

Artículo Científico

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE BAMBÚ BASADA EN EL DOMO GEODÉSICO DE FULLER APLICACIÓN A VIVIENDAS ECONÓMICAS EN BOLIVIA

BAMBOO'S STRUCTURE ANALYSIS AND DESIGN BASED ON FULLER GEODESIC DOME APPLICATION ON AFFORDABLE HOUSING IN BOLIVIA

Univ. Nils Fernando Flores Gutiérrez 1
Ing. Gastón Claire Gantier 2

RESUMEN

Los domos geodésicos son una respuesta a la división geométrica de la esfera, con el fin de lograr el mayor número de piezas iguales en su construcción y una malla que distribuya uniformemente los esfuerzos. Se trata de una estructura esférica compuesta de una red de triángulos, que se componen de barras rectas de longitudes próximas. Esta geometría se caracteriza por su eficiencia, tanto estructural como en el uso de recursos para su construcción.

El bambú es una especie vegetal que crece en diversas regiones del mundo. Actualmente se conocen más de 1.250 especies, por lo que se encuentran en diversos tamaños (alturas) y diámetros, ampliando su posibilidad de uso en sectores diversos. Su rápido crecimiento es una característica distintiva que favorece su renovación y reproducción. La flexibilidad y resistencia de los bambúes son dos propiedades que hacen posible su uso como material de construcción. La resistencia que posee ha hecho que se le compare con el acero, razón por la cual se lo denomina el "acero vegetal".

A través de una propuesta de vivienda económica, se planteó al domo geodésico de R. B. Fuller como sistema estructural y al bambú como elemento constructivo. El trabajo comprende el análisis de la estructura geodésica, diseño de elementos de bambú y una evaluación de costos.

Palabras clave: Diseño. Estructuras arquitectónicas. Estructuras de bambú. Esfera geodésica de Buckminster Fuller.

ABSTRACT

Geodetic domes are a response to the geometric division of the sphere, in order to achieve the greatest number of equal parts in its construction and a mesh that evenly distributes the efforts. It is a spherical structure composed of a network of triangles, which are composed of straight bars of close lengths. This geometry is characterized by its efficiency, both structural and in the use of resources for its construction.

Bamboo is a plant species that grows in different regions of the world. Currently more than 1.250 species are known, so they are found in various sizes (heights) and diameters, expanding their possibility of use in various sectors. Its rapid growth is a distinctive feature that favors its renewal and reproduction. The flexibility and strength of the bamboo are two properties that make possible its use as a construction material. The resistance it has made has been compared to steel, which is why it is called "vegetable steel".

Through a proposal of economic housing, the geodetic dome of R. B. Fuller was proposed as a structural system and bamboo as a constructive element. The work includes the analysis of the geodetic structure, design of bamboo elements and a cost evaluation.

Keywords: Design. Architectural Structures. Bamboo Structures. Buckminster Fuller Geodesic Sphere.

Páginas 46 a 56

Fecha de Recepción: 22/11/16

Fecha de Aprobación: 08/12/16

1. Estudiante de Ingeniería Civil. Univalle Cochabamba. nilsfj.civ@gmail.com.

2. Ingeniero Civil. Tutor de proyectos y docente. Univalle Cochabamba. gaston.gantier@univalle.edu.bo
clairegan@hotmail.com

