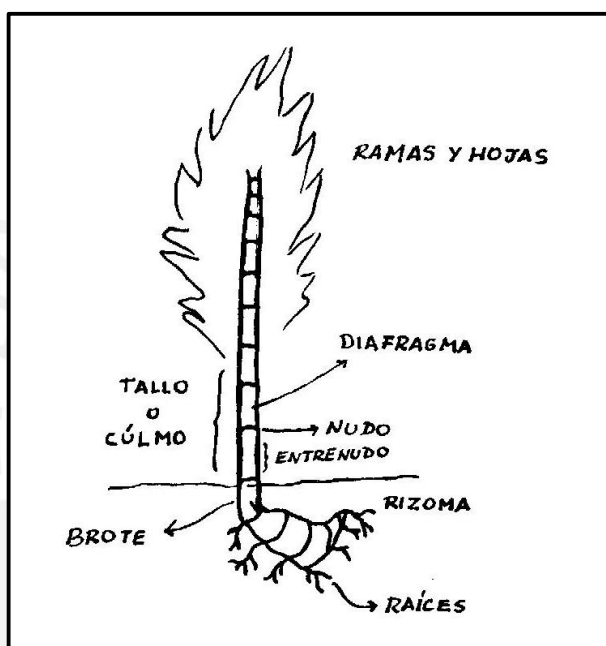


Fig. 2. Esquema de las partes de una planta de bambú.

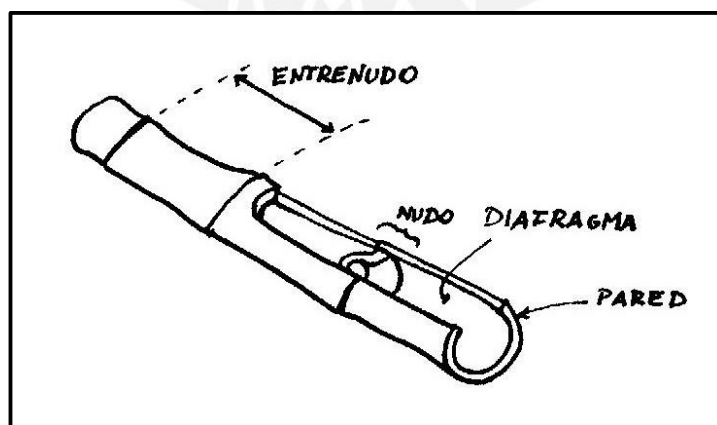


Fig. 3. Esquema de las partes de una caña de bambú.

Entre los 4 y 12 meses de vida (dependiendo de la especie), el tallo es aun blando y flexible. La dureza definitiva llega a su máxima resistencia entre los tres y seis años, desde allí, se ablandece y se seca totalmente. El tallo puede ser más fuerte y el desarrollo de la planta mucho más rápido cuanto mayor sea el número de ramas y hojas, pues ello favorece la fotosíntesis, por tanto, no se recomienda retirarlos. (Janssen, 1995) (McClure, 1956)

Para la medición del tallo en un espécimen se realiza una medición empírica, que consiste en tomar la circunferencia a 1.5 m sobre el suelo y se multiplica por 60.1. (Morales, 2003)

Efectos positivos en el medio ambiente.

Producción de biomasa.

Al ser una planta de rápido crecimiento natural, se logra producir mayor cantidad de biomasa seca por hectárea, inclusive más que el eucalipto. Según un artículo publicado en la revista *Journal of the American Bamboo Society*, a partir de un cultivo desde cero, la guadua en el valle de Cauca en Colombia, produce aproximadamente 100 toneladas por hectárea en solo seis años. (Riaño, 2002)

Otras fuentes indican mayores cantidades, como una época en la que en una plantación de guadua en el mismo país se generaron 594 toneladas por hectárea en siete años. (Cruz Ríos, 2009)

Absorción del dióxido de carbono.

La asimilación del dióxido de carbono por medio de la fotosíntesis contribuye notablemente con la disminución del impacto del cambio climático. El bambú, al ser una planta de rápido crecimiento necesita tomar mucho más dióxido de carbono que un árbol común durante sus seis primeros años de crecimiento. Una hectárea de plantación de guadua logra absorber alrededor de 150 toneladas de dióxido de carbono durante sus cinco primeros años de vida. Asimismo, al ser una planta que se regenera por sí misma, se tiene una fuente de absorción del dióxido de carbono permanente si se tiene un adecuado mantenimiento agrícola, algo que no sucede con otras especies vegetales. (Cruz Ríos, 2009) (Londoño, 2003)

Otros datos.

- Reduce la erosión del suelo: Las raíces del bambú crecen de cierta manera que forma una red densa que sujeta el suelo, lo que proporciona mayor resistencia a la erosión que se produce debido a la lluvia y a las inundaciones. (Minke, 2012)
- Retención de agua: Una hectárea de bambú guadua puede llegar a retener cerca de 30,000 litros de agua, que pueden ser aprovechados en una emergencia. (Sabogal, 1979)
- Baja de temperatura: Las hojas del bambú tienen una gran capacidad de evaporación del agua, lo que ayuda a reducir la temperatura del aire en los bosques de bambú. (Minke, 2012)



3.2. Propagación y Extracción

Para fines de síntesis, el proceso de propagación por cultivo y sembrío se mantendrá en un menor régimen por tratarse de una actividad meramente agrícola. Sin embargo, se buscará exponer algunos conocimientos que pueden considerarse de importancia para el desarrollo de una caña apta para la construcción.

Sembrío y desarrollo.

El bambú crece mayoritariamente en bambusales, ya sea por propagación a través de semillas botánicas, las cuales en el Perú suelen presentarse mayormente en la temporada entre abril y noviembre; o por métodos a partir de partes de la planta. Este último es el más usado por amplio margen debido a que las semillas en su mayoría son infértiles, y el periodo de floración suele ser más impredecible.

Las partes de la planta que pueden usarse para reproducción son los tallos, ramas, y principalmente por rizomas, que suele ser el más recomendable. Los tallos y ramificaciones que se utilicen deben extraerse durante la etapa más joven del bambú (hasta los tres años de edad aproximadamente), pues es la fase en la que más desarrollos se presentan en cuanto a su estructura.

Para fines de construcción, los rizomas que vayan a extraerse se deben remover durante la temporada de invierno ya que así la planta se encuentra en un periodo de reposo, y se busca no afectar en lo posible a la planta madre como a la nueva. (Bejarano, 2002) (Ministerio de Agricultura, 2010)

Pre-corte.

Cuando ya se vaya a realizar un proceso de corte a un grupo de plantas, se deben hacer verificaciones de los tallos para comprobar el estado en que se encuentran. Esto nos permitirá saber si el bambú ha alcanzado la madurez o si no se encuentra en condiciones de ser empleado.

- i. Crecimiento: Suele darse cuando el bambú aún demuestra un color verde fuerte con una ligera cobertura brillante y blanca. Estos indicadores muestran que el tallo aún se

encuentra en crecimiento, más si las ramas aún están empezando a desarrollarse. En estos casos el bambú aún no ha alcanzado por completo su resistencia ideal, por lo que sería conveniente esperar un poco más.

- ii. **Maduro:** Solo alcanza esta etapa cuando la planta ha dejado de crecer. Las ramas usualmente tienen abundancia de hojas, y el color que presentan es un verde más pálido.
- iii. **Sobremaduro:** Cuando el tallo presenta algunos signos de degradación menores. Pueden tener algunos líquenes y las ramas con menos hojas. Pueden usarse para elementos estructurales menores.
- iv. **Tallo enfermo o viejo:** No se debe emplear para construcción. Si la planta presenta claros ataques de insectos u hongos, así como algunos marchites o indicios de decaimiento del tallo. (Ministerio de Agricultura, 2010)

Corte y Extracción.

Debe recalarse que el bambú para construcción debe alcanzar cierto grado de madurez dependiendo el uso que vaya a tener. Se había mencionado que desde los tres años comienza la etapa en que alcanza su mayor resistencia, sin embargo, dentro de esta, existen sub-etapas que se diferencian por su uso más apropiado. Son las siguientes:

- i. Entre los dos y cuatro años: Para tableros de esterilla, que se pueden usar para muros y tabiques divisorios.
- ii. Desde los tres años: Para la estructura principal de una construcción, sin embargo, cuanto más joven es la caña, más susceptible estará al desgaste, por lo que debe tratarse con algún medio.
- iii. Desde los cuatro años: Para estructuras de una construcción, especialmente elementos verticales, pues es la etapa más favorable en cuanto al desarrollo de su resistencia. Se recomienda también para elementos que estarán expuestos a cargas vivas y sufrirán de fatiga, como por ejemplo baldosas para piso y techos. (Hidalgo, 1981) (McClure, 1956)

Para realizar un corte correctamente se sugiere emplear una sierra, especialmente si se trata de volúmenes amplios, o un machete especial que permita obtener un corte sano y limpio. No se deben cortar los tallos más gruesos de todo el bambusal (con la creencia que al

existir mayor área existirá mayor resistencia), pues esto es una indicación de nuevos brotes, y, por ende, el bambú sigue en una etapa de maduración.

Una vez definidos los tallos, deben **siempre** cortarse al ras del primer o segundo nudo, como indica la figura 4, esto con el fin de evitar la excesiva acumulación de agua y el tallo sobrante se infecte. (Bejarano, 2002) (Janssen, 1995)

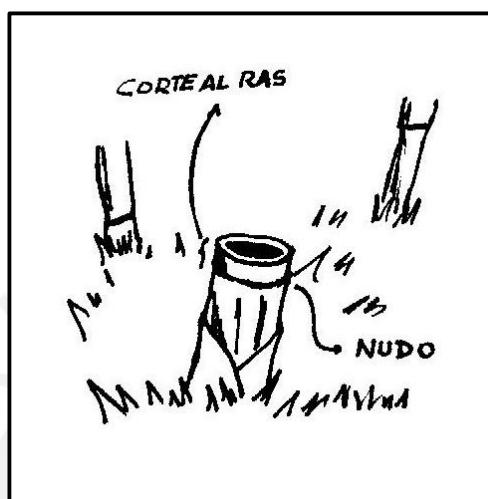


Fig. 4. Esquema del punto de corte correcto. Este debe realizarse al ras del primer o segundo nudo.

También, lo que se busca es que una misma cepa -conjunto de plantas que se sembraron en un mismo año- siga proporcionando más cañas durante muchos más años. Además, se deben cortar como máximo un tercio de una misma cepa, dejando los dos tercios restantes para otras dos fechas durante el año, como indica la figura 5. Al final del año se deben cortar los tallos plantados en un mismo año, y así sucesivamente durante los meses posteriores. Por ejemplo, los tallos sembrados durante el 2009 serán cortados en el 2012. En marzo se cortará un tercio de ellos, dejando los otros dos para julio y noviembre respectivamente. Al siguiente año, en marzo 2013, se cortarán los tallos sembrados durante el año 2010. El machete puede ser empleado con mayor eficiencia en el desrame de la troza, teniendo cuidado de no producirle cortes o rasgaduras de fibra, es por ello que se sugiere siempre cortar de la parte más gruesa hacia la parte más delgada, es decir, de la base hacia la punta. (Bejarano, 2002)

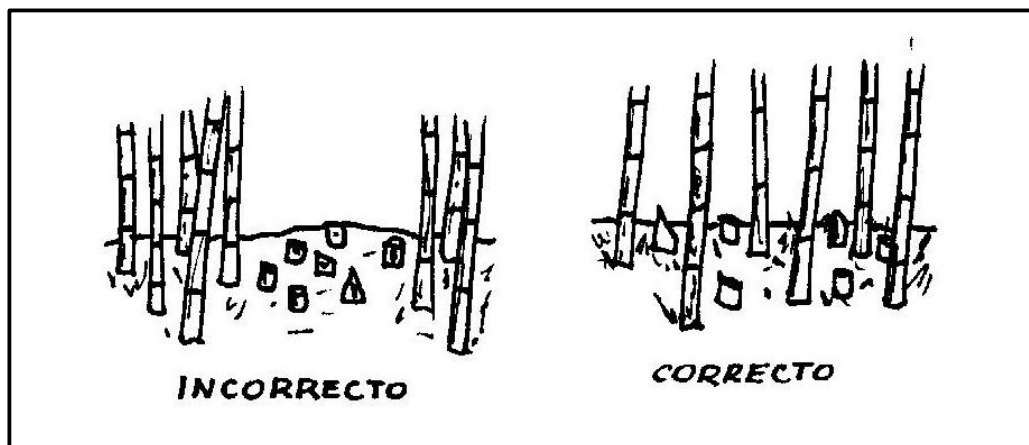


Fig. 5. Distribución incorrecta y correcta de los tallos a cortar en una misma cepa durante una fecha específica del año.

Otras recomendaciones para el corte del bambú son:

- Realizarlo durante las estaciones más secas, pues así disminuye el contenido de humedad. Esto hace los tallos más livianos y más fáciles de transportar, y menos susceptibles al ataque de insectos.
- Para cortar cada tallo se recomienda realizarlo entre dos personas. Una que sostenga el tallo y otra cortándolo, de esta manera se estabiliza la caña y se evitan daños indeseables.
- Cada corte en los tallos debe realizarse aproximadamente cada 4 m. (Bejarano, 2002)

Transporte.

Una vez que las cañas se han cortado y vayan a ser llevadas a un lugar cercano para su tratamiento y almacenamiento, se deben juntar en paquetes de aproximadamente diez piezas hasta su medio de transporte. Esto puede ser por carretilla o camión. (Stulz, 1993). No se recomienda transportar la caña hasta el punto de tratamiento si el trayecto es muy largo, pues con el tiempo el bambú una vez cortado deposita almidón en su superficie, y esto atrae muchos más insectos xilófagos. Por ello es más conveniente tratarlo a la brevedad (tener un lugar de tratamiento más cercano al bambusal), y una vez que hayan terminado su proceso de curado y almacenamiento, ya podría transportarse inclusive por medio de ferrocarril. (Bejarano, 2002) (Hidalgo, 1981)

Recomendaciones finales.

Si la caña presenta signos de ataque de insectos, hongos, pudrición, o fisuras y cortes de cualquier tipo no debe usarse bajo ninguna circunstancia. (McClure, 1956)

También, si la caña ha pasado por la fase de florecimiento posiblemente ha perdido parte importante de su resistencia, y la planta muere luego de ello. Por tanto, **no se debe emplear si se cosecha luego del florecimiento**. (Ministerio de Agricultura, 2010)

Existe la creencia en diversos lugares de que la caña solo debe cortarse durante la fase “menguante” de los ciclos de la luna para que la caña no sea atacada por los insectos. Esta creencia tiene soporte científico biológico válido, pues a pesar de que la luz solar sea menor que en el día (pues la luna refleja la luz del sol) no se tiene un período completo de oscuridad, por lo que el proceso de fotosíntesis se alarga y en las plantas se genera una mayor acumulación de hidratos de carbono, o comúnmente llamados, harinas y almidón, en el protoplasma. Esto hace que las células aumenten su tamaño, haciendo a la membrana celular más delgada y más vulnerable a los cambios físicos y químicos generados por el ataque de los insectos y hongos. Es por ello que no debe cortarse el bambú durante la fase de la luna llena, sino en fase menguante o creciente, o preferentemente, en la fase de luna nueva. Esto sugiere también que la fase de verano no es la más apropiada para la cosecha.

3.3. El Bambú en el Perú

Especies más notorias en el Perú.

Principales géneros de bambú en el Perú, indicando su procedencia y cuántas especies (entre paréntesis) se conocen, según el Ministerio de Agricultura (2010):

- *Arthrostylidium* sp (2): selva norte, Loreto, Amazonas y San Martín.
- *Aulonemia* sp (7): Sierra norte y gran parte de la Selva Alta.
- *Bambusa* sp (5): Cusco, Huánuco, Pasco y San Martín.
- *Chusquea* sp (22): distribuida por toda la sierra, selva alta e Ica.
- *Elytristachys* sp (1): una pequeña parte en Madre de Dios.
- *Gigantocloa* (1): extensamente en la sierra.
- *Guadua* sp (5): Costa norte y central, y ampliamente distribuida en la selva.
- *Merostachys* sp (1): una pequeña parte en Madre de Dios.
- *Neurolepis* sp (2): Sierra norte, Cajamarca, La Libertad y Amazonas.
- *Phyllostachys* sp (2): Selva alta de Cusco.
- *Rhipidocladum* (2): Huancavelica, Junín, Pasco.

En nuestro país, las especies más usuales (en cuanto a construcción y usos cotidianos), según el Ministerio de Agricultura (2010) son:

1. **Caña de Guayaquil. (*Guadua angustifolia*):** Esta es la especie más empleada para la construcción debido a sus características físico mecánicas sobresalientes. A su vez, la más empleada para el bambuceto (concreto reforzado con bambú). Dimensiones más comerciales: tallos de seis metros, y diámetro de aproximadamente 15 centímetros.
2. **Carrizo (*Arundo donax*):** Extendida en la costa, específicamente en lugares húmedos, cerca de ríos, arroyos, etc. Se usó principalmente en la construcción de quincha, y hoy en día se usa como refuerzo del adobe. En cuanto a las especies usadas en construcción es la más liviana (menor peso específico). Dimensiones más comerciales: tallos de máximo tres m, y diámetro de máximo 3.5 cm.
3. **Caña Brava (*Gynerium sagittatum*):** No se considera un bambú, pero presenta características muy similares. Muy ordinaria en la selva. Fue usada inicialmente en la

construcción de viviendas y balsas selváticas típicas. Dimensiones más comerciales: tallos de máximo seis m, y diámetro de máximo 4.5 cm.

Principales usos en el Perú.

Los principales usos del bambú según el Ministerio de Agricultura (2010):

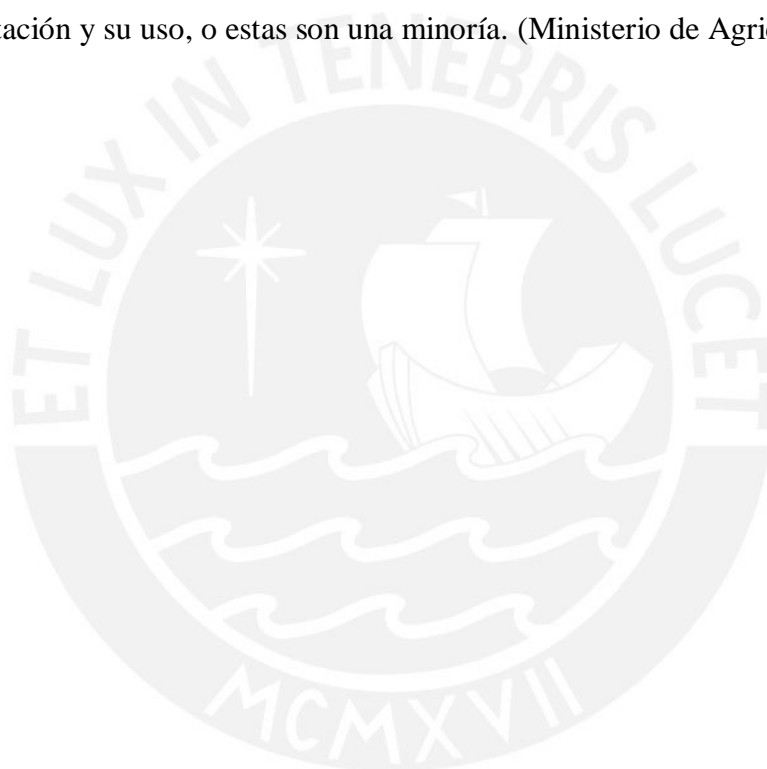
- Construcción: Se ha empleado en construcciones rústicas, viviendas de un piso, a veces empleado diferentes materiales como la quincha, consiguiendo construcciones nobles y seminobles. También se incluyen cercos perimétricos y defensas ribereñas. Las especies más usadas en este sector son la *Guadua superba* sp., *Dendrocalamus asper*, y la *Guadua angustifolia*.
- Pulpa para papel y tableros.
- Usos ambientales, como recuperación de áreas degradadas, arborizaciones urbanas y cortinas rompe viento.
- Muebles y artesanía.
- Forrajes.
- Industrias alimentarias y farmacéuticas.