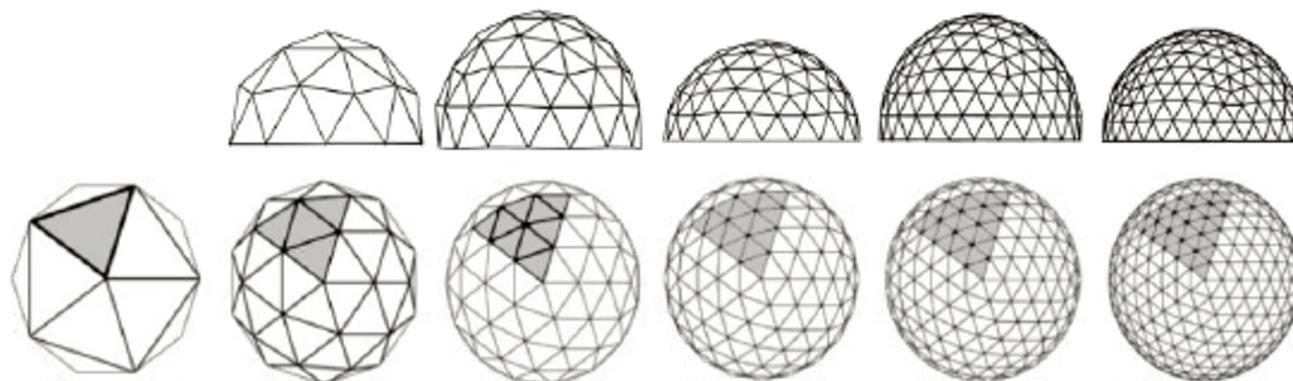
INTRODUCCIÓN

El domo de Fuller

El diseñador y científico estadounidense Richard Buckminster Fuller pasó dos décadas enfocado en formas de mejorar la crisis mundial de la vivienda y estudiando los problemas de la construcción convencional existente; buscó como generar estructuras mediante lo que él llamó eficiencia de materiales.

Como resultado de sus investigaciones, en la década de 1940 desarrolló, el domo geodésico, una estructura esférica compuesta de una red de triángulos. Esta configuración permite una división geométrica óptima de la esfera, logrando un número mayor de piezas iguales en su construcción y una malla que distribuya uniformemente los esfuerzos (1).

Figura N° 1. Domos geodésicos de R. B. Fuller



Fuente: (1).

Bolivia y el bambú

Se estima que la *Guadua chacoensis*, junto con la *Guadua angustifolia*, son las especies más comunes de bambú en Bolivia. Estas especies son nativas de Sud América y crecen en grandes cantidades (2).

La *Guadua chacoensis* crece en bosques tropicales, generalmente cerca de los ríos. En Bolivia se encuentra distribuida en áreas situadas a una altitud entre 260

y 400 metros sobre el nivel del mar, en provincias de Santa Cruz y Cochabamba. En Santa Cruz crece en áreas de Ichilo y Guarayos, y en Cochabamba en áreas de Carrasco.

Los culmos o cañas de esta especie pueden alcanzar los 20 metros de altura con diámetros de 7 a 12 centímetros y espesores de pared de 5 a 8 milímetros (2).

Figura N° 2. Corte transversal de un culmo seco de *Guadua chacoensis*



Fuente: (3).

Existen escasas investigaciones destinadas a caracterizar las especies de bambú que crecen en Bolivia dado el estatus y el uso que hoy en día tiene, todo regido por el desconocimiento de las capacidades estructurales de la planta.

El trabajo de investigación desarrollado por M. Lindholm y S. Palm (4) realiza el estudio de las propiedades mecánicas de la *Guadua chacoensis* con el fin de diversificar el uso del bambú en Bolivia. Realizaron en-

sayos de laboratorio para determinar el módulo de elasticidad, la resistencia a tensión, resistencia a flexión, y dureza de la planta.

Los resultados obtenidos son presentados en la Tabla N° 1 y Tabla N° 2. Como forma de comparación, se incluyen valores de las mismas propiedades mecánicas de grupos de maderas propuestos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, del aluminio y acero (5).

Tabla N° 1. Comparación del módulo de elasticidad y el esfuerzo admisible a tensión

Material	Módulo de Elasticidad	Resistencia a Tensión
	(kgf/cm ²)	paralela (kgf/cm ²)
Guadua chacoensis	111,850	940
Grupo A (Almendrillo, Quebracho, Roble)	130,000	145
Grupo B (Verdolago, Palo María, Laurel)	100,000	105
Grupo C (Gabón, Ochoó)	90,000	75
Aleaciones de aluminio	680,000 - 820,000	580 - 5,500
Acero	165,000 - 2'170,000	3,450 - 17,600

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Tabla N° 2. Comparación del esfuerzo admisible a flexión y dureza Brinell

Material	Resistencia a Flexión	Dureza Brinell
	(kgf/cm ²)	(HB)
Guadua chacoensis	250	1.85
Grupo A (Almendrillo, Quebracho, Roble)	210	4 - 8
Grupo B (Verdolago, Palo María, Laurel)	150	2 - 4
Grupo C (Gabón, Ochoó)	100	1 - 2
Aleaciones de aluminio	330 - 3,260	10 - 140
Acero	3,300 - 19,000	100 - 200

Fuente: Elaboración propia. 2015.

A través de los ensayos de laboratorio realizados concluyeron que la *Guadua chacoensis* es un material flexible y resistente comparable con maderas que se utilizan regularmente en la construcción (4).

La demanda de vivienda

Las ciudades en Bolivia han crecido exponencialmente en estos últimos años, como consecuencia de los asentamientos irregulares de los sectores empobrecidos que no tienen la oportunidad de acceder a la vivienda en condiciones formales. Una gran cantidad de nuevos barrios se encuentran en situación de po-

breza, sin siquiera acceso a los servicios básicos de agua, luz y alcantarillado. La marginalidad de estos sectores es un factor preocupante puesto que genera condiciones indignas de vida para sus habitantes.