Ventajas del uso del bambú en el Perú

- Existen diversos ecosistemas para el cultivo y el desarrollo del bambú en el país. Aparte que logran abarcar toda la diversidad de especies nativas y exóticas que se conocen.
- La población rural, que muchas veces desconoce de las cualidades de la planta comenzaría a conocer sus características más útiles, sus facilidades de cultivo y su gran importancia para un desarrollo económico y social.
- Se tiene la oportunidad de un mercado tanto en su ámbito local, regional y nacional, que se encuentran en constante crecimiento.
- El uso correcto del bambú, bajo una política responsable y sostenible puede contribuir a la reforestación de áreas vulnerables, y fomentar el equilibrio de los ecosistemas. (Ministerio de Agricultura, 2010)

Desventajas del uso general del bambú en el Perú.

- Existe mucho desconocimiento sobre las posibilidades del bambú en la población general, especialmente en los sectores rurales. Muchas veces se rechaza su empleo y cultivo y se llega a reemplazar los bambusales (tierras en las que se desarrolla el bambú) para otros usos, como cultivo de otras plantas.
- El bambú es material meramente orgánico, y la tecnología en nuestro medio sobre su tratamiento está apenas desarrollada. Muchas veces debe preservarse con productos hidrosolubles.
- Las instituciones públicas en la actualidad no demuestran mucho interés en promover su plantación y su uso, o estas son una minoría. (Ministerio de Agricultura, 2010)



3.4. El Bambú en el Campo de la Construcción

El bambú se ha considerado uno de los materiales más aptos para la construcción de viviendas y algunas obras de infraestructura como puentes, muros de contención y defensas ribereñas. **Es un material renovable, ecológico, de bajo costo, y muy resistente en comparación a su peso.** Se destaca principalmente por su resistencia, muy superior a la mayoría de las maderas empleadas en construcción, la cual en ocasiones puede compararse con el acero y el comportamiento de algunas fibras sintéticas. (Atauje, 1986)

En la construcción de viviendas se le ha empleado en diferentes puntos, como en postes, columnas, vigas, techos, pórticos, y hoy en día también se emplea para la colocación de paneles formados por esterilla y listones. A su vez, también existen técnicas para moldear la planta durante su desarrollo. Además, el bambú, especialmente la guadua o caña de Guayaquil para el caso de nuestro medio, provee a las estructuras de características sismorresistentes adecuadas para una zona sísmica activa como lo es la costa peruana. (Guzmán, 1989)

Su principal problema por muchos años ha sido su vulnerabilidad ante los insectos y hongos, pero las nuevas técnicas y tratamientos han dejado esta cuestión por detrás de uno que aún prevalece, y el más notorio, las uniones entre los elementos. Para evitar los ataques de insectos xilófagos y hongos, el bambú debe tratarse correctamente y pasar por un proceso de curado antes de emplearse. Esto así mismo evita la pudrición durante su conservación. Estas técnicas y el proceso de curado deben realizarse apenas sea cortado. (Jannssen, 1995) (Sotela, 1992)

Con el fin de sintetizar esta tesis, se dará enfoque en la caña de Guayaquil o guadua, así como otras especies de características similares en cuanto a propiedades físicas y mecánicas, como el carrizo y la caña brava.

Varias fuentes citan diferentes valores de resistencia a la compresión, tensión, flexión, módulo de elasticidad. Sin embargo, luego de realizado un análisis comparativo de algunos resultados, y con la información proporcionada del desarrollo de los ensayos, se deja constancia que los resultados dependen principalmente de tres factores: la especie usada para los especímenes, el estado de la caña o los tratamientos que ha recibido, y las secciones

usadas o si tenían un nudillo intermedio. A pesar de ello se puede tener una tabla de referencia para las cañas de nuestro medio, el cual no representa resultados de nuevos ensayos, pues no se incluyen en el desarrollo de esta tesis.

Propiedades mecánicas.

Tabla 1

Experimentos realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Bogotá. Cañas de guadua, especie que también se emplea en el Perú.

Tracción	Compresión	Flexión	Mód. elasticidad
1660 – 1940 (kg/cm ²)	230 – 700 (kg/cm ²)	s/d	107000 – 170000 (kg/cm ²)

Fuente: Guzmán, 1989

Tabla 2

Experimentos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP para trabajo de tesis.

Especie	Tracción sin nudo (kg/cm ²)	Tracción con nudo (kg/cm ²)	Mód. elasticidad (kg/cm ²)
Caña brava	2880	2480	421190
Caña Guayaquil o guadua	1980	1830	260030
Carrizo	1070	1130	129020

Fuente: Atauje, 1986

Contracción durante el secado.

El bambú también sufre contracciones importantes durante su secado. Según los estudios realizados por el científico forestal alemán Walter Liese en 1985, la longitud de la caña se reduce entre un 4% un 14% desde que es cortada hasta que finaliza el proceso de secado. El diámetro de la sección por su parte, disminuye entre un 3% y 12%. En el caso de la guadua, según el arquitecto colombiano Óscar Hidalgo, la longitud de la caña se reduce entre un 3% y 10%. (Minke, 2012)

Ventajas y desventajas.

A continuación, en la siguiente tabla se describen las ventajas y desventajas más notorias en cuanto al uso del bambú como material estructural de construcción, y luego se detallan algunos casos sobresalientes de su uso tanto en **obras civiles** como infraestructura, que buscan exponer y demostrar la potencialidad del material en la ingeniería civil. (Janssen, 1995) (McClure, 1956) (Minke, 2012)

Tabla 3.

Ventajas y desventajas del bambú como material estructural de construcción.

Ventajas del bambú	Desventajas del bambú
<ul style="list-style-type: none"> • Fácilmente extraíble y en cierta medida manejable sin mucha especialización. • Algunas especies ampliamente usadas, como del género de la guadua, tienen mayor resistencia y menor costo que la madera empleada en construcción. • El bambú, por la distribución y composición de la fibra, que le da mayor flexibilidad, es un material que permite un buen comportamiento sísmico. A su vez, al tratarse de un material relativamente ligero, en caso de colapso 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja durabilidad. Aunque con ciertos tratamientos puede extenderse. Sin tratamiento no suele durar mucho. Con técnicas simples y estándar dura alrededor de 15 años. Con técnicas y mejores tratamientos puede extenderse hasta 60 en teoría. Se saben de estructuras que han llegado a los 100 años. • Material altamente inflamable, por lo que debe emplearse un retardante en caso que se desee

<p>no genera mayores daños, y puede reconstruirse de manera rápida</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiene la posibilidad de combinarse con otros materiales de construcción tales como el cemento, el acero, la arcilla, y otros tipos de madera, dependiendo de su eficiencia, disponibilidad y costo. • Puede emplearse en diferentes puntos de una estructura, desde las columnas, vigas, techos, hasta como refuerzo del concreto, tableros de esterilla y listones. • El bambú crece mucho más rápido que la mayoría de las plantas, lo que representa un buen material a mediano plazo. • Sin mucho esfuerzo y mediante adición de ciertos trabajos, las viviendas de bambú pueden resistir la acción de los huracanes y los efectos de la lluvia. • Luego de su empleo no generan mayores desperdicios, debido a que no se necesita eliminar cortezas u otras partes. 	<p>mayor seguridad contra incendios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de rajarse, por lo que <u>debe evitarse el uso cotidiano de clavos.</u> • Limitaciones para los nudos. • Hay técnicas para tratar el bambú una vez cortado y evitar que se degrade, pero si durante su desarrollo ya presenta ataques de insectos, hongos o signos de pudrición no son aptos para la construcción. • Es difícil conseguir que las cañas se ajusten a un estándar de dimensiones, por lo que su extracción no puede ser tan mecanizada, a diferencia de otros materiales como el acero.
---	--

Casos notables de la aplicación del bambú en la ingeniería civil.

Construcciones tradicionales.

- En China el material es ampliamente usado en reconocidas construcciones contemporáneas, teniendo una función tanto estructural como arquitectónica, como es el caso del 'Great Wall House'. En esta obra el bambú logró adaptarse estéticamente con el paisaje, mezclándose con materiales tradicionales como las losetas de cerámica, vidrios y aluminio. (Minke, 2012) (Veda, 2009)

- La ‘Green School’ en Indonesia, según aparece en la Fig. 6, una escuela verde de 3 pisos constituida principalmente por elementos de bambú formando espirales. Algo destacable de esta construcción es que no se ha empleado hormigón en ninguna sección de la estructura. (Minke, 2012) (Stevens, 2011)



Fig. 6. La “Green School” en Indonesia. Fuente: Colección fotográfica de Nigel Dickinson (2010).

- Al ser un material altamente antisísmico, el bambú se emplea muy a menudo en Costa Rica para construir casas. Se ha estudiado su comportamiento en centros como la Universidad de Costa Rica, y los resultados demuestran que puede presentar pandeos sin sufrir rupturas, además puede ser utilizado en todo tipo de miembros estructurales. (Vélez, 2002)
- El bambú se sigue usando en países sudamericanos como Ecuador y Colombia para construir viviendas de material semibleno de uno o dos pisos. (Cárdenas, 2010) (Hidalgo, 1981) (RPP, 2013)
- Luego del terremoto de 1999 en Colombia, la Catedral de Pereira en Risaralda, tuvo que ser demolida. El arquitecto Simón Vélez fue el encargado de diseñar una obra provisional. El resultado fue una agradable estructura hecha íntegramente de bambú, que estuvo en servicio por año y medio, la cual fue demolida para construir una construcción diferente, pese a que seguía en buenas condiciones físicas y a los pedidos de que se mantuviera. Según el arquitecto, “el bambú no es sismo-resistente, es más bien sismo-indiferente”, refiriéndose al peligro sísmico en el que se encuentra

la zona, pues la flexibilidad y resistencia de las construcciones de bambú presentan grandes ventajas. (SANGRÓNIZ, 2012)

- En el Perú el bambú se viene usando activamente principalmente en la costa y en la selva. Se han realizado construcciones de vivienda y de diferentes fines de uno o dos pisos. En la actualidad, se busca promover su uso para construcciones civiles con un manejo más responsable, seguro y sostenible. Un ejemplo reciente es el proyecto de viviendas ambientales en Piura, presentado por la ONG Hogar de Cristo de Ecuador, tanto para poblaciones vulnerables como para el sector turismo. El proyecto fue iniciado a fines del 2015. (Figura 7) (Chiroque, 2013) (Ministerio de Agricultura, 2010) (PROGRESO, 2015)



Fig. 7. Ejecución de los trabajos de construcción de las viviendas de bambú en Piura.

FUENTE: Diario Progreso de Piura (2015)

Construcciones especiales.

- En la ciudad de Huangpu se construyeron placas de concreto reforzado con bambú para evitar la filtración del río hacia el suelo aledaño. (Hidalgo, 1974)
- El gobierno chino, luego de realizadas algunas investigaciones en 1918, financió un proyecto de puentes de ferrocarril, cuyos pilotes de cimentación estaban hechos de concreto reforzado con bambú, lo cual facilitó su transporte y colocación. (Hidalgo, 1974)

- En proyectos sanitarios realizados en las Islas Salomón en 1981, se desarrolló un concreto reforzado con bambú con características muy similares a las del fierro-cemento. El autor del proyecto, Hazbun J.A., según su manual “Bamboo Reinforced Water Tanks”, describe que la tecnología de los tanques-paneles, cuyos elementos, aparte de ser económicos, de fácil transporte y colocación, demostraron una buena duración, como los tanques de acero galvanizado, o como los tanques de concreto armado. (Atauje, 1986)
- En nuestro país, el uso del bambú para construcciones de infraestructura se encuentra muy poco desarrollado. A la fecha su uso solo se ha limitado a defensas ribereñas en zonas pobladas y agrícolas.

Puentes.

- Los puentes hoy en día son una representación de la máxima capacidad portante del bambú. Es por ello que actualmente en México se viene desarrollando una normativa para la construcción de puentes, tanto peatonales como viales, hechos principalmente con cañas de guadua. (STAMM, 2009)
- En Bali, Indonesia, el alemán Joerg Stamm logró unir los elementos de bambú mediante pernos y tornillos, logrando puentes cuyas estructuras en forma de arco lograba trabajar como una bóveda. Ambos puentes, de 22 y 50 metros tuvieron la resistencia suficiente para soportar un camión. (STAMM, 2009)
- En Colombia se han trabajado mayoritariamente puentes atirantados, como por ejemplo el puente Páez, el cual utilizaba la guadua como elemento tensor, y tenía una luz libre continua de 40 metros. (STAMM, 2009)
- En Santa Fe de Antioquía se construyó un puente que significó un gran aporte en cuanto a los puentes prefabricados. Ensamblado en un mes, y pesando 8 toneladas, fue llevado a su ubicación final y la operación de anclaje duró solo 2 horas. Este puente pertenece al sistema Town y Howe para puentes entre 20 y 30 metros, el cual busca evitar los problemas de esbeltez en los elementos empleando diferentes capas en lugar de una sola. (STAMM, 2009)

El proceso para acondicionar las cañas de bambú desde su etapa de cultivo hasta su almacenamiento se presenta en la figura 8. Los acápites que desarrollan los conceptos de curado, secado y tratamientos especiales se presentan líneas abajo.

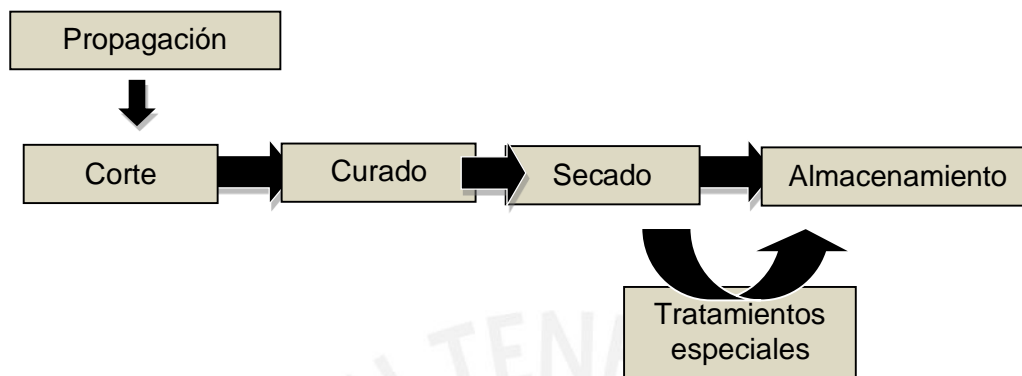


Fig. 8. Esquema del proceso de acondicionamiento del bambú para ser usado como material de construcción estructural basado en el análisis de la bibliografía consultada.

3.5. Curado y Secado

Debido a que el bambú una vez cortado se vuelve más susceptible al ataque de hongos e insectos, debe someterse a la brevedad posible a un proceso de curado o tratarse con preservativos, los cuales pueden ser químicos especiales. El principal objetivo específico de este procedimiento es reducir el contenido de almidón en la caña, y así obtener membranas y paredes celulares más gruesas y densas, con lo que mejora la resistencia y se preserva por mucho más tiempo. Además, se evita que las cañas se deformen y se encojan, este es un detalle muy importante si se van a usar para elementos estructurales, pues las deformaciones adicionales generan esfuerzos imprevistos y que no se toman en cuenta para el diseño.

La principal diferencia entre un curado y un preservativo radica en el costo y la eficiencia del proceso. El curado puede no ser tan eficiente como un tratamiento estándar de preservación, pero debido a su mucho menor costo y a su facilidad de aplicación, es el más empleado para tratar el bambú es la mayoría de los casos. (Guzmán, 1989) (Stulz, 1993)

Los métodos de curado más conocidos son:

- Curado en la mata.
- Inmersión en agua.
- Curado al calor.
- Curado por ahumado.

Curado en la mata.

Cortado el tallo se deja en reposo encima de una piedra, recostado sobre los demás bambúes (que no se cortaron), lo más vertical posible. Luego de unas 6 semanas deben cortarse las ramas y hojas y dejarse secar dentro de un área ventilada. La ventaja de este proceso es que los tallos no se manchan y preservan el color mucho mejor que otros. Según las experiencias del arquitecto colombiano Oscar Hidalgo en su manual “Bambú”, este método es en el que mejores resultados se ha obtenido, pero el que más demora. (Hidalgo, 1981)

Inmersión en agua.

Los tallos se sumergen completamente en un estanque o en un río con poca turbulencia por máximo 3 semanas y media. Posteriormente deben secarse por un cierto tiempo. Es el método más usado, pero no tan efectivo como los demás. (Hidalgo, 1981)

Curado al calor.

El tallo se coloca encima de una excavación de 30 o 40 cm, dependiendo de la especie. En el fondo se colocan brasas cuidando que las llamas no quemen la planta. El tallo debe girarse constantemente, y hacerse a campo abierto. Una ventaja de este procedimiento es que permite enderezar los tallos torcidos, sin embargo, los tallos no deben ser mayores de 3.5 m pues el peso propio podría deformarlos y torcerlos.

Puede realizarse también dentro de una cámara a temperaturas entre 120° y 150° Celsius. No obstante, debe controlarse adecuadamente el tallo para evitar que el calor excesivo comience a producir deformaciones en puntos aleatorios que terminen agrietando el diafragma.

La ventaja de este método es que el calor mata a los insectos que pueden permanecer alojados, además que ayuda a endurecer la superficie. Sin embargo, debido a su naturaleza, es recomendable que su procedimiento sea supervisado o realizado por una persona con experiencia. (Stulz, 1993)

Curado al humo.

Las cañas se ahúman colocándose encima de un fogón o una hoguera, hasta que queden cubiertas de hollín en su parte externa. Este procedimiento requiere cierta experiencia para asegurar que el bambú no se llegue a rajarse por el calentamiento del aire que se encuentra en los entrenudos. (Janssen, 1995)

Se debe dejar constancia que estos procedimientos son meramente tradicionales y que a pesar que han tenido buenos resultados durante años y en la actualidad siguen usándose, **no se tiene una comprobación meramente científica en cuanto a sus resultados.**

Datos complementarios.

Existen también métodos de secado de las cañas de bambú, que las preservan mayormente una vez que su proceso de curado ha finalizado. El método más conocido es al aire libre, el cual consiste en preservar las cañas en un lugar ventilado y cubiertas con algún material impermeable, y protegidos de la luz del sol. El secado de bambú requiere más tiempo que el secado de maderas de densidades similares, debido a que contiene materiales higroscópicos, es decir, sustancias que absorben la humedad muy fácilmente. (Minke, 2012)

La asociación “Guadua Bambú” de Costa Rica sugiere, entre otras, las siguientes medidas en cuanto al secado del bambú, principalmente para la guadua:

- Evitar principalmente el contacto directo de los palos con el suelo, para prevenir que la propia humedad del suelo afecte la caña. Esto además evita en mayor medida el contacto con insectos y hongos.
- Eliminar los palos infectados del área de secado.

- Evitar cambios rápidos en el contenido de humedad, de ahí es que se busca evitar que se espongan las cañas al sol directamente. Esto puede causar grietas en los palos de bambú pues el material cambia su estructura y propiedades con mucha rapidez. Los bambús en láminas no sufren este problema y pueden secarse directamente bajo el sol.
- Procurar una buena ventilación en el secado de los palos.
- Almacenarlos verticalmente acelera el secado y disminuye las posibilidades de un ataque de hongos. Sin embargo, se necesita un buen sistema de soporte que evite que los palos se doblen o curven. Esto se refiere a no dejar luces tan amplias entre los soportes de la caña.
- Para períodos más largos de almacenamiento se sugiere mantener las cañas en posición horizontal. Debe hacerse sobre plataformas elevadas del suelo, o sobre gruesas capas de plástico que evite el contacto directo con el suelo. Utilizar separadores entre cada fila de palos para una mejor circulación de aire. Los palos en la base de cada fila podrían romperse debido al peso excesivo de las filas superiores, por lo que se deben evitar las sobrecargas. La figura 9 presenta un ejemplo de almacenamiento de cañas.
- Para facilitar un secado uniforme, hay que dar la vuelta a los palos de bambú sobre sí mismos cada 15 días.



Fig. 9. Ejemplo de almacenamiento horizontal de cañas. Fuente: Guadua-Bambú, Costa Rica (2011).