Según el Viceministerio de Vivienda y Urbanismo (VMVU), el déficit cualitativo del país alcanzó a cerca de un millón de viviendas. El déficit cuantitativo está estimado en 200.000 viviendas, con un incremento de 30.000 unidades por año como resultado del crecimiento de nuevas familias que demandan de un lugar para vivir (6).

La construcción en el país se desarrolla, hoy en día, bajo sistemas tradicionales como hormigón armado y mampostería, lo que en la actualidad resulta costoso a consecuencia de los materiales, su disposición, mano de obra, y requiere un mayor tiempo de ejecución. Dada esta situación, nace la necesidad de desarrollar e implementar alternativas estructurales que permitan a todos los sectores de la población acceder a una vivienda.

La utilidad del presente trabajo está basada en el planteamiento una alternativa de vivienda de bajo costo y rápida implementación a través del análisis y diseño estructural de una geometría geodésica y el empleo de bambú como elemento constructivo.

La elección del domo geodésico como sistema estructural se dio por dos razones principales:

- El comportamiento estructural.
- Sus características constructivas.

La elección del bambú como elemento estructural se dio por tres razones:

- La existencia de especies nativas en Bolivia.
- Sus propiedades mecánicas y constructivas.
- La posibilidad de desarrollar industria en base a este material.

En el país no es apreciable este tipo de estructuras dada la predominancia de los sistemas porticados de hormigón armado, por lo que sería un proyecto innovador y su implementación definirá un nuevo entorno urbano con mejores prestaciones ambientales, económicas y sociales de sectores de bajos recursos y en la calidad de vida de sus ocupantes.

El trabajo se desarrolló bajo un nivel de investigación exploratorio con el fin de generar interés por el estudio de un sistema estructural basado en los principios del domo geodésico del R. B. Fuller, y el bambú, un material de construcción renovable y alternativo a través de su aplicación como elemento estructural.

Al final del trabajo se espera que:

- Las características del patrón geodésico desarrollado por R. B. Fuller permitan apreciar su naturaleza modular, lo que representa disminución en tiempos de fabricación y montaje.

- El análisis de la estructura permita verificar la eficiencia de la geometría geodésica de R. B. Fuller al distribuir de manera uniforme los esfuerzos ante cargas de distinta naturaleza.

- El diseño de los elementos de bambú muestre un correcto funcionamiento ante esfuerzos individuales y combinados.

- La evaluación de costos denote el carácter económico del empleo de este material aplicado al proyecto de vivienda propuesto.

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se establece los pasos seguidos en el proceso de desarrollo del trabajo.

Proyecto de vivienda

Para la definición de las cargas ambientales con las que interactuaría la estructura, primero se estableció una ubicación. Se escogió el municipio de La Paz, dada las características medioambientales a las que ésta es sometida.

Antes del análisis de la estructura se definió primero un proyecto arquitectónico. Éste está basado en el desarrollado por R. B. Fuller en la década de los 70. A partir de las dimensiones del proyecto arquitectónico, se definió la geometría del sistema estructural geodésico. Previa etapa concerniente al análisis y diseño de la estructura específicamente, se definió las características mecánicas de los elementos estructurales.

La *Guadua chacoensis* fue definida como especie de bambú a emplearse. Las propiedades mecánicas de esta especie fueron tomadas del trabajo de investigación desarrollado por M. Lindholm y S. Palm (3). Además, fueron definidas las propiedades de los elementos de cubierta, fundaciones y del suelo.

El análisis y diseño de las cargas actuantes sobre la estructura, según corresponde, se desarrolló con base a los lineamientos establecidos por la norma americana Cargas de Diseño Mínimas para Edificaciones y otras Estructuras (Minimum Design Loads for Building and Other Structures – ASCE/SEI 7-10) (7). Las cargas analizadas y/o diseñadas fueron: carga muerta, viva, de viento, de sismo, y de nieve.

De acuerdo al ASCE/SEI 7-10, las combinaciones de carga aplicables al método de Diseño por Esfuerzos Admisibles (Allowable Stress Design – ASD) fueron:

1. D
2. D + L
3. D + S
4. D + 0,75L + 0,75S
5. $\sqrt{D + (0,6W + 0,7E)}$
- 6a. D + 0,75L + 0,75 (0,6W) + 0,75S
- 6b. D + 0,75L + 0,75 (0,7E) + 0,75S
7. 0,6D + 0,6W
8. 0,6D + 0,7E

Donde:

D = Carga muerta
 L = Carga viva
 S = Carga de nieve
 W = Carga de viento
 E = Carga de sismo

La elección de combinaciones definidas para el método de diseño por esfuerzos admisibles se dio por correlación a la norma de diseño empleada.