3.5. Tratamientos Especiales

Si bien los métodos de curado antes mencionados proporcionan a la caña una susceptibilidad al desgaste con el pasar de los años considerablemente menor, y de preservar con mayor eficiencia sus propiedades físicas, no quedan lo suficientemente protegidas del ataque de insectos xilófagos y hongos, al menos no para garantizar su protección a un largo plazo. Para tratar estos últimos inconvenientes pueden emplearse diversos insecticidas y fungicidas que, por lo general, ya vienen en productos premezclados para tratar las maderas. A diferencia de los procesos de curado, su eficacia ha sido científicamente comprobada en investigaciones en Holanda, Alemania y Centroamérica, y su uso puede ser tanto a nivel particular como industrial. (Bejarano, 2002) (Hidalgo, 1981) (Stulz, 1993)

Se recomienda que los productos químicos usados cumplan los siguientes requisitos:

- Que su composición **no afecte** los tejidos del bambú de tal forma que modifique sus características físicas y mecánicas.
- Muchas veces, dependiendo del estado de la caña, se sugieren diferentes grados de concentración, por lo que los compuestos deben ser solubles en agua. También, una vez inyectados, su solubilidad no debe ser tal que el agua de lluvia los “lave”.
- Deben permanecer en estado líquido al momento de su aplicación, para poder ser inyectados e impregnados en cualquier parte del bambú que sea necesaria.
- Por motivos de salubridad y estética, **no deben desprender olores fuertes y/o desagradables al ambiente, pues afectarían a las personas que habitarán la construcción.**
- Si es posible, no debe variar el color de la caña, sobre todo si va a cumplir tanto la función estructural y arquitectónica.

(Bejarano, 2002)

Existen muchos métodos de tratamientos para mejorar aún más la resistencia y duración del bambú. Algunos llegan a usar químicos especiales, equipos, o una mezcla de ambos. A continuación, se describen los más comunes, así como los más viables de usarse en el Perú.

Uno de los químicos más recomendables es el **octaborato tetra-hidratado**. Se trata de un preservante reconocido por su bajo costo, además que su composición solo causa ligeros impactos al medio ambiente. Su concentración más sugerida es de 10% en agua. (Bejarano, 2002)

Otros químicos que pueden emplearse disueltos en agua pueden ser el ácido bórico o el bórax. La concentración que puede usarse es de 2.5%. (Bejarano, 2002)

Algunas composiciones usadas en Asia según estudios holandeses son las de *cobre-cromo-arsénico*, y también de *cobre-cromo-ácido acético*. Sin embargo, estas sustancias que **contienen arsénico son tóxicas y suelen producir efectos nocivos en el suelo**, además de tener riesgos por quemaduras, por lo que no se recomiendan emplear para el tratamiento del bambú. (Bejarano, 2002)

En cuanto al tratamiento se tienen tres métodos muy conocidos: El método del encalado, por inmersión en tanque, y el método Boucherie en sus dos variantes.

Método del encalado.

Este método consiste en aplicar una capa de cal a los tallos o culmos. Este también se puede aplicar en los sistemas de entramados o paneles. La cal logra reducir el nivel de humedad dentro de las cañas, lo que reduce significativamente la vulnerabilidad ante los hongos. (Orosco, 2009)

Método por inmersión en tanque

Es el método más conocido y el más fácil de realizar. Los bambúes se tratan cuando se encuentren recién cortados, y este proceso dura de dos a cinco días. El tanque debe permanecer protegido de la lluvia y en ocasiones de la humedad excesiva, para esto último se recomienda cubrir el tanque con un plástico. (Hidalgo, 1981) (Minke, 2012)

Pasado el tiempo de tratamiento se retiran los bambúes empleando guantes, pues la solución podría afectar la piel. La solución debe escurrirse de los tallos de tres a seis horas. Finalmente, el bambú se deja secar por una semana, protegido de la lluvia y la luz solar. En caso de que no se tenga un tanque disponible, se puede realizar una excavación y recubrirla con un plástico grueso impermeable. (Bejarano, 2002) (Janssen, 1995)

Método Boucherie.

El método Boucherie se considera alrededor del mundo cómo el más eficiente. Patentado en Francia en 1842, fue rediseñado para la preservación del bambú, pues se empleaba inicialmente para otros fines, pero esta modificación se hizo con el fin de no dañar las fibras y, por ende, no restarles a las cañas las propiedades físicas, ni mecánicas.

El método Boucherie consiste en sustituir la sabia y los almidones con el preservante, empleando tubos que transportan la sustancia. Los bambúes recién cortados se conectan mediante estos tubos a unos tambores que contienen la solución escogida. La mezcla, por presión, baja a través de los tubos y se introduce en las cañas. Sale por el extremo opuesto, se recupera y se reutiliza, añadiendo cierta cantidad de sustancia para obtener nuevamente la concentración requerida. (Hidalgo, 1981)

Algunas de las ventajas de este método es que se puede emplear de forma industrial y a mayor escala, y pueden usarse piezas de hasta seis metros de largo, sin mencionar que el tiempo de tratamiento se reduce de varios días a unas pocas horas al emplearse una bomba a presión. Cabe resaltar además que este procedimiento tiene sustento científico y de realizarse correctamente puede garantizarse su **calidad y seguridad**, factores clave en cuanto a materiales de construcción. Para obtener una mayor rapidez y reducir el proceso a unas pocas horas, el método puede modificarse y tener una variación, método Boucherie con bomba de aire. Para esto el tanque que almacena la solución debe ser hermético y poseer al menos una válvula que le permita medir y cambiar la presión. Esto es importante pues una presión excesiva puede dañar o rajar las paredes del bambú. (Bejarano, 2002) (Stulz, 1993)

Para reconocer que el procedimiento está casi completo debe observarse el color de la solución que sale del extremo inferior del bambú, si el color es similar al que se tiene en el depósito significa que el proceso está casi acabado. En tal caso se puede prolongar una o dos horas más para asegurar la calidad. Finalizado el tratamiento los tallos se dejan secar para que el contenido de humedad llegue a un nivel de 10% o 15%. Luego de ello ya pueden emplearse para la construcción, manteniéndose almacenados protegidos de la lluvia y el sol. (Janssen, 1995)

Hoy en día existen máquinas portátiles que se pueden transportar a la misma plantación para facilitar los trabajos. De acuerdo al manual de construcción del arquitecto

colombiano Oscar Hidalgo, se recomiendan ciertas soluciones y procedimientos adicionales dependiendo de la aplicación final que va a tener la caña. (Hidalgo, 1981)

- **Elementos estructurales (columnas, vigas, armaduras de techos).**
 - Ácido bórico a 6% de concentración. Duración del tratamiento: 2 – 3 horas. El tiempo de servicio que se puede obtener es de 15 a 20 años.
 - Cloruro de zinc a 10% de concentración. Duración del tratamiento: 2 – 3 horas. El tiempo de servicio puede ser entre 15 y 18 años.
- **Elementos de refuerzo (concreto reforzado con bambú).**
 - Cloruro de zinc a 6% de concentración. Duración del tratamiento: 1 ó 2 horas. El tiempo de servicio puede ser desde 25 hasta 30 años.
- **Elementos de refuerzo (muros recubiertos).**
 - Cloruro de zinc a 8% de concentración. Duración del tratamiento: 2 horas. El tiempo de servicio puede ser desde 10 hasta 15 años.
 - Ácido bórico a 6% de concentración. Duración del tratamiento: 2 – 3 horas. El tiempo de servicio que se puede obtener es de 10 a 15 años.

Tratamiento de retardo contra el fuego.

El bambú no es un árbol, pero sigue teniendo muchas características similares a la madera usada en construcción. Es por ello que se puede usar cualquier producto empleado para proteger la madera contra el rápido avance del fuego. Una sugerencia muy usada en diferentes partes del mundo, que indica el arquitecto e ingeniero alemán Gernot Minke (2012) consiste en una solución en la que a 100 litros de agua se le agrega:

- Tres litros de fosfato de aluminio.
- Tres litros de ácido bórico.
- Un litro de sulfato de cobre.
- Cinco litros de cloruro de zinc.
- Tres litros de bicromato de sodio.
- Unas gotas de ácido hidroclicórico.

3.6. Consideraciones para la Estructura General

Consideraciones generales.

Para la construcción de bambú debe contarse con un profesional responsable si, de darse el caso, no se siguieron al pie de la letra algunos puntos referentes al diseño con bambú, el cual se sustenta debidamente en la Norma Técnica Peruana E.100. Sin embargo, se sugiere que todo proceso constructivo en sí debe contar con asistencia calificada. La construcción no es un procedimiento mecánico durante toda su aplicación, y pueden darse casos que, de no realizarse con el debido detenimiento y atención de un profesional, podrían presentarse fallas estructurales importantes.

Los materiales de construcción, como madera, acero, mortero, concreto, etc. que vayan a emplearse junto con el bambú deben escogerse y trabajarse según sus normas respectivas. El bambú debe recibir protección de la humedad y del sol, y es por ello que se aconseja emplear un recubrimiento exterior de mortero, así como cubiertas con volados, como por ejemplo aleros anchos en los techos que sobresalgan por encima de los muros, y poseer sobrecimientos que protejan al material de la humedad del suelo. (SENCICO, 2012)

Ambiente de trabajo.

Como se sabe, el bambú, como material al igual que el acero y el cemento, es susceptible a sufrir cambios importantes al exponerse a la humedad, por lo que mientras se tenga almacenado debe protegerse del ambiente húmedo, y mantenerse a una distancia prudente del suelo.

El bambú es un material inflamable, por lo que, si se trata de construcciones más esenciales de lo común, deben tratarse con algún retardante, con el fin de contrarrestar su vulnerabilidad frente a un riesgo de incendio. Por esta misma razón, es conveniente que las estructuras aledañas que también se conformen por bambú y/o materiales similares mantengan una distancia segura y no presenten características arquitectónicas que las dejen muy expuestas. (Bejarano, 2002) (SENCICO, 2012)

Se debe tomar en cuenta que el bambú es un material vulnerable al sol y a la humedad, por lo que se debe considerar un emplazamiento adecuado y un diseño que le proteja del mismo.

Actividades preliminares, trazado y cimentaciones.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se debe realizar un saneamiento del terreno, es decir, eliminar todo tipo de estorbo que interfiera en la construcción, como plantas, maleza, piedras, etc. Es importante eliminar los focos de insectos, si es que existen. El procedimiento de **demarcación y adecuación** es el mismo que una construcción habitual. El lote debe tener siempre un trazado que brinde líneas de guía para las cimentaciones y otros parámetros, como límite del terreno, caminos, retiro, etc. Se procede luego entonces con la nivelación y el trazado.

Para las cimentaciones, uno de los procesos más importantes, se siguen los mismos pasos que las construcciones habituales. La excavación se realiza a una profundidad que asegure que el suelo a tal nivel es el adecuado para soportar el peso de la vivienda, sin sufrir asentamientos importantes, o que no sea potencialmente licuefactable en zonas sísmicas. Debe destacarse que, a diferencia de otros tipos de estructuras, las construcciones de bambú son de poco peso, por lo que muchas veces solo es necesario quitar la capa de suelo orgánico y no encontrar arcillas expansivas o rellenos.

La estructura de bambú no debe encontrarse en contacto con el suelo ni con la humedad de la lluvia, es por ello que la estructura debe presentar un sobrecimiento suficientemente alto. Algunas fuentes indican un mínimo de 20 cm, y otras 50 (Rojas, 2010). **Para nuestro caso práctico asumiremos una altura a nivel del suelo de 40 cm.** similar al mostrado en la figura 10. En dicha fotografía, para la casa de bambú se ha trabajado el sobrecimiento de concreto hasta una altura de por lo menos 20 cm. Encima de éste recién se ha levantado la estructura de bambú.



Fig. 10. Sobrecimiento de 20 cm de concreto en casa de bambú.

Las cimentaciones como es usual, se componen del acero de refuerzo debidamente habilitado en el área excavada donde posteriormente se vacía el concreto.

Consideraciones para columnas.

Al igual que las columnas de concreto y otros materiales, las columnas son elementos lineales y verticales que transmiten principalmente cargas de compresión. En el caso de las columnas de bambú éstas deben comenzar en el sobrecimiento para evitar el contacto con el suelo y la humedad y una solución muy frecuente para asegurar la base es rellenar la caña con mortero hasta el primer nudo con el fin de evitar que ésta se abra o se raje. (Minke, 2012) (SENCICO, 2014)

Algunas técnicas más avanzadas consisten en emplear el pie de la columna con tubos o mecanismos de acero que se conectan a los cimientos, como los mostrados en las figuras 11 y 12, que evitan el contacto con el suelo.

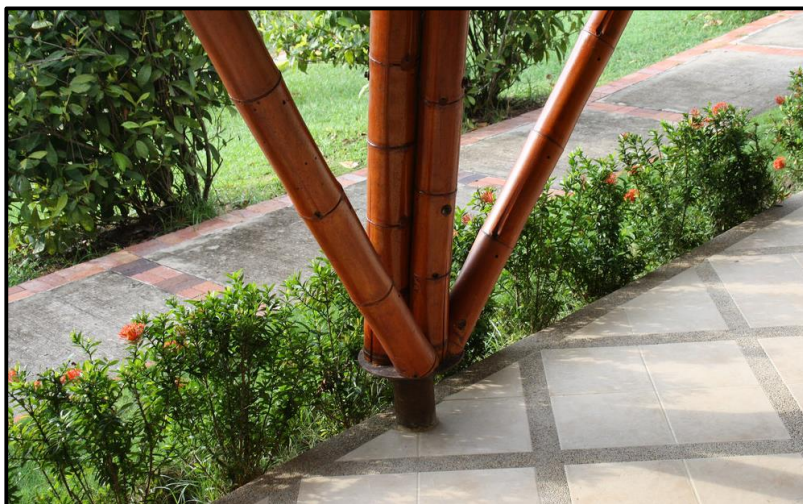


Fig. 11. Columna de bambú compuesta (más de una caña), asentada sobre una base de acero.

Fuente: Carolina Zuluaga, México (2012)



Fig. 12. Columnas de bambú para el prototipo de un vivero en Granada, España, empleando conos de acero para transmitir las cargas de compresión hacia los. Fuente: Ana María Cruz Valdivieso, España (2009).

Finalmente, con el objetivo de transferir cargas aún más grandes se pueden acoplar varias cañas de forma paralela. Éstas deben unirse entre sí con zunchos, pernos o varillas

roscadas de acero y arandelas, mostrados en la figura 13. Las figuras 14 y 15 muestran un esquema y modelo de las uniones.



Fig. 13. Kit de varillas roscadas, con tuercas y arandelas. *Fuente: Geduino.com (2015)*

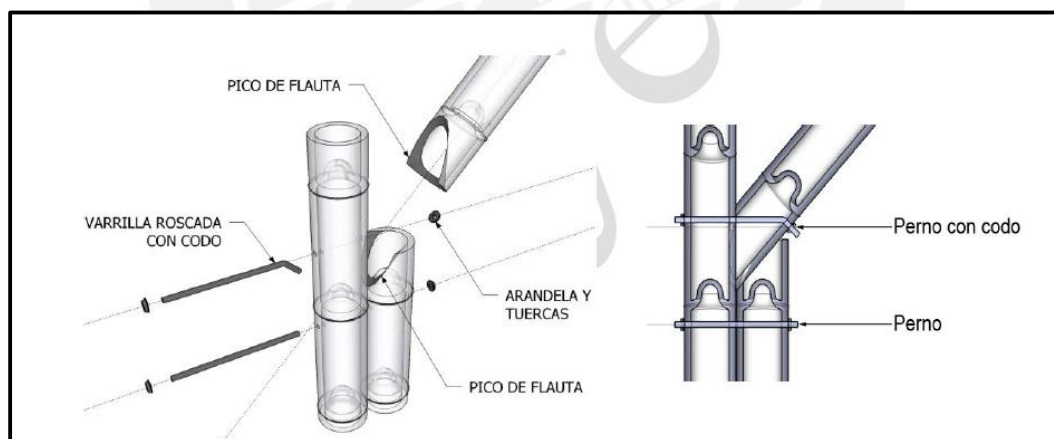


Fig. 14. Esquema de armado de columna compuesta por dos cañas, a la que se une una tercera caña para arriostrar una viga. *Fuente: SENCICO (2012).*

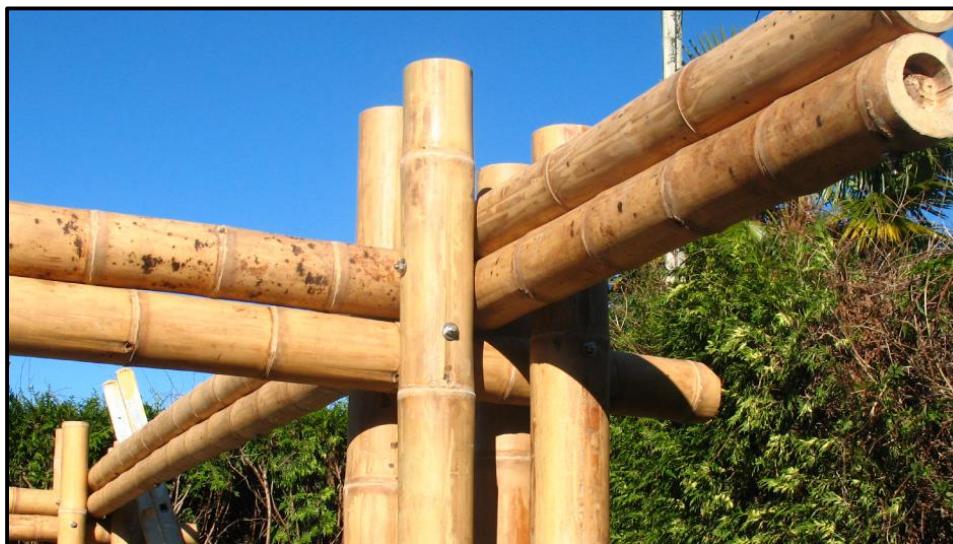


Fig. 15. Columna y vigas de bambú unidas por medio de varillas enroscadas, tuercas y arandelas en la construcción de una vivienda en Valencia. *Fuente: Bambusa (2014).*

Consideraciones para vigas.

Para las vigas en estructuras de bambú lo más usual es usar varias cañas unidas, debido a que el bambú, si bien trabaja adecuadamente en tracción, presenta en ocasiones deformaciones inadmisibles, por lo que las vigas de una sola caña solo son empleadas para tramos cortos o que soportarán cargas pequeñas. Para ello, lo más recomendable es colocar dos o tres cañas, una encima de la otra conectadas con las varillas roscadas de acero, como se muestran en las figuras 16 y 17. En la figura 17 se puede además apreciar que la caña ubicada al centro de la fotografía fue rellena con concreto para mejorar la resistencia a la compresión.

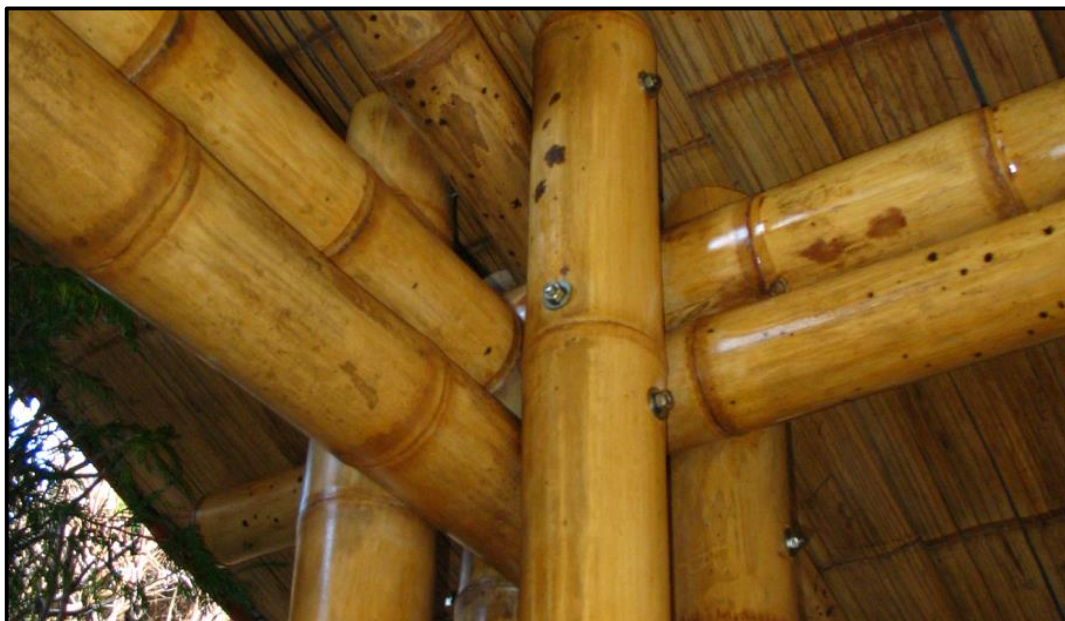


Fig. 16. Vigas compuestas de bambú en la estructura de un garaje. Fuente: Bambusa (2014).



Fig. 17. El uso de elementos compuestos por varias cañas también se presenta en arriostres, como por ejemplo en este auditorio.

Es usual que para evitar que la caña falle en los puntos de conexión, los extremos suelen rellenarse con algún material resistente a la compresión, como el concreto. Otro método más

complejo es emplear terminaciones cónicas de acero en las cañas de las vigas, que se conecten al extremo de la columna.

Una técnica reciente consiste en aumentar la rigidez a la flexión de la viga bajo el mismo concepto que el concreto pretensado, donde una caña inferior trabaja como un cable en tensión. Esto se logra flexionando la caña en el sentido contrario al que trabajará, antes de su colocación, y una vez finalizada la estructura, otorga mayor resistencia a la flexión al poseer una contraflecha inicial, tal como se muestra en las figuras 18 y 19. (Minke, 2012)



Figs. 18 y 19. Viga compuesta por cañas sometidas a flexión previa. Fuente: Bambusa (2014).

Finalmente, si se trata de soportar cargas mayores o en tramos más largos, una buena alternativa es el **uso de cerchas** (Fig. 20), el cual es sobre todo muy usual en puentes. A su vez, para evitar las deformaciones excesivas, las cañas pueden flexionarse previamente siguiendo los conceptos del párrafo anterior. (Minke, 2012)



Fig. 20. Cercha central que sostiene el techo de un garaje. Fuente: Bambusa (2014).

Consideraciones para muros.

Antes de iniciar el punto referente a muros es necesario indicar que la estructura portante no solamente puede consistir en un pórtico compuesto por los distintos elementos lineales, a la que después se le colocarán los tabiques. Además de una estructura apórticada, la cual además puede ser ensamblada in situ o prefabricada, se tiene la opción de muros portantes, siendo la técnica de **paredes Bahareque** la más empleada.

Las paredes Bahareque tienen su origen en Arabia, y consisten simplemente en una pared doble en cuyo centro se rellena con tierra, según el proceso mostrado en la figura 21. No obstante en algunas regiones cálidas y húmedas se suele emplear sin relleno. Dicha pared se estructura con pies derechos (columnas) y vigas soleras, a las cuales se añaden arriostres en diagonal para suministrar rigidez en el sentido del muro. Una vez terminado el muro se puede recubrir con distintos materiales, por ejemplo, mortero.



Fig. 21. Proceso constructivo de paredes Bahareque. Fuente: Morán, Perú (2015).

Para realizar el vaciado del relleno, primero se deben mezclar arena y tierra húmeda, de modo que no se tenga una consistencia muy suelta, para evitar que sobresalga de las grietas de la caña chancada al momento de compactarla. Una vez lista la mezcla se debe realizar el compactado por capas de 50 cm de alto, esperando a que la capa anterior se seque antes de seguir vaciando. Cabe destacar que la norma E.100 permite el uso de soleras tanto de madera como de bambú para los muros Bahareque, cada una con su respectivo reglamento en cuanto a medidas y distancias mínimas entre los elementos. (SENCICO, 2012)

Ahora, si se trata de **muros y paredes no estructurales**, se tienen características y métodos constructivos diferentes, comenzando que estos muros solo cumplen la función de tabiques, es decir, dividir ambientes, y pueden ser ensamblados in situ o prefabricados (en este caso toman el nombre de paneles).

En general, el armazón de los muros puede variar en cuanto a cómo distribuir el material y su método de instalarse, sin embargo, casi todos terminan por recubrirse con una malla metálica tipo gallinero para después aplicar el mortero, y posteriormente otros materiales o mezclas dependiendo del acabado arquitectónico deseado, que puede ir desde cal blanca, arcilla, hasta blanqueado simple y cañas barnizadas. En el Manual de Construcción con Bambú de Jorge Morán Ubidia (2015) se pueden encontrar los procedimientos para cuatro tipos de muros no portantes, mostrados en la figura 22: tipo quincha, muros Ipirti, paneles Romero y paneles sin recubrimiento, en los cuales se deja la caña chancada como “caravista”, aplicando barniz en algunos casos.

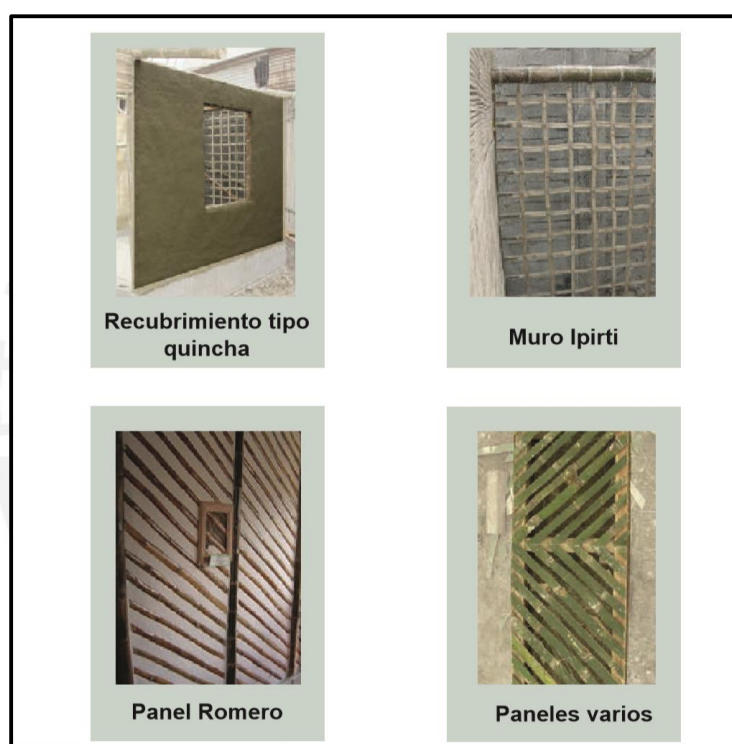


Fig. 22. Distintos tipos de muros y paneles no portantes, fabricados con bambú. En los muros tipo quincha, muros Ipirti y los paneles Romero se emplea recubrimiento de mortero y posteriormente un material de acabado. *Fuente: Morán, Perú (2015).*

Referente a las instalaciones eléctricas y sanitarias, éstas deben replantearse para no ir empotradas dentro de los elementos estructurales, sobre todo las instalaciones sanitarias, pues siempre existe el riesgo de fugas, lo que puede conllevar a que el bambú sufra el ataque hongos o pudrición. (Morán, 2015)

Algunas fuentes citan que las instalaciones eléctricas pueden ser empotradas dentro de los muros estructurales del bambú, bajo ciertas normas de medidas y cuidando que las

instalaciones no se perforen al momento de ensamblar los elementos. Sin embargo, una opción más viable para esto es simplemente habilitar las instalaciones por encima del muro terminado, protegiéndolas con algún material adecuado, como se muestra en la figura 23. (SENCICO, 2014)

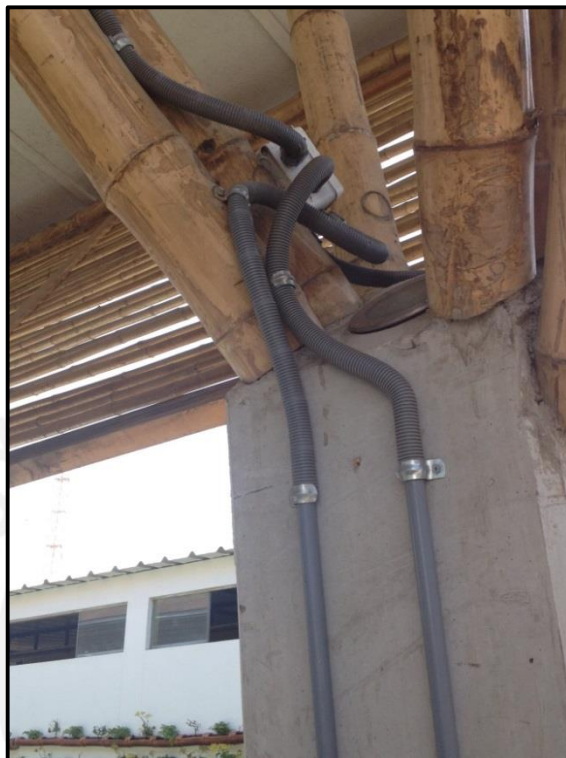


Fig. 23. Columna de concreto en la que se asientan diversos elementos de bambú para sostener el techo de un auditorio. Se aprecian las instalaciones eléctricas protegidas y colocadas encima de las cañas.

Con respecto a las instalaciones sanitarias, una solución muy empleada consiste en simplemente cambiar los muros en los que se irían a empotrar las redes por muros de materiales tradicionales (como muros de albañilería), y mantener los núcleos sanitarios lo más juntos posibles, y de ser el caso, que compartan muros. (Minke, 2012)

Consideraciones para techos.

Cuando hablamos de techos en estructuras de bambú lo más usual es referirnos a cubiertas, pues el sistema de techado la mayoría de veces consiste simplemente en varias correas soportadas por las vigas, sobre las cuales se coloca una cubierta liviana, compuesta de un material que garantice una total protección de la humedad y de los agentes externos al

interior de la estructura. Los techos a su vez, deben permitir una correcta ventilación entre los ambientes.

Las correas deben tener una cuidadosa fijación a la estructura principal, cuidando que no existan posibles desgarramientos, y los materiales más eficientes suelen ser las varillas roscadas con arandelas y tuercas. (SENCICO, 2014) Una vez que se han fijado las correas se pueden emplear diversos materiales dependiendo de las exigencias de la estructura, que pueden ser cañas chancadas (Figura 24), muy usual en viviendas del Ecuador, a las cuales se las trata con un aceite especial para mejorar su resistencia contra los insectos, y dándoles cierta forma para obtener un sistema machihembrado, lo que facilite su fijación y obtenga un mejor acabado. (Minke, 2012)

Otros materiales que pueden emplearse pueden ser paneles livianos de madera, sistemas de techado de policarbonato como el de la figura 25, entre otros. Algunas veces se suelen emplear cubiertas con barro. Previo a este sistema se debe colocar un elemento impermeable que evite el paso del agua a la estructura de bambú, pues ésta puede afectar directamente el material. Esto se refleja en la figura 26. (Morán, 2015)



Fig. 24. Techo de bambú machihembrado en una vivienda en Guatemala. En este caso el techo es piramidal, de 4 lados, y se soporta con 4 cerchas que coinciden en una columna central. *Fuente:* Minke (2012)



Fig. 25. Cubierta de calamina de policarbonato en un garaje. Este tipo de materiales suele ser duradero, liviano y barato. *Fuente: Bambusa (2014).*



Fig. 26. Techo de un auditorio abierto en el distrito de Santiago de Surco. Los aleros poseen una cubierta de paneles de triplay, mientras que la parte central es caña de bambú chancada, que permite paso de luz natural, teniendo encima una pequeña cubierta adicional para evitar el paso de la lluvia.

Impermeabilización.

En lo posible, las láminas que cubren las esterillas de los muros, así como la losa del techo que puede cubrir la estructura de bambú de los techos, y demás elementos de la estructura deben impermeabilizarse con el fin de darle una mayor vida útil a la vivienda o

construcción. Este impermeabilizante debe seguir aplicándose periódicamente cada cierto tiempo. **(Ver punto 3.8 Mantenimiento).**

En caso que el sistema para el techo elegido sea una lámina, como por ejemplo calaminas, tanto metálicas como sintéticas, muy empleadas en ambientes lluviosos, estas deben tener una pintura especial para la impermeabilización. Esto viene bien sobre todo en calaminas metálicas pues disminuye notablemente la corrosión. Estos elementos también deben revisarse periódicamente durante la vida útil de la construcción. **(Ver punto 3.8 Mantenimiento).** (Bejarano, 2012)



3.7. Consideraciones para Uniones y Amarres

Generalidades.

Desde que la construcción con bambú tomó mayor importancia en el mundo, las uniones fueron consideradas uno de los más fuertes desafíos al momento de la construcción misma, debido al comportamiento de sus fibras, las cuales no permitían el uso de clavos como la mayoría de la madera para construcción, además que el bambú no tiene la ventaja de tener nudos rígidos y continuos como las estructuras de concreto armado, ni tampoco la capacidad de soldadura y versatilidad de las estructuras de acero. Es por ello que al momento de diseñar y de construir las uniones se consideran articuladas y no presentan transmisión de momentos entre los elementos que une.

El uso de clavos para uniones de bambú no está permitido en diversas normas de construcción, debido a que la energía producida por el martillo tiene alta probabilidad de fisurar la caña y terminar partiéndola. En lugar de ello se emplean amarres con soga, perforaciones, pernos, y otros elementos similares. Para las perforaciones, estas deben realizarse alineándose correctamente con su eje axial y el diámetro debe tener al menos 1.5 mm más de longitud que el perno a usar, para evitar daños por fricción. (Minke, 2012)

Para esta tesis se pudo reconocer un problema bastante usual en cuanto a las uniones y amarres de los elementos. El bambú, por más que se busque realizar un corte a la perfección, no se acoplará completamente a la unión por lo que no se aprovecha toda su área por completo. En el acápite siguiente se proponen algunas soluciones a este inconveniente.

Piezas para mejorar la adherencia entre elementos.

Con el fin de aprovechar mejor el área de la caña para distribuir mejor los esfuerzos de los tornillos y pernos, el ingeniero colombiano Marcelo Villegas ha desarrollado diversos conectores de metal, que funcionan para distribuir la presión de la cabeza del perno a la caña, mostrados en la figura 27. (Minke, 2012)

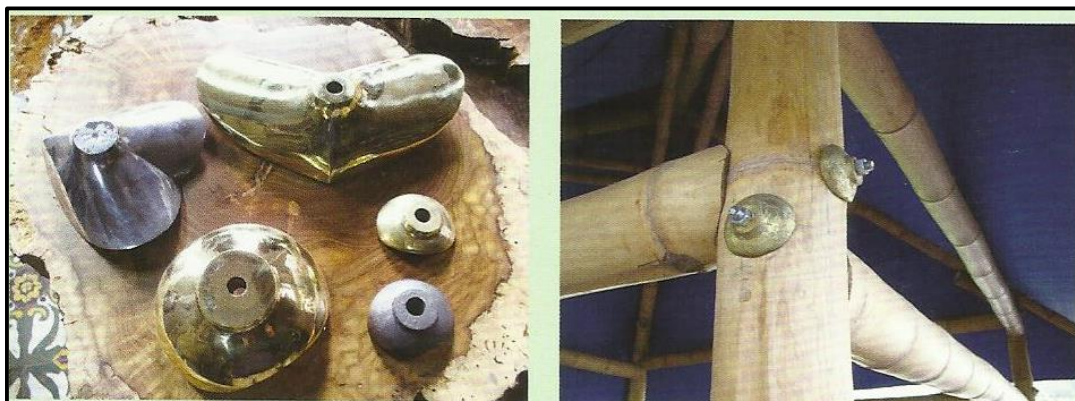


Fig. 27. A la izquierda los diversos conectores metálicos desarrollados por Marcelo Villegas. A la derecha, una unión empleando dichos conectores. Fuente: Minke (2012)

Sin embargo, un sistema más adecuado es el uso de los conectores hechos de caucho y goma diseñados por Adán Piza, los cuales facilitan un contacto **sobre toda el área axial**, lo que permite además una mayor eficiencia en la construcción, pues se evita el tiempo y esfuerzo en realizar cortes como el clásico “boca de pez” o “pico de flauta” en los extremos de las cañas con mayor perfección, tal como se indica en la figura 28. Estos conectores son sencillos de fabricar y podrían significar una opción adicional de trabajo. (Minke, 2012)



Fig. 28. A la izquierda, algunos de los conectores de caucho diseñados por Adán Piza. A la derecha, el nudo empleando dicho conector. Fuente: Minke (2012)

Con la solución a este usual problema que se suele dar en las uniones y amarres, ya se puede tener una lista de diseños que se pueden emplear en diversos casos en estructuras de bambú, a las que es posible aplicar estos principios. A continuación, en las figuras de la 29 a la 33 se presentan algunos ejemplos de uniones entre los elementos de bambú, especificando los cortes más usuales, como pico de flauta y boca de pescado, así como los

tipos: **conexiones empernadas** (usando las varillas roscadas con pernos y arandelas), y **conexiones longitudinales**, además de algunas combinaciones.

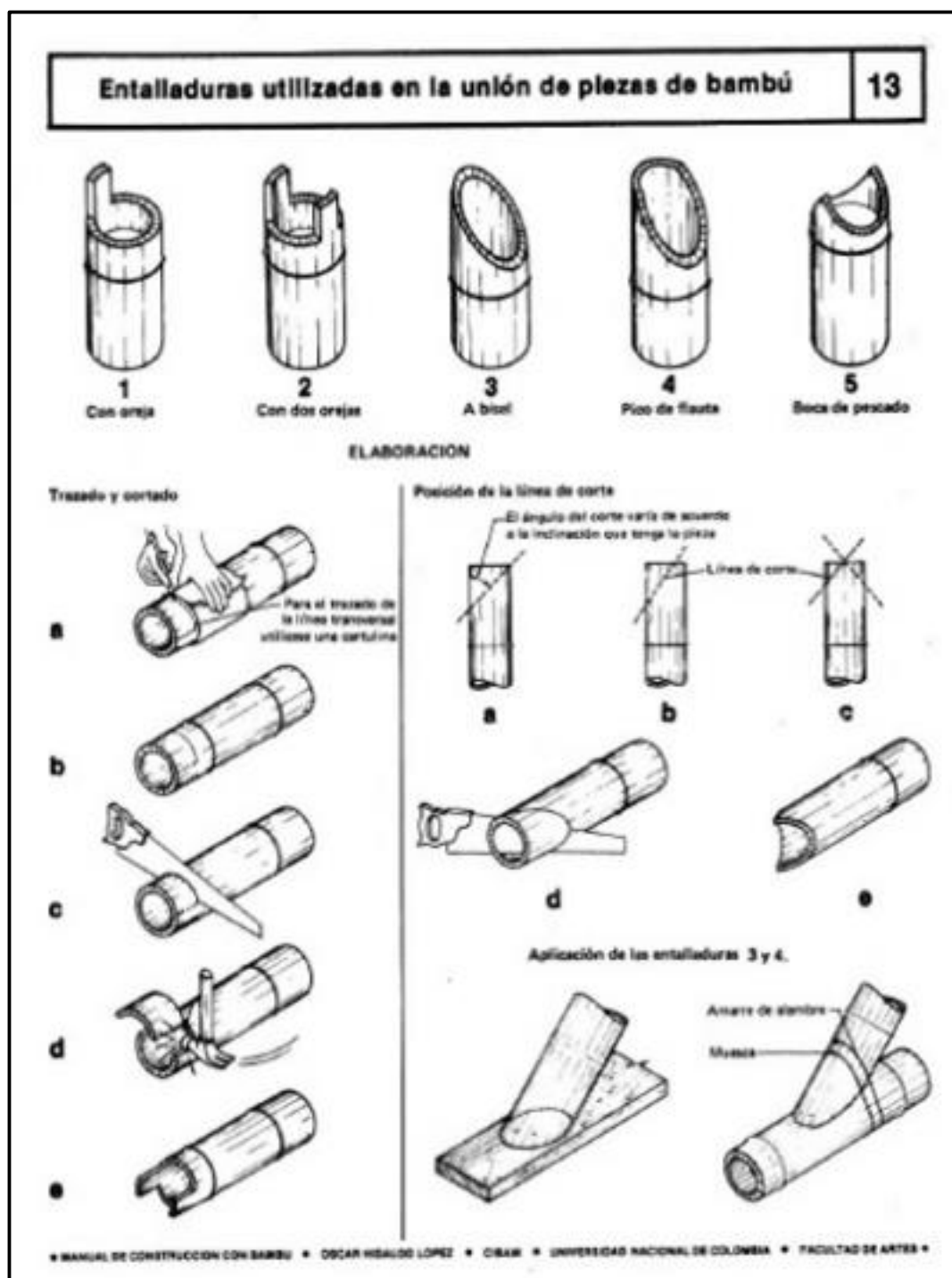


Fig. 29. Conexiones clásicas realizando cortes en los extremos y con amarres de alambres.