El análisis y diseño de las cargas, según corresponde, y la simulación estructural se desarrolló con ayuda del programa computacional SAP2000®. Dentro de éste se desarrolló la construcción del modelo matemático representativo de la estructura. La información ingresada al programa fue:

- Material estructural, bambú.
- Sección transversal de los miembros estructurales.
- Patrones de cargas actuantes proyectadas.
- Patrones automáticos de carga lateral.
- Métodos de análisis para las cargas.
- Combinaciones de cargas según método de diseño ASD.
- Definición del comportamiento de las uniones.

Obtenidos los resultados del análisis, se realizó la revisión de estos y del comportamiento de la estructura, deflexiones verticales y horizontales, para su posterior empleo en el diseño de los elementos de bambú.

El diseño de los elementos estructurales de bambú se desarrolló bajo los lineamientos técnicos establecidos en la Norma peruana E.100 Bambú (8). Los lineamientos considerados para el diseño se determinaron en función al comportamiento de la estructura y fueron:

- Diseño de elementos en flexión.
- Diseño de elementos solicitados a tracción.
- Diseño de elementos solicitados a compresión.
- Diseño de elementos solicitados a flexo tracción.
- Diseño de elementos solicitados a flexo compresión.
- Diseño de uniones.

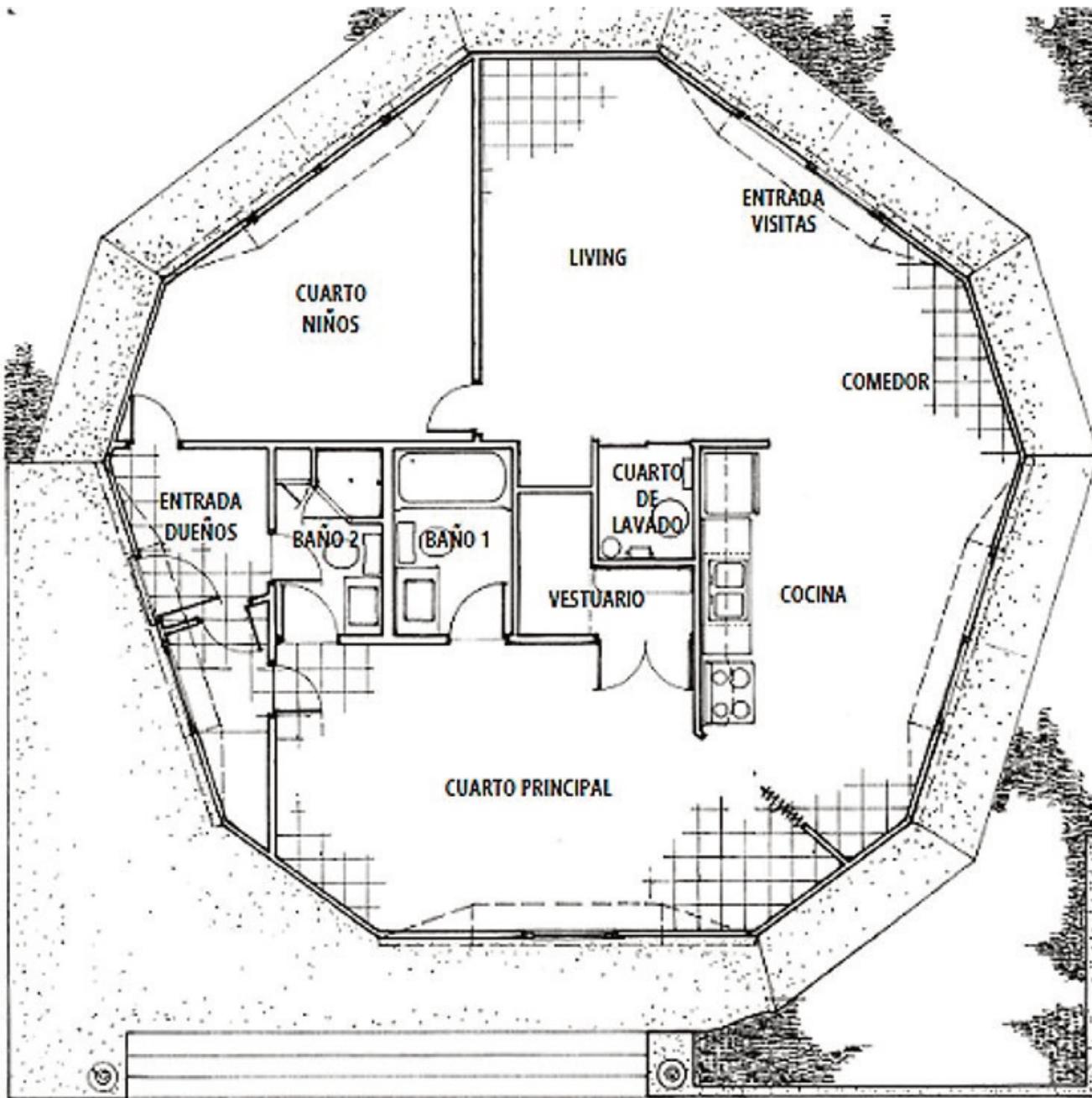
Como último paso, se realizó una evaluación económica. Ésta se desarrolló computando los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto de vivienda propuesto y comparándolo con una vivienda de igual superficie pero construida bajo el sistema convencional de hormigón armado y mampostería. Dichos recursos contemplan materiales, mano de obra, maquinaria y equipo, y requerimientos por ley. Los precios unitarios fueron desarrollados según el modelo presentado en los Documentos Base de Contratación (DBC) (9). Los costos están expresados en presupuestos generales.