Fuente: Hidalgo (1981)

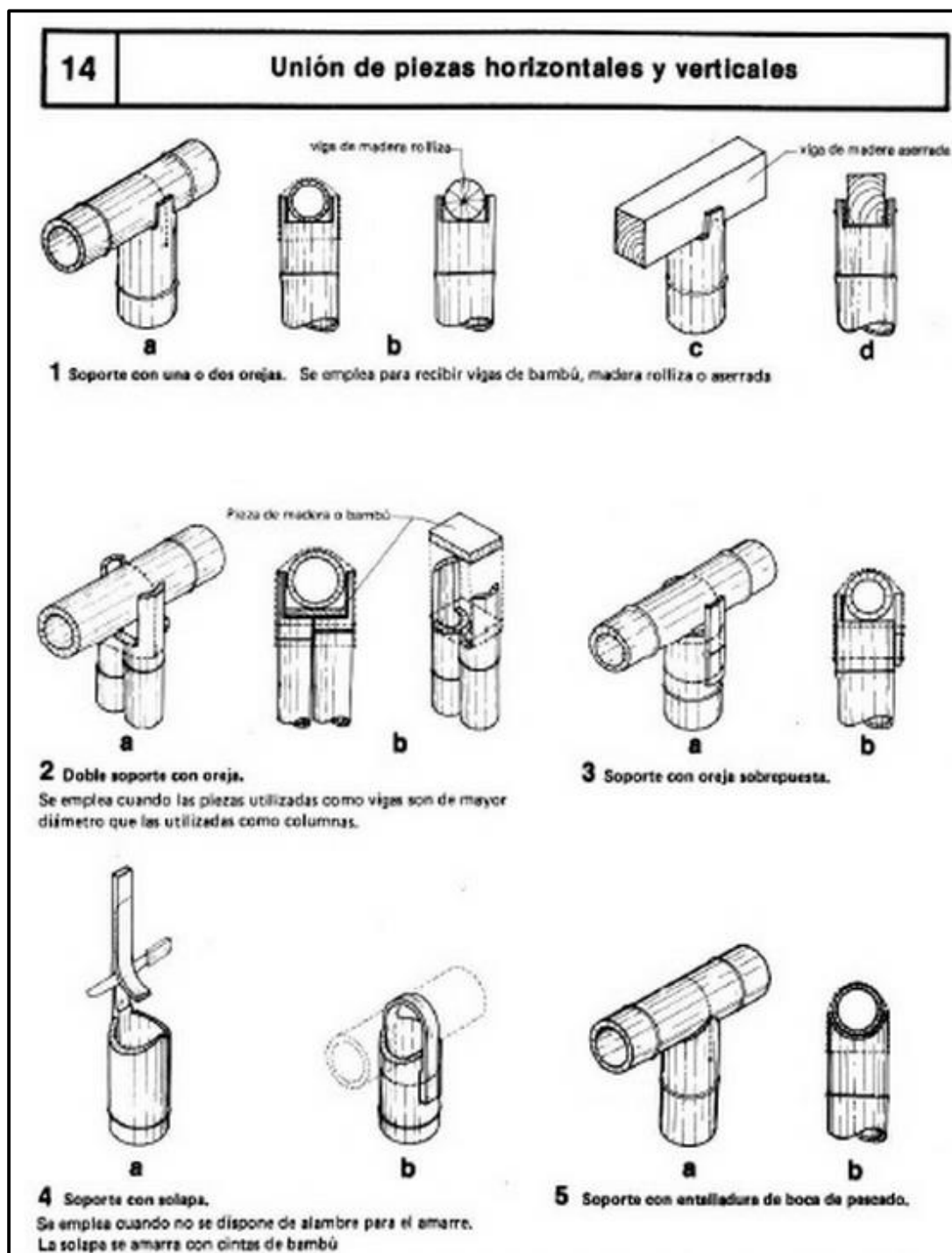


Fig. 30. Conexiones clásicas realizando cortes en los extremos de las cañas y empleando amarres con alambres. Fuente: Hidalgo (1981)

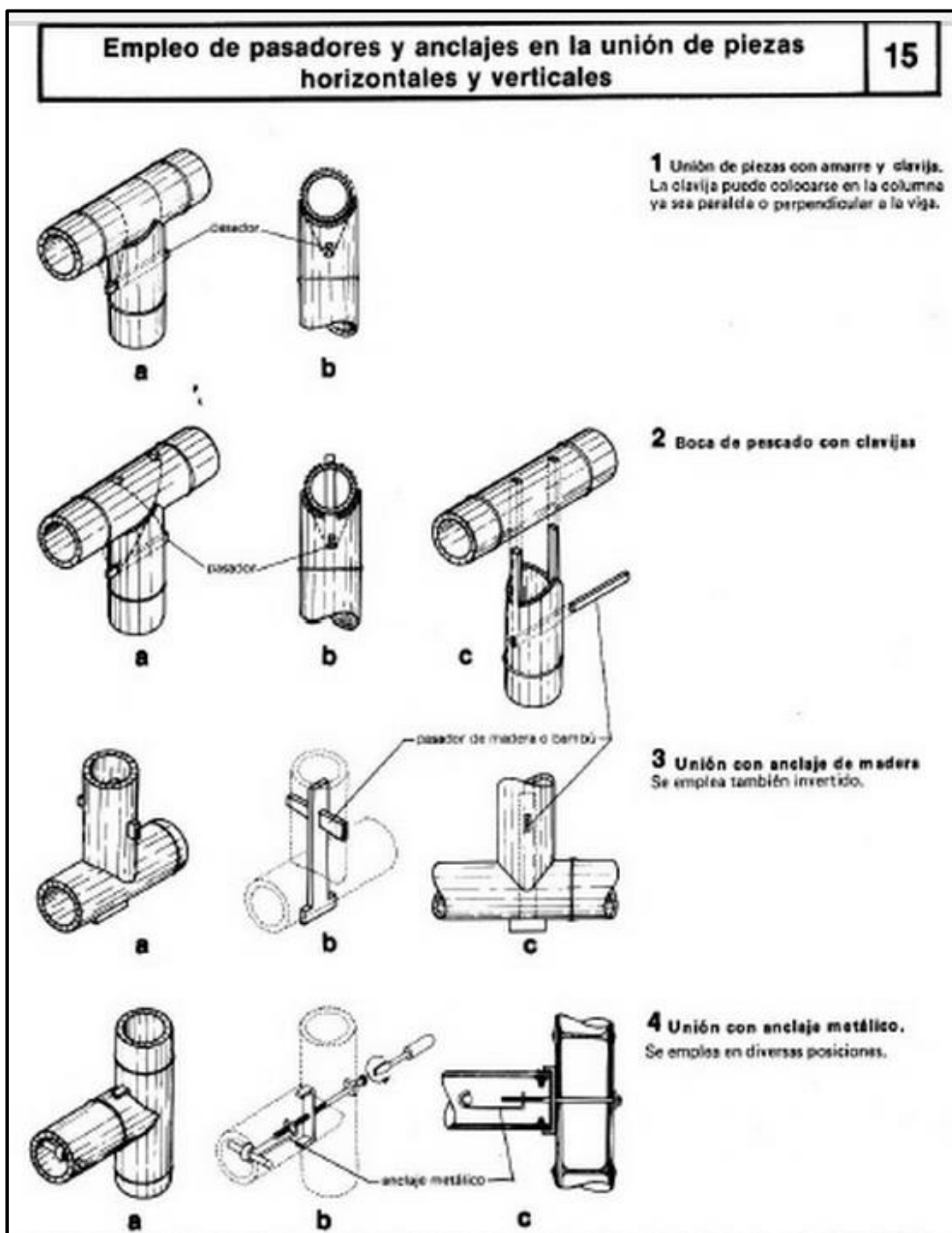


Fig. 31. Uniones con cortes en extremos de cañas y empleando anclajes metálicos y clavijas.

Fuente: Hidalgo (1981)

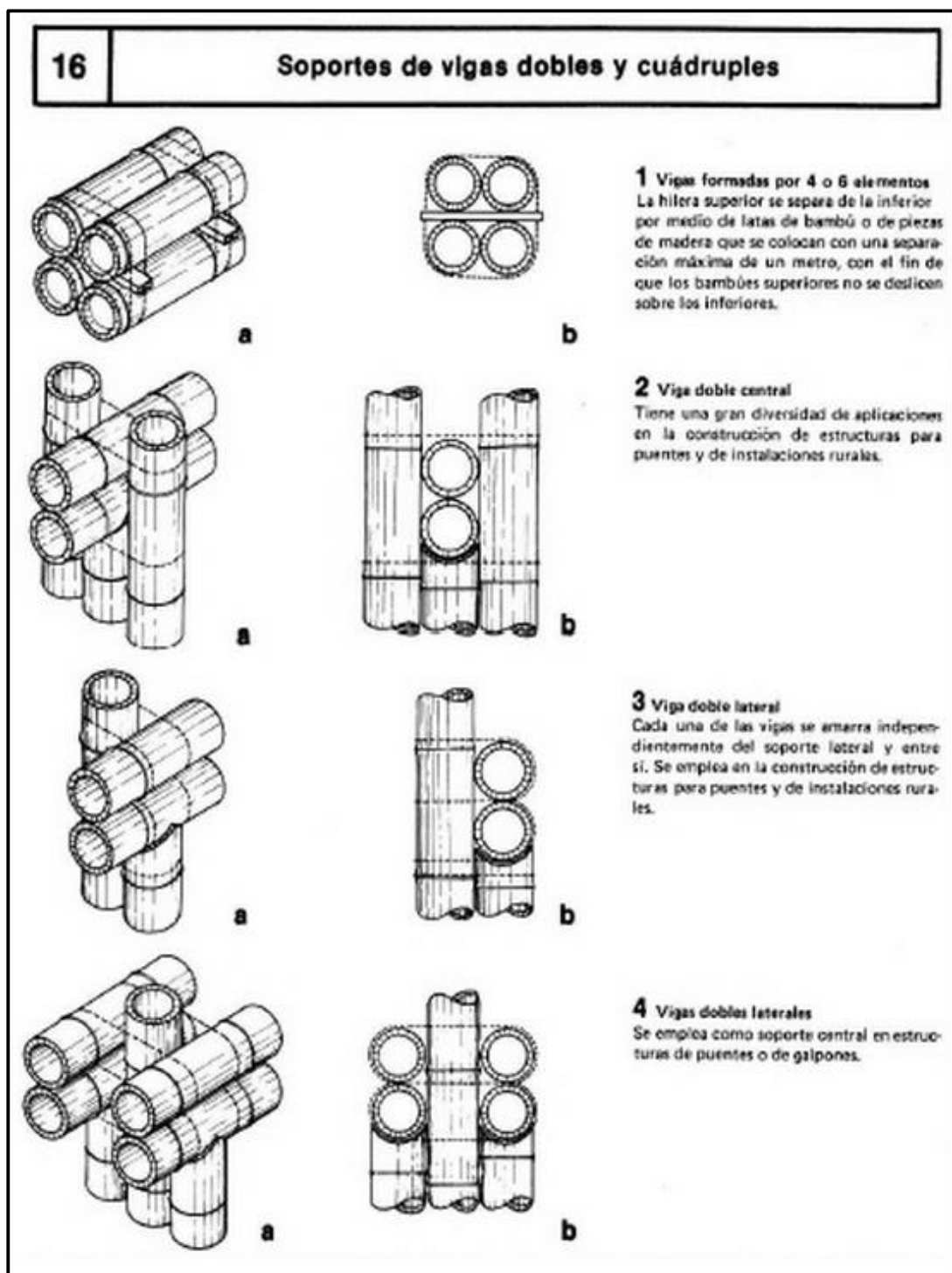


Fig. 32. Soportes de vigas compuestas. Fuente: Hidalgo (1981)

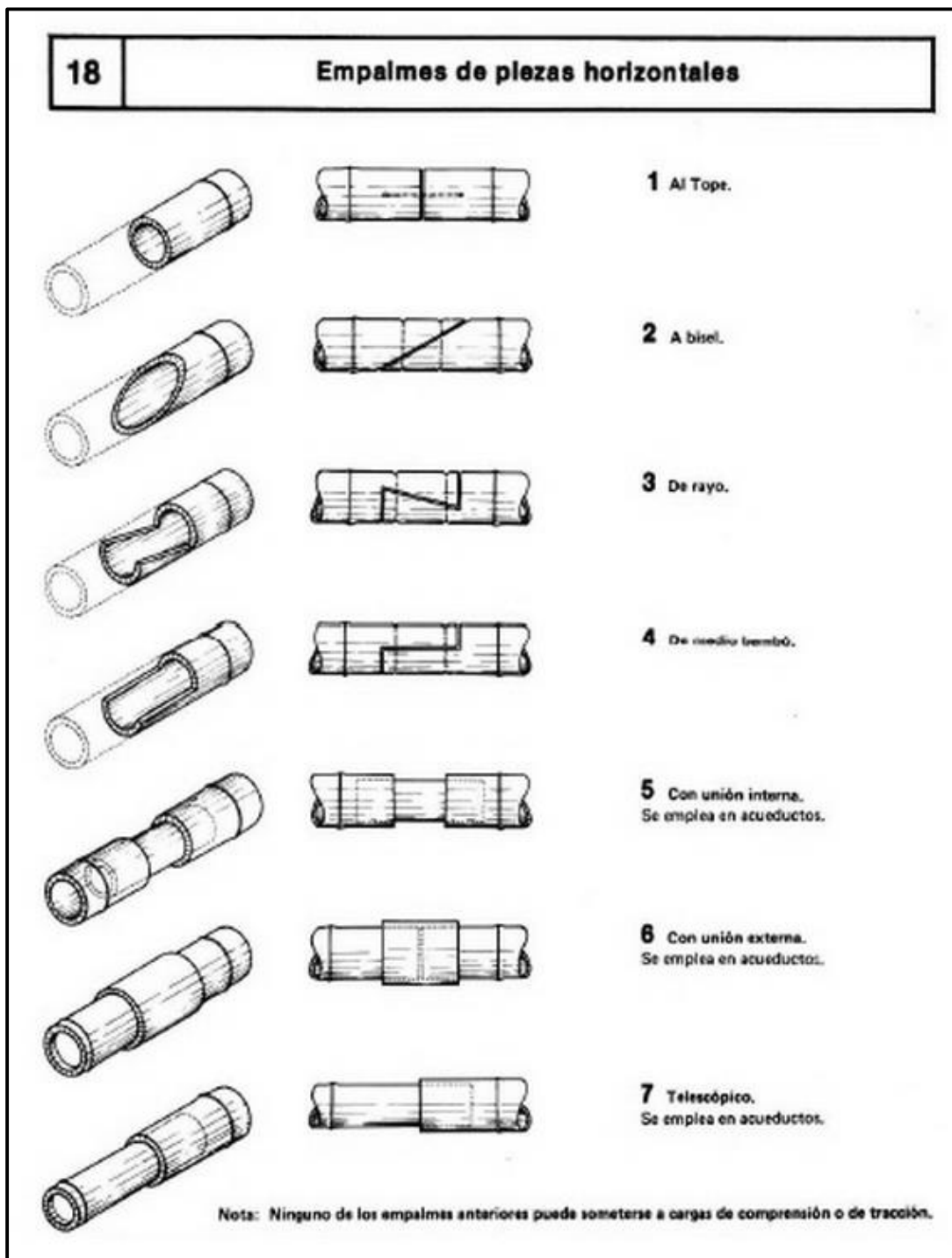


Fig. 33. Empalmes axiales. Fuente: Hidalgo (1981)

3.8. Mantenimiento

Como todo material de construcción, el bambú requiere de mantenimiento cada cierto tiempo y tener un control constante a lo largo de su vida útil. La Norma Técnica Peruana E.100 sobre el uso del bambú y el Ing. mexicano Rafael Bejarano, según su manual “Metodología para la construcción de viviendas utilizando como material principal el bambú”, especifican algunas pautas sobre las revisiones, ajustes y reparaciones a las que debe someterse toda edificación de bambú. Los principales insumos que se suelen emplear para tareas de mantenimiento incluyen algunos tipos especiales de ceras, lacas, barnices y pinturas. La tabla 3 nos indica los periodos de mantenimiento de diversos elementos, y la tabla 4 especifica algunas soluciones a considerar dependiendo del caso observado.

Tabla 4

Periodicidad del mantenimiento del bambú dependiendo del tipo de elemento.

Tipo de elemento	Piezas expuestas a la intemperie	Piezas exteriores protegidas de la intemperie	Piezas estructurales interiores
Periodicidad	Cada 6 meses como mínimo	Cada año como mínimo	Cada 2 años como mínimo

Fuente: Bejarano (2012).

Tabla 5

Soluciones recomendadas para distintos casos observados en la estructura del bambú.

Caso o cuestión	Solución recomendada
Elementos que hayan sufrido contracción	Reajustarlos con herramientas apropiadas.

y/o vibraciones y se han desajustado.	
Roturas, deformaciones excesivas, podredumbres.	El elemento debe ser retirado y reemplazado temporalmente por puntales o similares, hasta que sea cambiado por un elemento similar.
Presencia de insectos xilófagos.	En caso de no ser tan avanzada debe realizarse un tratamiento extra, como inyección, fumigación especial, para garantizar su eliminación. Si se muestran daños más notorios e importantes, la pieza debe ser reemplazada.
Los clavos del sistema de techado de láminas se han aflojado.	Deben reajustarse a la brevedad y colocar algún tipo de tapa goteras para evitar la entrada de humedad a otras partes de la construcción.

Otras medidas y recomendaciones a tomar en cuenta:

- Evitar la humedad que propicia la formación de hongos. El agua de lluvia o la humedad misma pueden ser los causantes de este problema.
- Un experto debe verificar el sistema empleado como retardante contra incendios que se haya usado.
- Las uniones con el pasar de los años suelen desajustarse o aflojarse, en especial si la estructura se somete a condiciones más exigentes de lo habitual, como sobrecargas, tormentas, calor excesivo, movimientos telúricos fuertes, etc. Por ello los amarres y uniones que presenten casos de aflojamiento deben reemplazarse. (SENCICO, 2012)

4. Diseño de Dos Viviendas: de Bambú y de Albañilería

En los acápite previos se han detallado las características, propiedades, ventajas y desventajas, así como el manejo y la tecnología del bambú en un contexto básico para la construcción de viviendas y estructuras de un piso, sin embargo, es necesario determinar la viabilidad financiera que existe al llevar a cabo un proyecto de vivienda simple constituido íntegramente de bambú en comparación con una vivienda de características y dimensiones similares construida con materiales tradicionales, como en el caso del Perú, las viviendas de albañilería con columnas, vigas y losas de concreto.

Para realizar este análisis de rentabilidad se debe primero decidir las características preliminares de la vivienda, realizar el diseño respectivo basándonos en los aspectos previamente analizados (**Ítem 3**), así como también tomando como referencia la Norma E.100 (Bambú) y algunos proyectos realizados tanto en el país como en el continente. El diseño de la vivienda de albañilería tradicional se realizará mediante los criterios de diseño de las distintas normas técnicas y medidas y dimensiones de los materiales usados con regularidad.

Una vez realizado el diseño de las viviendas se procederá con el metrado y el cálculo de costos y presupuestos respectivos. Para este ítem se emplearán los valores de costos actuales del mercado y para algunos aspectos más específicos relacionados a los rendimientos, plazos y costos del bambú se tomarán como base algunos datos de la Casa de Bambú recientemente construida en el Parque Ecológico de Surco (2016), mostrada en la figura 34. La vivienda fue construida principalmente de bambú, empleando los cimientos y sobrecimientos de concreto armado para evitar el contacto del bambú con el suelo, se compone de dos pisos y posee un área techada de 50 m² sobre un terreno de 36 m²

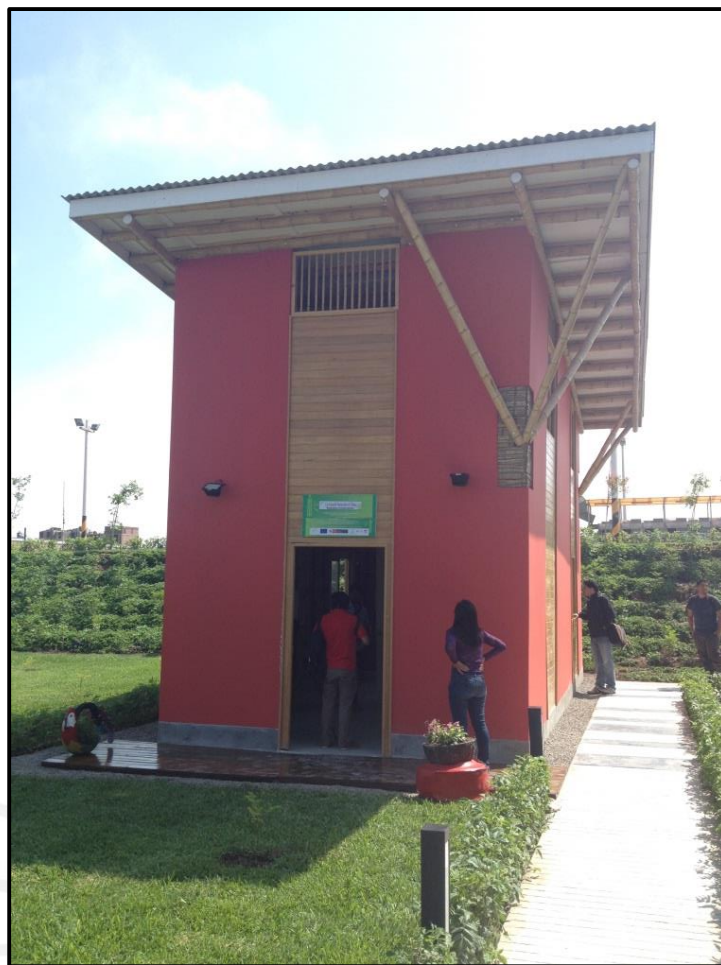


Fig. 34. Casa de Bambú en el Parque Ecológico de Santiago de Surco.

Una vez realizado el metrado y el análisis de costos y presupuestos se realizará una comparación entre ambas viviendas para definir la rentabilidad del bambú frente a los materiales tradicionales para una casa simple de un piso.

4.1 Aspectos Preliminares

Concepto general de las viviendas.

Se proyecta una vivienda de un solo piso sobre un área total de 54 m² (9 metros de frente por 6 metros de fondo). Tendrá una única área social y un área de servicio, más un solo baño y 2 dormitorios. El esquema de las viviendas mostrado en la Fig. 35, se detalla según la memoria descriptiva a continuación:

Se proyecta una vivienda de un nivel, con una sola entrada principal a la sala – comedor, ubicada en el lado izquierdo inferior del terreno, a partir de aquí, hacia el lado derecho al fondo se tiene la entrada en diagonal a la cocina; y más a la derecha se tiene un pequeño pasillo que comunica con el baño y los dos dormitorios. Los dormitorios se ubican al lado derecho del terreno, el principal hacia la vista frontal de la vivienda, y el secundario hacia el lado posterior.

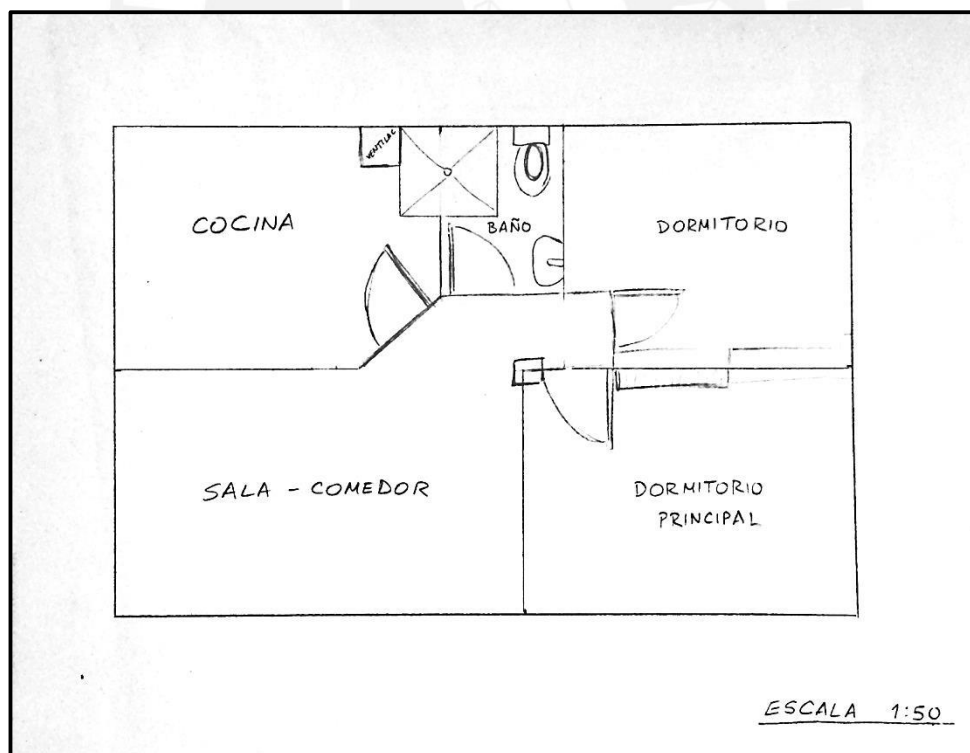
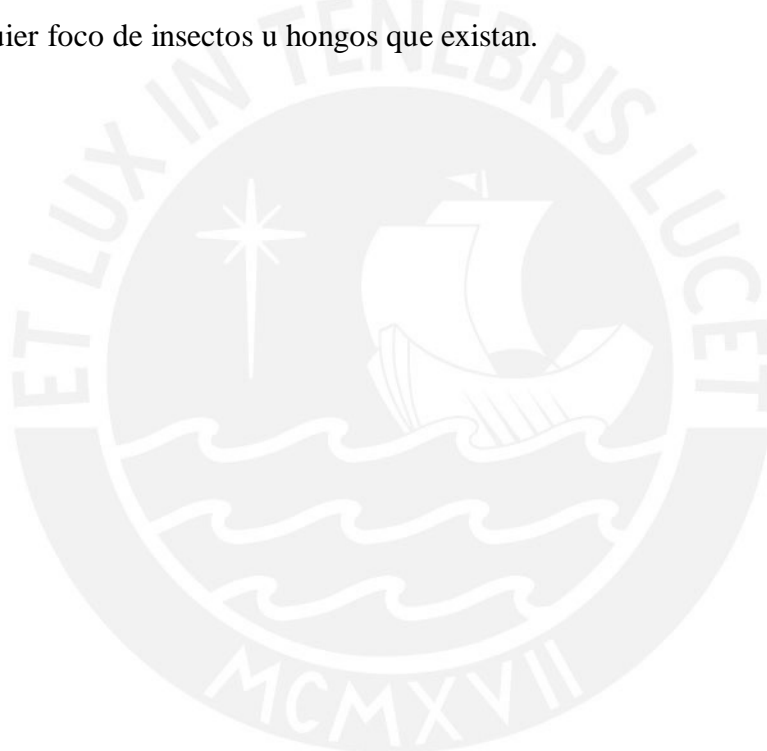


Fig. 35. Esquema básico (borrador) del plano de la vivienda proyectada.

Ambiente y lugar de trabajo.

Para este caso práctico la locación se especifica el distrito de Santiago de Surco. Dicho lugar es uno de los distritos con mayor presencia de proyectos de construcción en Lima, por lo que los rendimientos se basarán en los establecidos según el “Manual de rendimientos mínimos de mano de obra” de las provincias de Lima y Callao.

Según diversos estudios de mecánica de suelos realizados para proyectos en esta localidad se considerará una resistencia de 4 kg/cm² (resistencia buena) donde el estrato a apoyar es grava pobremente gradada (GP), a una profundidad de cimentación $D_f = 1.20$ m. El terreno se debe limpiar de cualquier estorbo o maleza existente, así como también eliminar cualquier foco de insectos u hongos que existan.



4.2 Diseño de las Viviendas

Ejemplo base: “Casa de Bambú del Parque Ecológico de Surco”.

Para el diseño de la vivienda se tomará de ejemplo la Casa de Bambú ubicada en el Parque Ecológico de Surco “Voces por el Clima”. Durante la jornada de trabajo “**Acero Vegetal**”, realizada en mayo 2016, en el mismo lugar por el IVUC (Instituto de Vivienda, Urbanismo y Construcción de la Universidad San Martín de Porres), se indagó acerca de su sistema constructivo, rendimientos y plazos en general.

Los conferencistas, en este caso los arquitectos Yann Barnet y Faouzi Jabrane, indicaron durante la inauguración de la casa, que su construcción tomó alrededor de 28 días y solo contando con una cuadrilla promedio de 4 obreros (sin contar personal general, como ingenieros, maestro de obra, etc.). La casa se ubica sobre un terreno de 36 m², y posee un área construida de 50 m². Bajo este mismo esquema, considerando el rendimiento por área construida, podríamos establecer un plazo de 28 días para una vivienda de 54 m² de área construida.

Predimensionamiento.

Siguiendo los parámetros de la Norma A.010 CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO, para el terreno de 54 m² en cuestión se propone:

- **Altura de piso a techo:** 2.30 m, con una altura mínima de 2.10 m bajo las vigas peraltadas y dinteles.
- **Pasillos:** Como mínimo 0.90 m.
- **Ancho de vanos:** mínimo de 0.90 m para ingreso principal, 0.80 m para habitaciones y 0.70 m para baños. Para el proyecto se tendrá un mínimo global para las habitaciones y baños de 0.80 m.
- **Área de ducto de ventilación:** Mínimo de 0.24 m² y de 0.50 m x 0.50 m. Para el proyecto se ha elegido exactamente esta medida.
- **Medidas de los ambientes:** Para los distintos ambientes de la vivienda, no se especifican las medidas mínimas, no obstante, deben tener suficiente espacio para

circular y ejecutar las funciones a las que son destinados. Por tanto se propone para cada ambiente las siguientes **medidas mínimas**:

- ✓ Sala – comedor: 4 m x 2.5 m.
- ✓ Cocina: 3 m x 2.5 m.
- ✓ Dormitorios: 3 m x 2.5 m
- ✓ Baño: 2 m x 1.5 m solo sin contar la ducha.

Con estas medidas se tiene la siguiente propuesta en la figura 36:

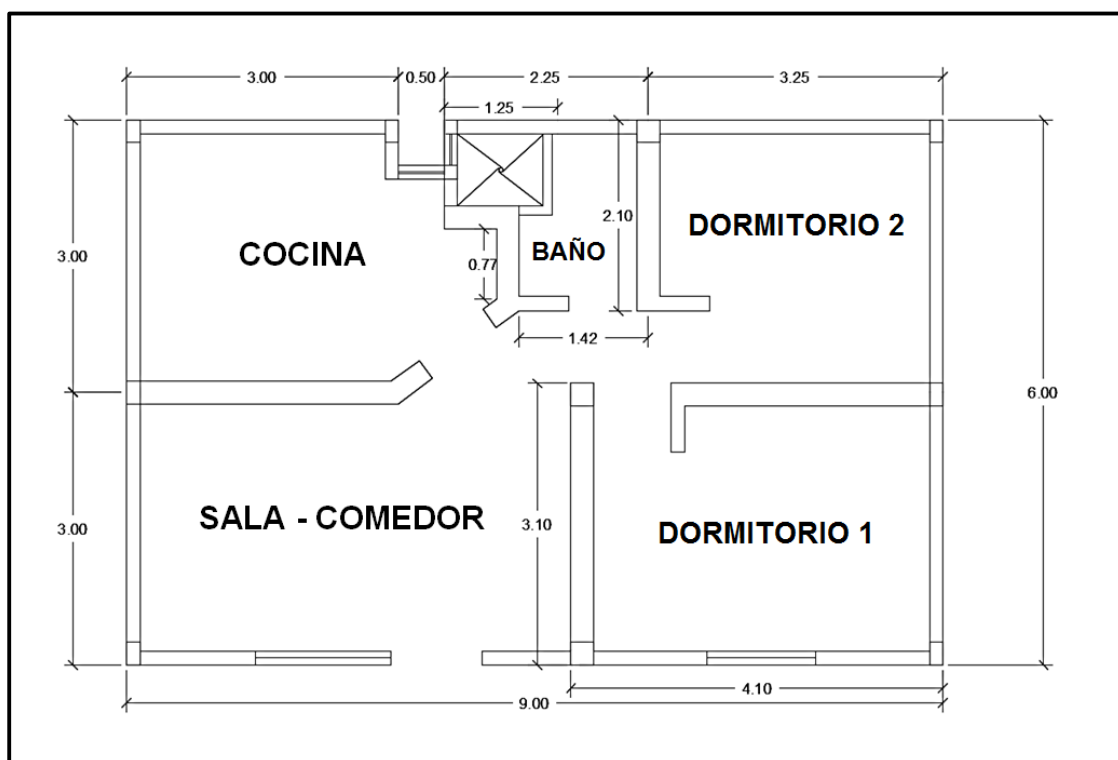


Fig. 36. Esquema de la vivienda propuesto en programa de dibujo.

Según el esquema propuesto en la figura 36 se proyectan en total 10 columnas con dimensiones de entre 15 x 25 cm, y de 25 x 25 cm, las cuales llevarán varillas de acero de medidas estándar. El núcleo sanitario del baño comparte muros con el de la cocina, de manera que los muros en los que se empotrarán las instalaciones sanitarias sean los menos posibles.

Materiales a emplear.

La estructura de la vivienda de materiales tradicionales, a la que llamaremos **vivienda A**, se basará en muros de albañilería, y columnas, vigas y losas aligeradas de

concreto armado. Los muros divisorios serán de ladrillos de arcilla arriostrados por columnetas, quedando dinteles y alféizares para las puertas y ventanas. Se colocarán las instalaciones eléctricas y sanitarias empotradas en estos muros luego de haberse asentado el ladrillo y se resanará con mortero. Posteriormente se aplicará el respectivo tarrajeo de muros y derrames con mortero (mezcla de agua con arena-cemento). Los acabados serán de gama baja: blanqueado y 2 manos de pintura sin masillado, contrapiso de cemento pulido, puertas y ventanas sencillas.

La segunda vivienda, cuya estructura será principalmente de bambú, la llamaremos **vivienda B**. Se proyectan cimientos corridos de concreto armado, dado que el bambú no puede emplearse para cimientos pues en lo preferible no debe estar en contacto con el suelo (por riesgo de pudrición por humedad y/o hongos). Las cañas debidamente habilitadas para usarse en construcción se usarán para las columnas, incluyendo también los arriostres, unidas entre sí y a los sobrecimientos de 40 cm por medio de varillas roscadas, tuercas y arandelas, entre otros elementos que se diseñarán a detalle.

Como se describió en la sección 3.6, las vigas consistirán en cañas compuestas para asegurar un adecuado funcionamiento de la vivienda. En este caso el diseño no se contempla con mayor complejidad pues las vigas deberán soportar solamente las cargas de gravedad del techo y sismo para un diagrama de techo de un solo nivel. Las cañas también se unirán por medio de varillas, tuercas y arandelas. El techo se sostendrá con cañas más delgadas a modo de viguetas, quedando arriba un techo de drywall y encima una calamina de policarbonato, la cual protegerá la vivienda y los materiales de la lluvia y la humedad, además de garantizar una correcta ventilación de la vivienda.

Para los muros de la vivienda se usará caña chancada, de modo que cubra cada paño. Para este caso práctico, no se emplearán **muros Bahareque**, pero sí una alternativa similar; se cubrirá el lado exterior de cada paño con la caña chancada, a la que posteriormente se le colocará la malla tipo gallinero y se aplicará el mortero tradicional para el tarrajeo.

Respecto a las instalaciones, para las instalaciones eléctricas, los tubos se colocarán fuera de las cañas y muros, quedando simplemente adosadas. Por otro lado, para evitar daños en las cañas por fugas, las instalaciones sanitarias irán empotradas en unos cuantos muros de albañilería que se levantarán en la vivienda, los cuales se tarrajearán con mortero.

Al igual que en la vivienda A, los acabados serán de gama baja: contrapiso de cemento pulido, puertas y ventanas sencillas, blanqueado y pintado exterior.

Diseño de las cimentaciones.

VIVIENDA A. Las cimentaciones elegidas de partida serían zapatas para las columnas y cimientos corridos para los muros de albañilería. En todos los elementos se considerarán dimensiones y medidas comunes, tomando como base diseños de proyectos en el distrito de Santiago de Surco.

Para las zapatas se considerarán las siguientes medidas:

- Dimensiones de la zapata: 1.50 x 1.50 m de área y 45 cm de peralte.
- Acero: varillas de 5/8" cada 20 cm.
- Profundidad de cimentación: 1.20 m (cota del fondo de zapata)

Por otro lado, se deben vaciar cimientos corridos para los muros de albañilería, además de una delgada platea de cimentación que solo funcionará como losa de piso para la vivienda. Las dimensiones consideradas serán:

- Dimensiones de cimientos corridos: 35 cm de ancho, 40 cm de peralte.
- Acero de cimientos corridos: Varillas de 3/8" cada 20 cm.
- Profundidad de cimentación: 0.60 m (cota de fondo de cimientos)
- La losa de piso será de 15 cm, y la longitud del cambio de peralte entre los cimientos corridos y la losa será de 25 cm.
- Acero de losa de piso: Varillas de 1/4" cada 20 cm.

VIVIENDA B. El peso de una estructura de bambú es mucho menor al de una estructura de materiales tradicionales como el concreto y los ladrillos de arcilla, por lo que las cimentaciones no requieren dimensiones tan exigentes como anchas zapatas o gruesas plateas de cimentación. Se va a considerar una sola platea de cimentación de 20 cm de peralte, que cumple el mínimo solicitado por la norma E.100, a una profundidad de cimentación de 30 cm. Se considerará un sobrecimiento que llegue a 40 cm por encima del nivel del suelo para evitar que la humedad afecte las cañas de bambú.

Recapitulando:

- Losa de cimentación de 20 cm de peralte.
- Acero de losa: Varillas de ¼” cada 20 cm en ambas direcciones.
- Acero de cimientos corridos: varillas de ¼” cada 25 cm.
- Cimientos corridos de 20 cm de espesor.

Diseño de la estructura principal.

VIVIENDA A. Para las columnas, vigas y losas se van a considerar también medidas usuales para edificaciones de un solo piso, considerando las luces de longitud promedio 3 metros, con un máximo 5 metros. Se van a considerar columnas de 25 x 25 cm en los ejes centrales ya que reciben el peso del aligerado a mayor amplitud, con 4 fierros de ½”, y muros de albañilería, de cabeza de 25 cm.

Las demás columnas, que irán alineadas con muros de 15 cm (muros de sogá), serán de 15 x 25 cm, con 4 fierros de ¼”.

Recapitulando:

1. **Columna central, columna entre el baño y dormitorio 2, y columna junto a la puerta de ingreso:** área de 25 x 25, con 4 fierros longitudinales de ½” con estribos de 3/8” 1@0.05, 10@0.10, resto @0.25. Ganchos de 0.15. Medidas en metros.
2. **Resto de columnas:** área de 15 x 25 cm, con 4 fierros longitudinales de ½” con estribos de 3/8” 1@0.05, 10@0.10, resto @0.25. Ganchos de 0.15. Medidas en metros.

Considerando el sistema tradicional de construcción que se emplea en nuestro país se van a considerar los **muros de ladrillo KK de sogá** (12.5 cm de espesor sin tarrajeo, 15 cm de espesor con tarrajeo) para todos los muros perimetrales **y cabeza** (23 cm de espesor sin tarrajeo, 25 cm de espesor con tarrajeo) para todos los muros interiores, con mortero C:A 1:4, con alambre #8 cada 3 hiladas. Los dinteles, alféizares y sardineles serán de 175 kg/cm² con aceros longitudinales de ½” con estribos de ¼” 1@0.05, 10@0.10, resto @0.25. Ganchos de 0.10. Medidas en metros. Se emplearán **vigas peraltadas** de sección 25 x 40 cm con 4 fierros longitudinales de 5/8”, y estribos de 3/8” 1@0.05, 10@0.10 y resto @0.25. Medidas en metros. Los ganchos para cada fierro longitudinal serán de 0.40 m.

Para el techo, se emplearán **losas aligeradas** con ladrillos bovedilla para techo de 12 cm. El diseño incluirá 3 fierros longitudinales de $\frac{1}{2}$ " cada 40 cm (entre ladrillo y ladrillo) y fierro de temperatura de $\frac{1}{4}$ " cada 25 cm.

VIVIENDA B. Para el diseño de la estructura principal de la vivienda de bambú se tendrán en cuenta los conceptos revisados los capítulos 3.6 y 3.7 del marco teórico, consideraciones para la estructura y las uniones.

Para las columnas se emplearán cañas verticales unidas al sobrecimiento mediante conexiones empernadas con anclajes internos. Según se muestra en la figura 37 el entrenudo inferior de la caña se rellenará con mortero, y debe cubrir por completo el gancho del sobrecimiento y la pieza metálica del bambú que se conecta con éste. Tanto el gancho como el pasador deberán tener al menos 9 mm de grosor. Estas columnas se rellenarán con mortero hasta la altura de su siguiente entrenudo.