RESULTADOS

A fin de considerar las condiciones ambientales más desfavorables para la estructura, se definió como ubicación del proyecto el municipio de La Paz. Éste presenta una combinación de vientos, riesgo sísmico y nevadas en su historia reciente. Además, el municipio paceño exhibe condiciones socioeconómicas para la aplicabilidad del proyecto.

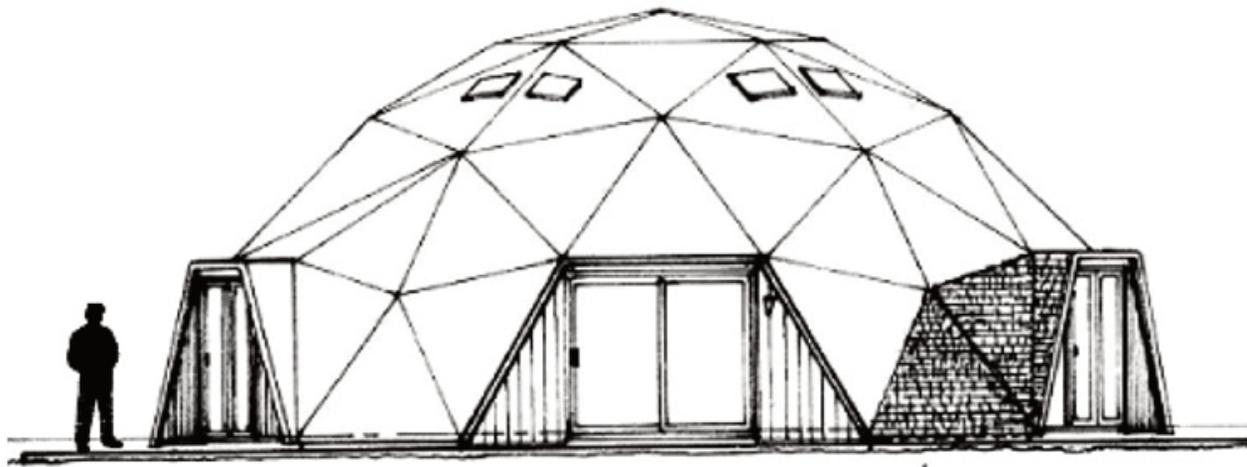
Se realizaron adaptaciones a los espacios interiores para ajustarlos a las necesidades de una familia con hijos, que correlaciona con el tipo de familia común en el país. Ésta se compone por: dos dormitorios, dos baños, sala, comedor, cocina y dependencias. La superficie construida está alrededor de 110 m².

Figura N° 3. Vista en planta del proyecto de vivienda



Fuente: (10).