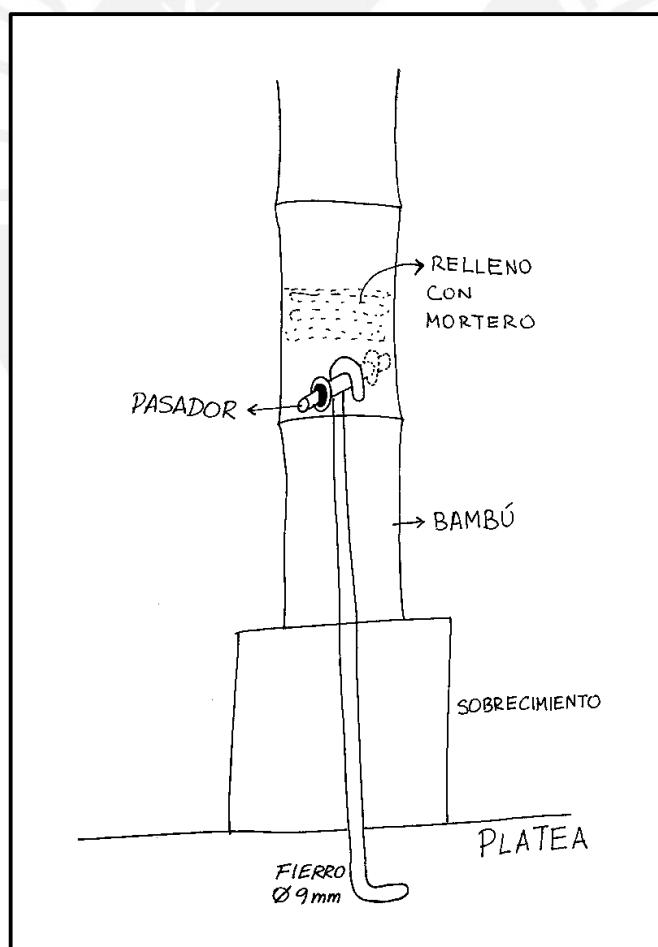


Fig. 37. Esquema de armado y anclaje de las cañas que servirán de columnas para la vivienda.

Estas cañas verticales o **de pie** deben complementarse con otras cañas **diagonales** que buscarán darle mayor estabilidad a la estructura. Su método de anclaje será el mismo que las cañas de pie, salvo que sus extremos deberán cortarse a modo de bisel para que encajen con las cañas de pie. Se proyectarán muros elaborados con caña chancada. Esto se logrará formando paneles con alambre y uniendo los paneles a las columnas cada 15 centímetros por medio de tornillos delgados.

A las columnas se les deben asignar vigas soleras para finalizar el entramado de cañas. En este caso se colocará una sola caña por paño tanto arriba como abajo. Se unirán a las cañas verticales mediante pernos o varillas enroscadas con pernos y arandelas. Dado que la cubierta superior (techo) será la única carga muerta que soportarán las vigas, además de su propio peso, las vigas pueden ser simples, es decir, una sola caña, tal como se muestra en la figura 38, donde se emplea una sola viga solera por paño, que sirve de arriostre a la estructura vertical, y de aquí se empernan cañas simples que funcionan de vigas principales para sostener el techo de drywall, también por medio de pernos.



Fig. 38. Sistema de uniones de las vigas con las columnas en la Casa de Bambú del Parque Ecológico de Surco.

Para la cubierta (techo) se emplearán cañas más delgadas a modo de viguetas, que irán empernadas a las vigas principales. Éstas sostendrán un techo de drywall que finalizará en un techo ondulado de policarbonato para proteger la estructura de la lluvia y el sol. El esquema estructural de la vivienda B se presenta en las figuras 39 y 40, a nivel de mitad de muros y a nivel de techos respectivamente.

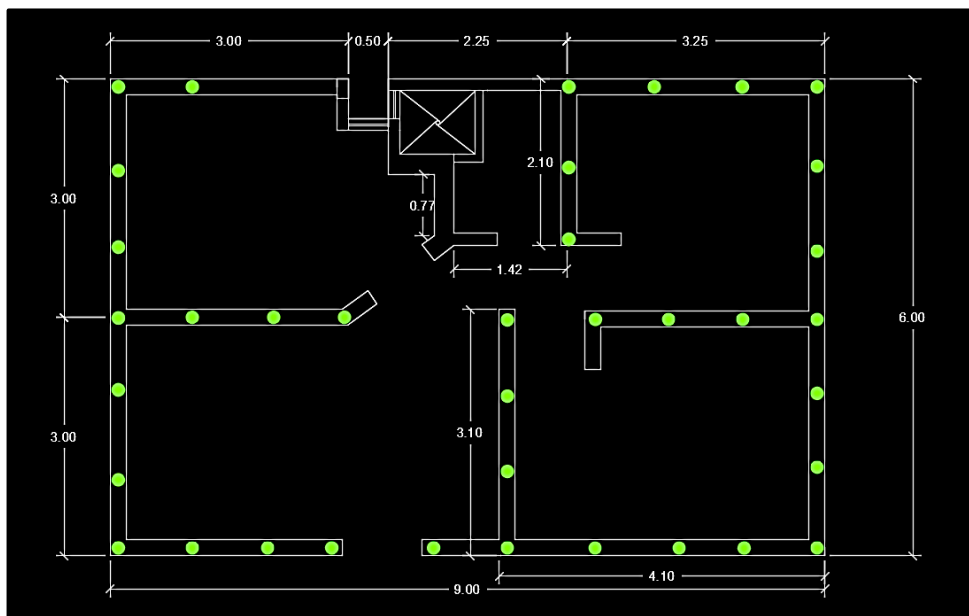


Fig. 39. Plano de la vivienda B a nivel de mitad de muros. Los puntos verdes indican la ubicación de las columnas de pie.

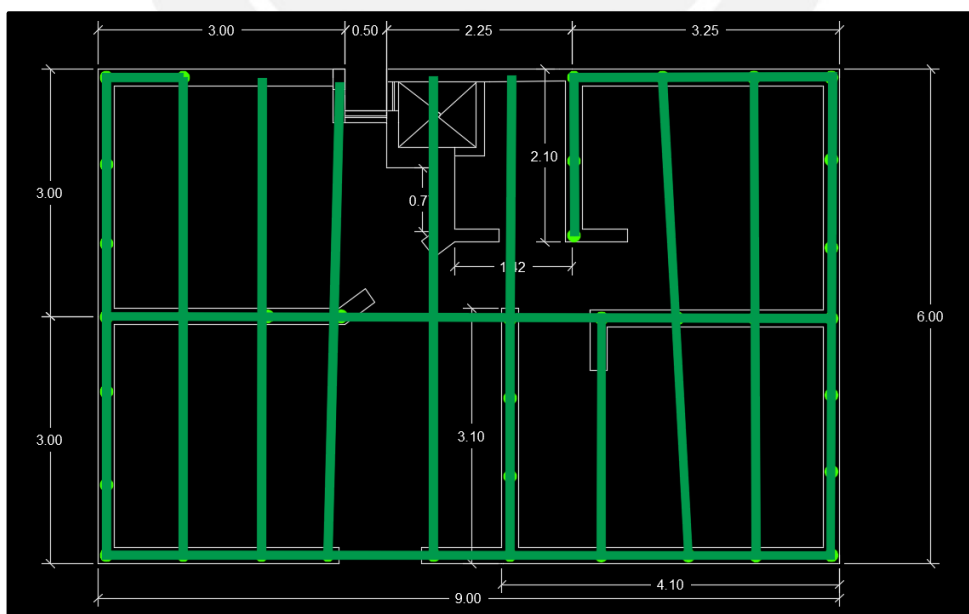


Fig. 40. Plano de la vivienda B a nivel de techos. Se indica la ubicación de las viguetas de bambú sobre las que se soportará el techo de drywall y policarbonato.

Aspecto arquitectónico y de instalaciones.

VIVIENDA A. Considerando el sistema tradicional de construcción que se emplea en nuestro país se van a considerar para los muros de ladrillo un tarrajeo con mortero mezcla C:A 1:4, y de la misma manera los derrames. Para el contrapiso y poyos para clósets se empleará la misma mezcla de mortero. Solo quedaría pendiente colocar la cubierta de ladrillo pastelero en el techo. Con esta partida ya tenemos el **casco vestido** terminado.

Las redes de instalaciones tanto eléctricas como sanitarias serán las comunes que se usan para cualquier vivienda corriente. Las redes irán empotradas en los muros de albañilería y luego resanadas con mortero.

Respecto a los acabados de arquitectura se proyectan muros pintados con una capa de blanqueado, y dos capas de pintura, sin empaste. Las ventanas y puertas serán de gama baja. Se colocarán placas eléctricas y sockets comunes para los puntos de tomacorrientes e iluminación. Por su parte se emplearán aparatos sanitarios nacionales y económicos para el baño y un lavadero para la cocina.

VIVIENDA B. Una vez que se tengan los muros terminados se pueden tarrajar con mortero mezcla C:A 1:4 por el lado exterior.

Para las instalaciones eléctricas se usarán tubos de PVC corrugado de $\frac{1}{2}$ " que se unirán a los muros y techos por medio de abrazaderas metálicas, los cuales se muestran en la figura 41. Las placas eléctricas y sockets para iluminación se pueden adosar a los muros y techos como en cualquier vivienda.



Fig 41. Tubo de PVC corrugado de $\frac{1}{2}$ " que se puede emplear adosado a los muros y servir de canal para las instalaciones eléctricas. *FUENTE: SODIMAC (2018).*

No obstante, dado que las instalaciones sanitarias no se pueden empotrar ni colocar cerca de las cañas para evitar la pudrición, se proyectan muros de albañilería comunes en los núcleos sanitarios de la cocina y baño donde se empotrarán estas redes.

Respecto a los acabados de arquitectura se proyectan muros pintados exteriormente con una capa de blanqueado, y dos capas de pintura, sin empaste. Las ventanas y puertas serán de gama baja. Se colocarán placas eléctricas y sockets comunes para los puntos de tomacorrientes e iluminación, que irán adosados a los muros como se muestra en la fig. 42. Por su parte se emplearán aparatos sanitarios nacionales y económicos para el baño y un lavadero para la cocina.



Fig. 42. Instalación de puntos de iluminación en el cielorraso de una vivienda, adosados al techo de drywall y a las cañas de las vigas.

5. Metrado y Presupuesto de las Viviendas

Ya se han definido los materiales y el diseño para ambas viviendas. El siguiente paso previo al análisis de rentabilidad de las mismas será el cálculo del costo de cada una para proceder a comparar su respectivo presupuesto. Para obras provisionales y temporales como la movilización y desmovilización de equipos, puntos provisionales de agua y electricidad, baños provisionales, eliminación y acarreo de basura se definirá un global o costo por día comparándose con obras de otros proyectos con sus respectivas excepciones. No se considerarán partidas como cerco perimétrico, caseta de guardianía, almacén, o cartel de obra pues éstas dependen en gran parte del contexto donde se desarrollaría la construcción, y niveles y alcances deseados del constructor.

5.1 Metrado de las partidas

Se consideran primero las partidas correspondientes a **obras preliminares**, que involucran topografía, limpieza y servicios. Algunas partidas como trazo durante el proceso, limpieza permanente en obra, o la provisión de los servicios de agua, energía eléctrica y baños provisionales se miden por unidades de tiempo, por lo que será primero definir un cronograma antes de metrar estas partidas.

La primera familia de partidas queda pre-definida. Siguen a continuación las partidas de **estructuras y arquitectura**, las cuales se obtienen por simples cálculos por área y volumen de material a trabajar, así como peso para las partidas de acero. El metrado de la vivienda A se indica en los **anexos 1. Metrado de partidas, 2.1. Presupuesto de vivienda A y 2.2. Presupuesto de vivienda B.**

Para el metrado de instalaciones eléctricas y sanitarias se realizó una proyección por ratio de las partidas típicas en un proyecto común, además de consultarse con un ingeniero especialista en el rubro. Según lo indicado en la tabla 5 se han tenido las siguientes consideraciones básicas:

- Dos válvulas para la red de agua fría: una para el baño y otra para la cocina.
- Cuatro salidas de agua fría: para el lavadero de cocina, lavatorio de baño, inodoro y ducha.

- Una válvula y salida de agua caliente: para la ducha del baño.
- Cuatro salidas de desagüe: una de 4" para el inodoro, y tres salidas de 2" para el lavadero, el lavatorio y la ducha.
- Un sumidero de bronce para el baño, y dos registros roscados de bronce, uno para la cocina y otro para el baño.
- Una caja de registro prefabricada de concreto.
- Los aparatos sanitarios serán nacionales y de gama baja.

Tabla 6

Metrado de instalaciones sanitarias.

INSTALACIONES SANITARIAS			
4.1	Red de Agua Fría		
4.1.1	Tubería PPR Agua 3/4"	ml	12,2
4.1.2	Valvula Compuerta de Bronce 3/4"	und	2
4.1.3	Tubería PVC Agua 1/2"	ml	1,86
4.1.4	Salida de Agua Fría SAP 1/2"	pto	4
4.2	Red Agua Caliente		
4.2.1	Tubería Agua Caliente PPR 3/4"	ml	3,87
4.2.2	Salida Agua Caliente PPR 3/4"	pto	1
4.2.3	Valvula Compuerta de bronce 3/4"	und	1
4.3	Sistema de Desague		
4.3.1	Tubería PVC para desague 4"	ml	5,4
4.3.2	Tubería PVC para desague 3"	ml	1,3
4.3.3	Tubería PVC para desague 2"	ml	2,8
4.3.4	Salida desague 4"	pto	1
4.3.5	Salida desague 2"	pto	3
4.3.6	Sumidero de bronce 3"	und	1
4.3.7	Registro roscado de bronce 2"	und	2
4.3.8	Caja de concreto prefabricado para desague 12x24	und	1
4.4	Aparatos Sanitarios y griferías		
4.4.1	Inodoro Nacional	und	1
4.4.2	Lavatorio Nacional Blanco	und	1
4.4.3	Lavadero de cocina	und	1
4.4.4	Grifería de baño	und	1
4.4.5	Grifería de ducha con mezcladora	und	1
4.4.6	Grifería para lavadero	und	1
4.5	Conexiones Domiciliarias		
4.5.1	Empalme Red de Desague	glb	1
4.5.2	Conexión domiciliaria de agua	glb	1

De la misma manera, para las instalaciones eléctricas se tomaron las siguientes consideraciones, las cuales aparecen expuestas en la tabla. 6:

- Cinco salidas de centros de luz: una por cada ambiente.
- Cinco salidas para cajas de pase en pared: una por cada ambiente en las que irán los pulsadores.
- 12 tomacorrientes en total: tres en la sala-comedor, dos en la cocina, tres en el dormitorio 1, y dos en el dormitorio 2.
- Una salida de fuerza trifásica en la cocina.
- Una salida para teléfono y una salida para TV.

Tabla 7

Metrado de las partidas básicas de instalaciones eléctricas.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS			
5.1	Salidas de iluminación		
5.1.1	Salida Centro de luz (entubado)	pto	5
5.1.2	Salida Centro de luz (cableado)	pto	5
5.1.3	Salida para Caja de paso en pared (entubado)	pto	5
5.1.4	Salida para Caja de paso en pared (cableado)	pto	5
5.2	Salidas de tomacorrientes		
5.2.1	Salida para tomacorriente (entubado)	pto	12
5.2.2	Salida para tomacorriente (cableado)	pto	12
5.3	Salidas de fuerza		
5.3.1	Salida de cocina trifásica (entubado)	pto	1
5.3.2	Salida de cocina trifásica (cableado)	pto	1
5.4	Salidas para comunicaciones		
5.4.1	Salida para teléfono (entubado y placa)	pto	1
5.4.2	Salida para TV y cable (entubado)	pto	1
5.5	Tendido de tuberías PVC-P		
5.5.1	Tubería F 25 mm PVC-P	ml	8,82
5.5.2	Tubería F 20 mm PVC-P	ml	8,9
5.5.3	Tubería F 50 mm PVC-P	ml	15,63
5.6	Alambres y Cables Eléctricos		
5.6.1	Cable 1 x 4 mm ² LSOH	ml	23
5.6.2	Cable 1 x 10 mm ² LSOH	ml	44,6
5.6.3	Cable 1 x 25 mm ² LSOH	ml	21,93
5.7	Interruptores y tomacorrientes		
5.7.1	Interruptor unipolar simple	und	5
5.7.2	Tomacorriente simple	und	12

A su vez, se considerarán las siguientes partidas, que aparecen en la fig. 7:

- Dos cajas de pase adicionales para un ambiente sala-comedor de aproximadamente 15 m².

- Un tablero de distribución de seis polos (uno por ambiente y otro auxiliar).
- Instalación de cinco sockets, uno por ambiente, con su respectivo foco ahorrador.
- Un pozo a tierra.

Tabla 8

Metrado de partidas de instalaciones eléctricas más especializadas.

5.7	Interruptores y tomacorrientes			
5.7.1	Interruptor unipolar simple	und		5
5.7.2	Tomacorriente simple	und		12
5.8	Cajas de pase			
5.8.1	Caja de paso FG 150x150x100 mm	und		2
5.9	Tableros de distribución			
5.9.1	Tablero de distribución 6 polos	und		1
5.10	Accesorios eléctricos			
5.10.1	Instalación de socket con foco ahorrador	und		5
5.11	Pozo a tierra			
5.11.1	Pozo a tierra	glb		1
5.12	Conexiones domiciliarias			
5.12.1	Conexión a red existente	glb		1

Una vez armado el cuadro de metrados queda pendiente definir un cronograma estimado para cada vivienda considerando los rendimientos actuales. Para la vivienda A se han considerado entre tres y cuatro días después de los vaciados de columnas y techo para que el concreto alcance una resistencia adecuada antes de su desencofrado y/o iniciar el vaciado de la siguiente etapa. De la misma manera para los trabajos de tarrajeo para que el mortero logre disminuir el suficiente porcentaje de humedad para las partidas de pintura. Los cronogramas se pueden observar en el **anexo 3. Look-ahead para las viviendas.**

Bajo estos conceptos el cronograma de la vivienda A es de **8 semanas**, mientras que el de la vivienda B es de **6 semanas**. Las partidas de provisión de servicios durante la obra, medidos por unidades de tiempo tienen su metrado definido. El siguiente paso será definir los costos de las partidas.

5.2 Costos y Presupuestos

Al mismo tiempo que el metrado de las partidas se debe definir el costo directo de las mismas. Para ello se han tomado como base los que figuran en la “Tabla de Precios Unitarios Directos” del “**Constructivo Construcción e Industria**” de la Cámara Peruana de la Construcción, a los cuales se les aplicó un prorratio tomando como referencia los precios unitarios de los presupuestos de algunas obras del distrito de Santiago de Surco. (CAPECO, 2016)

Es importante recalcar que se verificó que los insumos que se emplearon para calcular los precios unitarios no fueran de una gama alta o muy alta en cuanto a estética, pues el tipo de vivienda no está propiamente enfocado a un sector económico alto.

Para algunas partidas de arquitectura se crearon análisis de precios unitarios propios pues partidas de puertas, muebles y ventanas cuentan con sus propios insumos y materiales en cada construcción, es decir, no corresponden siempre a trabajos estándar. Los análisis de precios unitarios trabajados figuran en el **anexo 4. Análisis de precios unitarios** y se muestran algunos a continuación en la tabla 8.

Tabla 9

Análisis de precios unitarios (APUs) para subcontratos de puertas.

Partida Puerta Principal Imperial Dimfer (0,85 x 2,10m)						
Rendimiento	1,00 und	Costo Unitario Directo			548,24	
Descripción o Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
Materiales						
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
Mano de Obra						
Capataz	HH	0,05	0,400	24,86		9,94
						0,00
						0,00
						9,94
Equipos y Subcontratos						
SC Puerta Principal Imperial Dimfer 0,85 x 2,10m					1	538
Herramientas Manuales	%MO	0,03			9,94	0,30
						538,30

Partida Puerta Interior Dimfer Capital (0,85 x 2,10m)						
Rendimiento	1,00 und	Costo Unitario Directo			223,24	
Descripción o Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
Materiales						
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
						0,00
Mano de Obra						
Capataz	HH	0,05	0,400	24,86		9,94
						0,00
						0,00
						9,94
Equipos y Subcontratos						
SC Puerta Principal Imperial Dimfer 0,85 x 2,10m					1	213
Herramientas Manuales	%MO	0,03			9,94	0,30
						213,30

De la misma manera, y como aporte propio para esta tesis se desarrollaron los respectivos APUs para las partidas de estructuras de bambú, las cuales figuran en el anexo 2.1, de los cuales se muestran algunos en la tabla 9. El costo de la caña de bambú de

medida comercial (6 metros) debidamente tratada, proveída por la zona productora de La Florida, Cajamarca, es de S/. 38.98 (sin IGV y costo en Lima), y se usará como insumo.