Figura N° 4. Vista en elevación del proyecto de vivienda



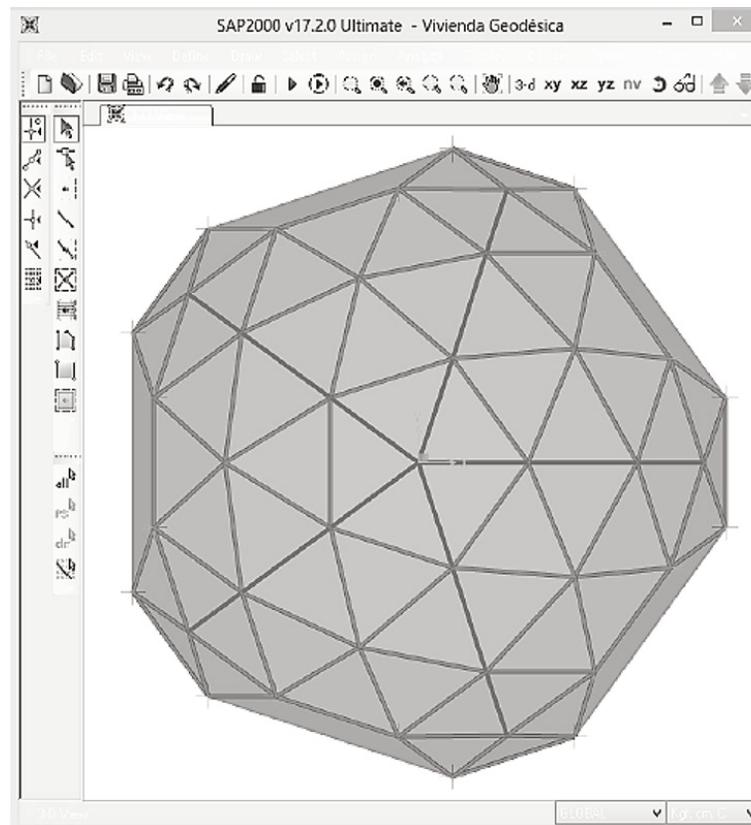
Fuente: (10).

Del proyecto arquitectónico definido, se extrajo información respecto a parámetros geométricos para la elaboración del modelo matemático de la estructura. Estos datos fueron:

Tipo de domo: Domo Geodésico de Fuller
 Frecuencia: $f = 3$
 Porción de la esfera: $p = 5/12$
 Radio del domo: $R = 6,00$ (m)
 Altura del domo: $h = 5,00$ (m)

La geometría del modelo quedó de siguiente forma:

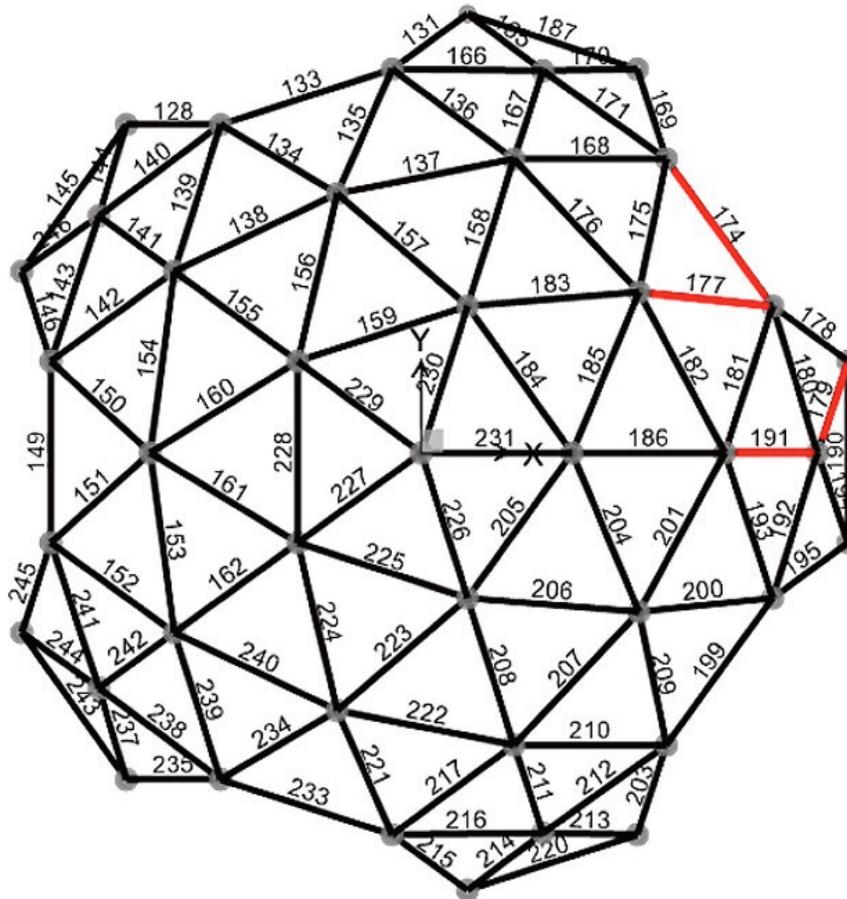
Figura N° 5. Geometría del modelo matemático dentro del programa SAP2000®