Tabla 10

Muestra de los análisis de precios unitarios desarrollados para partidas de estructura de bambú: columnas de pie y muros.

Partida Columna de Bambú de Pie 2.4 m						
Rendimiento	5,50 und		Costo Unitario Directo			87,35
Descripción o Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
Materiales						
Caña de Bambú 6m	und		0,450	38,98	17,54	
Mortero Tromix (1:4) IE 110 - 40 kgs	bolsa		0,133	7,17	0,96	
Varilla Roscada Acero 9"	und		0,400	16,94	6,78	
Tuerca y Arandela	und		1,000	1,88	1,88	
					0,00	
					27,15	
Mano de Obra						
Oficial	HH	1	1,455	16,07	23,37	
Operario	HH	1	1,455	20,72	30,14	
Capataz	HH	0,1	0,145	24,86	3,62	
					57,13	
Equipos y Subcontratos						
Taladro Percutor Bosch GSB 20-2RE MP 80 equipo				0,005	271,19	1,36
Herramientas Manuales	%MO			0,03	57,13	1,71
					3,07	

Partida Muros de Bambú (Caña Chancada) inc Malla						
Rendimiento	8,00 m2		Costo Unitario Directo			81,68
Descripción o Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
Materiales						
Caña de Bambú 6m	und		0,950	38,98	37,03	
Tornillo Spax 5x60	pza		10,000	0,07	0,70	
Alambre #16	kg		0,150	2,76	0,41	
Malla	metro		1,050	4,27	4,48	
					0,00	
					42,63	
Mano de Obra						
Peon	HH	1	1,000	14,46	14,46	
Operario	HH	1	1,000	20,72	20,72	
Capataz	HH	0,1	0,100	24,86	2,49	
					37,67	
Equipos y Subcontratos						
Machete de mango de plástico	herramienta			0,02	12,62	0,25
Herramientas Manuales	%MO			0,03	37,67	1,13
					1,38	

Una observación importante para el costo de las instalaciones eléctricas es que para la vivienda B, el entubado no estará empotrado en los muros y techos de la estructura, sino adosado a los mismos por medio de abrazaderas metálicas y tornillos. Luego de realizar los APU's correspondientes (tabla 10) se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Las partidas para la vivienda A son más caras en un promedio de 5%.
- Este incremento se debe al uso de los tubos SAP (más caros que los tubos corrugados de PVC de la misma medida), la amoladora para empotrar los tubos en los muros y las conexiones; y si bien las partidas para la vivienda B requieren de taladro para los tornillos y las abrazaderas, este costo no llega a ser tan alto como los tubos SAP y el uso de amoladora.
- Si bien, no entran en la partida, la vivienda B genera menos desperdicio pues no requiere eliminar los restos de muros de albañilería, ni tampoco requiere trabajos de resane de los tubos.
- En resumen, para la vivienda B **los costos unitarios de las partidas de entubado se reducirán un 5%.**

6. Análisis de Costos

Finalizado el metrado y los costos de las partidas se obtuvieron los costos directos para ambos presupuestos, los cuales figuran en los **anexos 2.1 Presupuesto de vivienda A** y **2.2 Presupuesto de vivienda B**. De estos resultados, se puede obtener un índice de ahorro en cada partida o familia de partidas entre una vivienda de materiales tradicionales, y una vivienda de bambú. Este índice de ahorro se obtiene bajo la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de ahorro (\%)} = \left(\frac{\text{Costo para la vivienda A}}{\text{Costo para la vivienda B}} - 1 \right) \times 100$$

Por ende, el índice de ahorro es el porcentaje de ahorro monetario al emplear el bambú como material de construcción en lugar de materiales tradicionales. La comparación para ambas viviendas se aprecia en la tabla 11.

Tabla 12

Comparación de ahorro entre la vivienda A y vivienda B.

PARTIDAS	VIVIENDA A	VIVIENDA B	¿El bambú conlleva menor costo?	Ahorro
1. Obras preliminares	5.231,49	4.556,49	SÍ	14,8%
2. Estructuras	38.767,91	26.722,38	SÍ	45,1%
2.1 Movimiento de tierras	1.470,73	351,79	SÍ	318,1%
2.2 Estructura aporcada	30.793,22	18.927,91	SÍ	62,7%
2.3 Muros	6.503,96	7.442,68	NO	-12,6%
3. Arquitectura	22.147,93	15.571,35	SÍ	42,2%
3.1 Partidas de albañilería (*)	16.264,83	7.817,33	SÍ	108,1%
3.2 Partidas de acabados (**)	5.883,09	7.754,02	NO	-24,1%
4. Instalaciones	8.996,18	8.919,51	Sí, pero es mínimo	0,9%
TOTAL	75.143,51	55.769,73	SÍ	34,7%

(*) Las partidas de arquitectura que se incluyen en este grupo son aquellas ejecutadas por un albañil, es decir, conllevan proceso de mezcla de mortero. Usualmente se le llama "arquitectura húmeda".

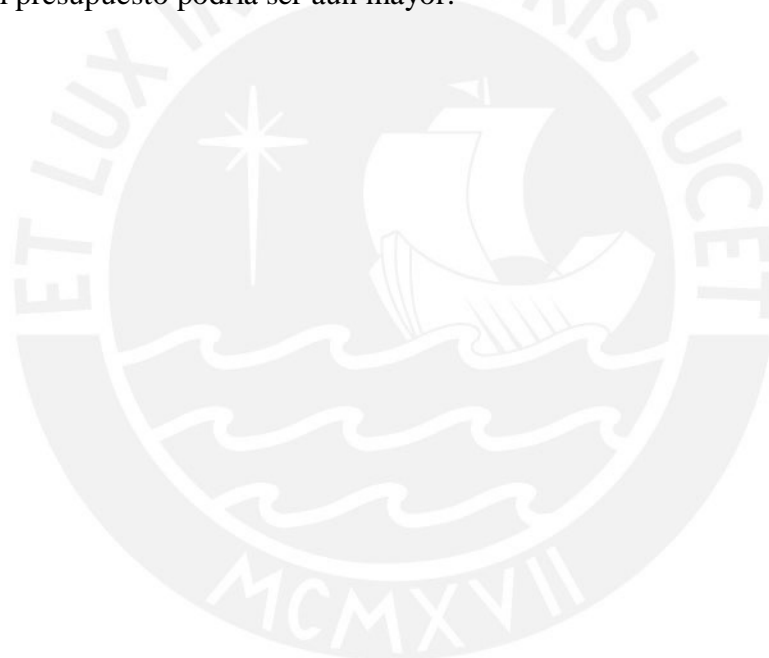
(**) Las partidas de arquitectura que se incluyen en este grupo son aquellas ejecutadas usualmente por mano de obra más especializada, como enchapes, carpintería, vidrios, etc. Usualmente se le llama "arquitectura seca".

Observaciones:

- Las partidas de muros conllevan mayor costo por que a nivel global, la partida de muros de bambú es más costosa por m² que los muros de soga de ladrillos de arcilla, sin embargo, ligeramente menor a los muros de cabeza.
- La familia de Acabados conlleva mayor costo, aunque solo por unos S/. 1,900 debido al techo de policarbonato, cuya partida equivale a unos S/. 3,100.
- Las partidas de estructuras a nivel global presentan una mayor rentabilidad, siendo mayor en las partidas de movimiento de tierras pues para el vaciado de la losa de cimentación no se requiere excavar a un nivel de profundidad tan alto.
- Debido a que el mismo muro de caña chancada de bambú presenta un acabado rústico arquitectónicamente aceptable, no es necesario realizar el tarrajeo en las caras

inversas de los muros (lado por el que se muestran las columnas), y por ende, tampoco requiere de trabajos de pintura. Por este motivo, la familia de partidas de albañilería (o arquitectura húmeda) en la vivienda B es incluso menor a la mitad que el de la vivienda A.

- Las partidas de instalaciones reducen su monto, pero por un mínimo porcentaje. El hecho de que las instalaciones eléctricas vayan adosadas, lo cual disminuye el costo del entubado en un 5%, no genera un ahorro significativo.
- Según el look-ahead, la vivienda A toma un 33% más de tiempo para construirse que la vivienda B, lo cual generaría gastos generales mayores (pagos a ingeniero, maestro de obra, gastos de oficina de obra, almacenero, etc.), los cuales no se han considerado en este análisis. Por lo tanto, a un nivel más global, el ahorro del monto total del presupuesto podría ser aún mayor.



7. Conclusiones

7.1 Análisis Técnico Económico

Rentabilidad.

Para la construcción de una vivienda simple de un piso el bambú presenta ser un material estructural un 35% más rentable que los materiales tradicionales, como los ladrillos de arcilla, el concreto y el acero, obteniéndose una mayor rentabilidad parcial en las partidas de estructuras y arquitectura, de aproximadamente 43%. Este índice de ahorro puede ser incluso mayor si se consideran los gastos generales, pues **la construcción de una vivienda de bambú es un 33% más rápida que una vivienda de material tradicional.**

Aspectos estructurales.

Al ser un material de bajo peso, **durante un movimiento sísmico** (típico en la costa peruana) **se tendría un menor peligro que las construcciones de adobe o albañilería**, pues estas al ser de mayor masa generan mayores fuerzas a la estructura. Por tanto, junto a la capacidad de tracción del bambú, las viviendas de bambú serían una opción más aceptable en cuanto a la seguridad de sus ocupantes, además de contribuir a que, si ocurre algún daño, las partes afectadas pueden ser fácilmente reparables, generando así menores desperdicios y menores gastos.

Proceso Constructivo.

El manejo del bambú para acondicionarlo como material de construcción no es una tarea muy compleja ni requiere de personal con alta calificación en cuanto a fabricación y manejo de materiales de construcción, ni tampoco requiere de grandes y complicadas maquinarias y equipos para tratarse. Si bien en la preparación de las soluciones con químicos se debe requerir de personal con conocimientos de los mismos, su proceso no supone una demanda de un laboratorio o equipos especiales.

7.2 Conclusiones Adicionales

Medio ambiente.

A diferencia de las materias primas de otros materiales nobles, como el cemento, el acero o los ladrillos, **el bambú no requiere complejos sistemas de extracción y transporte, ni tampoco produce un alto impacto al medio ambiente durante su fase de acondicionamiento**, pues en la mayoría de los casos no se necesitan procesos de combustión o emisión de químicos dañinos al medio ambiente. Usualmente los residuos son meramente orgánicos.

Además, el bambú desde que se siembra hasta que puede ser cortado para emplearse como material de construcción estructural **solo requiere de entre tres a cuatro años, lo que lo convierte en un material de renovación rápida** comparándolo con materiales como la madera. La mayoría de sistemas de certificación sostenible, como la “Leadership in Energy & Environmental Design” (LEED) han indicado los beneficios de utilizar productos derivados de “materiales de rápida renovación” en construcciones. Según LEED para que un material sea de renovación rápida, éste debe poder renovarse en 10 años o menos. *FUENTE: LEED (2009).*

Aspecto social.

Proponer un sistema de viviendas que usen el bambú como un material alternativo en su estructura principal, no solo proporcionaría viviendas más accesibles a los sectores peruanos más vulnerables que buscan satisfacer la necesidad de tener un sitio donde vivir, sino que además ayudaría a mitigar la pobreza directamente por el requerimiento de mano de obra y personal en todas sus etapas.

Futura línea de investigación.

La presente tesis propone el bambú como un material más rentable para la construcción de viviendas de un piso. A partir de este punto se abren diversas líneas de investigación que busquen mejorar la calidad y eficiencia de los procesos, así como la provisión de material. Esto puede conllevar a la creación de un posible “tren de obra” de varias viviendas, y poder compararlo con uno de viviendas de material tradicional.

8. Referencias Bibliográficas

Atauje, M. (1986) *Adherencia Bambú Concreto*. Lima, Perú: Tesis presentada en la PUCP para la obtención del grado de Ingeniero Civil.

Bambusa, Importaciones y Proyectos, especialistas en bambú. (2014). [en línea]. Disponible 12 de agosto del 2015, de <https://bambusa.es/>

Bejarano, R. (2002). *Metodología para la Construcción de Vivienda utilizando como Material Principal el Bambú*. México DF, México: Fondo CONAFOVI.

CAPECO (2016, septiembre). *Construcción e Industria*. Edición septiembre 2016. Lima, Perú.

Chiroque. ONG ecuatoriana promociona construcción de casas de bambú para Piura. (2013, 3 de agosto) *La República*. Piura.

Cruz Ríos, H. (2009) *Bambú Guadua, bosques naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en México*. Pereira, México: Editorial Colmex.

INEI: Pobreza se reduce a 25.8% en Perú y 509 mil personas dejaron de ser pobres en 2012, (2013, 8 de mayo) *Diario Gestión, Sección Economía*. Lima.

Guzmán N., Eliseo (1989) *Sistemas Alternativos de Construcción*. Manual. Lima, Perú: Editorial Medio de Construcción.

Hidalgo, Oscar (1974) *Bambú: Cultivos y Aplicaciones en Fabricación de Papel, Construcción y Arquitectura*. Bogotá, Colombia: Estudios Técnicos Colombianos.

Hidalgo, Oscar (1981) *Manual de Construcción con Bambú Guadua*. Bogotá, Colombia: CIBAM.

INEI (2018, 24 de abril). *Nota de Prensa: POBREZA MONETARIA AFECTÓ AL 21,7% DE LA POBLACIÓN DEL PAÍS DURANTE EL 2017* [en línea]. Disponible en <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/pobreza-monetaria-afecto-al-217-de-la-poblacion-del-pais-durante-el-ano-2017-10711/>

Janssen, J (1995) *Building with Bamboo* (2da edición) Londres, Reino Unido: Intermediate Technology Publications.

LEED (2009) *Green Building Design and Construction* (Edición 2009) Washington, USA: US Green Building Council.

Londoño (2003) *Recurso Sostenible*. Bogotá, Colombia: s/e.

McClure, F.A. (1956) *El Bambú como Material de Construcción*. Bogotá, Colombia: CINVA.

Ministerio de Agricultura (2010). *Bambú: Biología, Cultivo, Manejo y Usos en el Perú*. 3era edición. Lima, Perú: s/e.

Minke, G. (2012) *Building with Bamboo*. Basel, Suiza: Editorial Birkhauser.

Morales, F. (2003) *Manual de Plantas de Costa Rica. Vol. 3*. San José, Costa Rica: Fondo editorial del INB.

Morán, J. (2015) *Construir con Bambú (Caña de Guayaquil) - Manual de Construcción*. 2da edición. Lima, Perú: INBAR.

Orosco, Dina (2009) *El Bambú como Material Alternativo en la Construcción Arquitectónica*. Mérida, Colombia: Trabajo especial de grado presentado en la Universidad de los Andes para optar al título profesional de Arquitecto.

PROGRESO, 2015. *En Piura inician construcción de viviendas de bambú* [en línea]. 02 de octubre del 2016. Disponible en la web: <http://www.progreso.org.pe/index.php/noticias-progreso/226-en-piura-inician-construccion-de-viviendas-de-bambu>

Radcyberzine, (2005). *Subfamily "Bambusidae"* [en línea]. 05 de mayo del 2013. Disponible en http://www.radcyberzine.com/xglobe/caida_bw_200.jpg

Riaño, N. (2002) Plant Growth and biomass distribution on *Gudua angustifolia* Kunth. *Journal of the American Bamboo Society*. Vol 16, No. 1, pp. 43-51.

Rojas, Rafael (2003). *Preservación de la Guadua*. Cali, Colombia: Universidad San Buenaventura.

Sabogal, A. (1979). *Apuntes sobre aprovechamiento y manejo de la guadua en el departamento del Quindío*. Quindío, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Quindío.

Sangroniz, J. (2012, 19 de agosto). El Arquitecto Simón Vélez y el Bambú. *Revista Apuntes de Arquitectura*, N° 42. [en línea]. Disponible 23 de noviembre del 2019 de <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2012/08/>

SENCICO (2009) *Norma Técnica A.010 Condiciones Generales de Diseño*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

SENCICO (2012) *Norma Técnica E.100 Bambú*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

SENCICO (2014). *Manual de Construcción de Estructuras con Bambú*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Sotela, Jaime (1992) El bambú: una alternativa de uso en construcción de vivienda. *Ingeniería, revista de la Universidad de Costa Rica*. Vol 2, No. 1.

Stamm, J. (2009). *Siete conceptos para hacer un puente de bambú* [en línea]. Disponible 25 de noviembre de 2019 en https://www.academia.edu/6885668/Siete_Conceptos_para_hacer_un_Puente_en_Bamb%C3%BA

Stevens, A. (2011). *Green School sustains pupil's interest* [en línea]. Disponible 19 de Julio del 2015 en <http://edition.cnn.com/2011/WORLD/asiapcf/07/18/greenschool.bali/index>

Stulz, R. (1993) *Construyendo con Materiales de Bajo Costo*. Valparaíso, Chile: Editorial CETAL.

Veda, T. (2009). *A Hardy School, A Green Future* [en línea]. Disponible 14 de Junio del 2015 en <http://www.thejakartaglobe.com/archive/a-hardy-school-a-green-future/312045/>

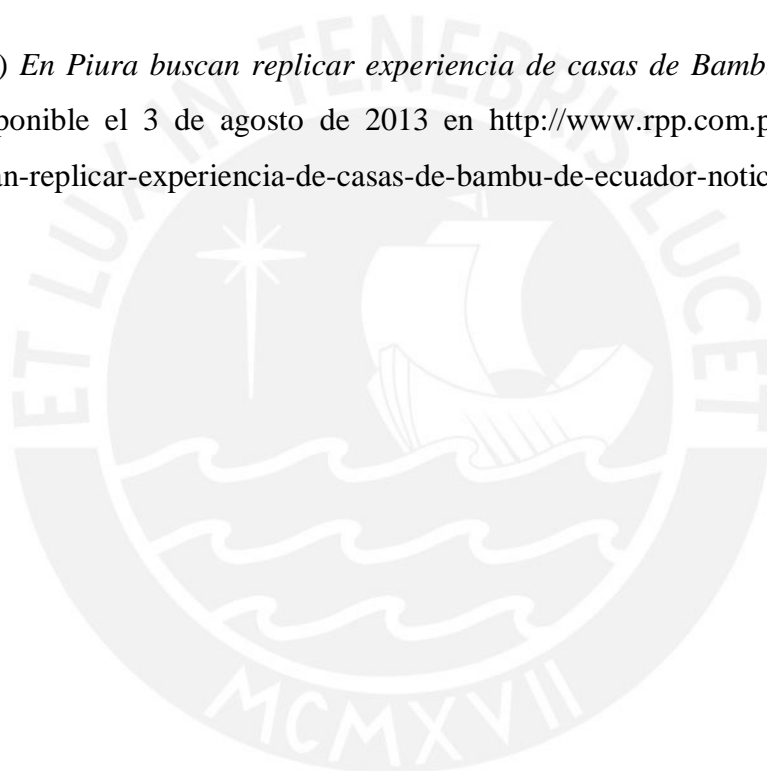
Vélez, S. (2002). *Grow Your Own House*. 1era edición. Bogotá, Colombia: Editorial Vitra Design.

Referencias Adicionales

BAMBÚ TICO, 2013. *Cañas y Construcciones en Bambú*. [en línea]. Empresa dedicada a la industria de la construcción con bambú. Disponible en la web <http://www.bamboocostarica.com/Construccion.html>

Cárdenas, C. (2010). *El Bambú para Viviendas Populares de Ecuador*. [en línea]. Disponible en la web: <http://www.mimbrea.com/tendencias/el-bambu-para-viviendas-populares-de-ecuador>

RPP (2013) *En Piura buscan replicar experiencia de casas de Bambú en Ecuador* [en línea]. Disponible el 3 de agosto de 2013 en http://www.rpp.com.pe/2013-08-02-en-piura-buscan-replicar-experiencia-de-casas-de-bambu-de-ecuador-noticia_618718.html



ANEXOS.