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Dentro de SAP2000®, a la geometría mostrada en la parte superior, se adicionó la información necesaria a fin de completar el modelo y poder realizar el análisis estructural. Analizada la estructura, bajo las condiciones y combinaciones de cargas definidas, se obtuvieron los valores presentados a continuación:

Figura N° 6. Identificación de miembros más solicitados



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Tabla N° 3. Resumen de los miembros con solicitaciones máximas

Miembro	Longitud (cm)	Valor	P (kgf)	M2 (kgf-cm)	M3 (kgf-cm)
174	248	Max	126.93		-69.63
191	214	Mín	-167.01		-160.08
179	207	Max	-81.13	82.14	
179	207	Mín	-81.13	-82.14	
191	214	Max	-167.01		99.02
177	254	Mín	-84.70		-174.77

Nota: La tabla se compone con los elementos más esforzados en función al tipo de solicitación.

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Los valores obtenidos fueron tratados por los lineamientos de la norma empleada para el diseño, E.100 Bambú, y comparados con los valores admisibles de la especie. La comparación es presentada en las siguientes tablas:

Tabla N° 4. Resumen de los resultados del diseño de miembros más solicitados

Miembro	Solicitud	Admisible (kgf,cm)	Actuante (kgf,cm)
199	Tracción	10,203	132
191	Compresión	1,524	174
177	Flexión	4,005	180
199	Flexo tracción	1.00	0.03
191	Flexo compresión	1.00	0.15

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Tabla N° 5. Tornillos requeridos para el enlace unión/bambú

Miembro	Solicitud	Actuante (kgf)	Admisible (kgf)	Tornillos (pza)
174	Tracción	127	200	0.64
191	Compresión	167	200	0.84

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Como última etapa, la evaluación económica desarrollada enlista en forma de tabla los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto de vivienda propuesto.

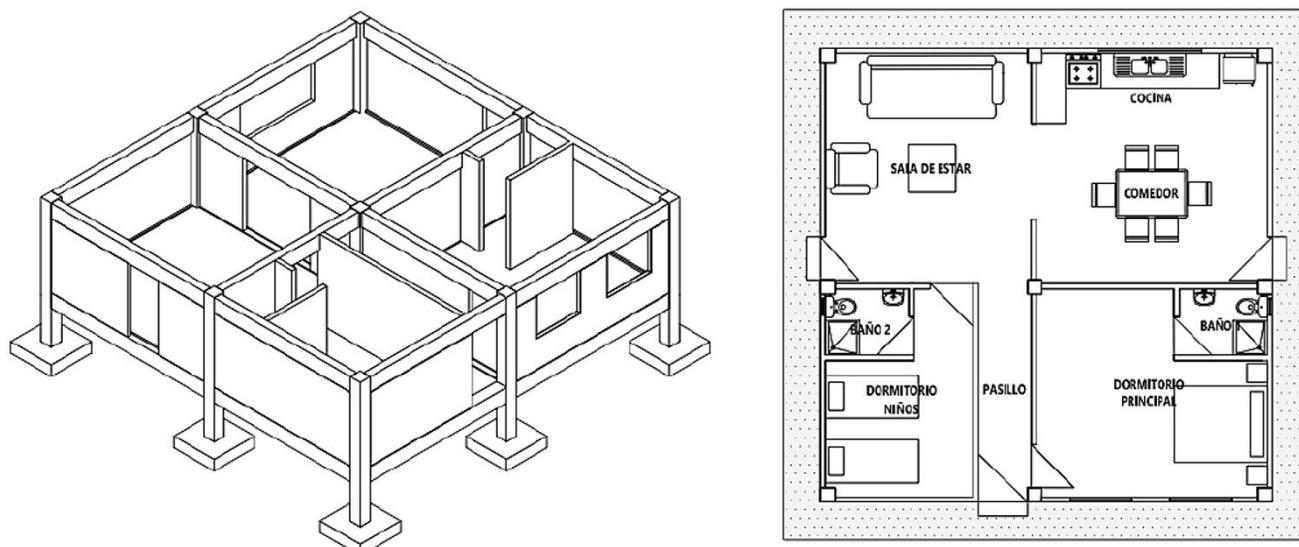
Tabla N° 6. Presupuesto General del Proyecto de Vivienda, costo en Bs.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
1	COMPACTADO CON VIBROCOMPACTADORA	M2	110.00	5.84	642.40	
2	VIGA SOBRECIMIENTO DE H°A°	M3	3.22	2,091.82	6,735.66	
3	SOLADURA Y CONTRAPISO ARMADO	M2	101.69	146.95	14,943.35	
4	ESTRUCTURA DE BAMBÚ	M2	198.50	50.27	9,978.60	
5	CUBIERTA TEJA ASFALTICA	M2	198.50	149.96	29,767.06	
6	MURO DRYWALL 2 CARAS 3 5/8" H=2.40M	M2	72.75	170.58	12,409.70	
Costo Total del Proyecto						74,476.77

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Para realizar la evaluación, se desarrolló el presupuesto para una vivienda edificada mediante los métodos convencionales de construcción en el país. Los ítems enlistados componentes de dicho presupuesto, tratan de emular los componentes del proyecto de vivienda propuesto tomando en cuenta la división de espacios y acabados a fin de realizar una comparación equitativa.

Figura N° 7. Vivienda convencional generada para la comparación de costos



Nota: A la izquierda una perspectiva de la vivienda que denota su composición, y a la derecha una vista en planta con etiquetado del uso de espacios.

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Tabla N° 7. Presupuesto General de la vivienda convencional generada para la evaluación económica, costo en Bs.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
1	EXCAVACION 0-1.2M S/AGOTAMIENTO TERRENO BLANDO	M3	10.80	46.23	499.28	
2	RELLENO Y COMPACTADO CON VIBROCOMPACTADORA	M2	110.00	19.85	2,183.50	
3	ZAPATA DE H°A° F'C=210 KGF/CM2	M3	2.25	2,161.56	4,863.51	
4	COLUMNA DE H°A° F'C=210 KGF/CM2	M3	2.22	3,288.35	7,300.14	
5	VIGA DE ENCADENADO DE H°A° F'C=210 KGF/CM2	M3	4.68	2,726.10	12,758.15	
6	SOBRECIMENTOS DE H°C°	M3	3.51	866.23	3,040.47	
7	SOLADURA Y CONTRAPISO	M2	83.28	98.84	8,231.40	
8	MURO DE LADRILLO 6H TABIQUE E=12CM	M2	163.05	95.00	15,489.75	
9	REVOQUE INTERIOR DE YESO INCLUYE ARISTAS	M2	234.72	63.60	14,928.19	
10	REVOQUE EXTERIOR DE CEMENTO INCLUYE ARISTAS	M2	134.40	106.19	14,271.94	
11	PIRULEADO EXTERIOR	M2	134.40	9.17	1,232.45	
12	PINTURA EXTERIOR LATEX	M2	134.40	23.85	3,205.44	
13	CUBIERTA PLACA ONDULADA DURALIT	M2	132.25	209.90	27,759.28	
14	REVOQUE CIELO RASO	M2	83.28	179.39	14,939.60	
Costo Total del Proyecto					130,703.10	

Fuente: Elaboración propia. 2015.

DISCUSIÓN

Análisis y Diseño

Las características de la especie **Guadua chacoensis** como crecimiento vertical, diámetro, espesor y propiedades mecánicas, permiten su uso estructural.

Los elementos de bambú componentes del proyecto de vivienda exhiben buenas prestaciones ante las acciones consideradas. Las cargas admisibles cumplen con holgura las solicitaciones como se ve en la Tabla

N° 4 y la Tabla N° 5. Estas bajas demandas en los miembros son el resultado de la geometría de la estructura. La base triangular del domo geodésico de R. B. Fuller permite que las cargas actuantes se distribuyan en toda la malla. Además, estas bajas solicitaciones admiten absorber defectos inherentes a la geometría natural de los miembros y considerar efectos de redundancia.

Por otro lado, la naturaleza modular de la estructura, permite su prefabricación, disminuyendo tiempo y costo. Esta característica, combinada con su bajo peso, facilita el montaje, evitando el uso de maquinaria para su armado. Además estas dos particularidades, hace accesible su transporte en vehículos livianos.

Económico

Respecto a la evaluación de costos, hecha la comparación con una vivienda de igual superficie construida bajo el sistema convencional del hormigón armado y mampostería, el proyecto de vivienda propuesto resulta un 75% más económico. El costo por m² de la vivienda propuesta está próximo a los Bs. 677; mientras que la vivienda convencional bordea los Bs. 1.188. Esta diferencia permite ampliar el rango de accesibilidad para sectores de la población con menores recursos sin tener que sacrificar seguridad y comodidad.

Todas estas propiedades resumidas en el proyecto de vivienda propuesto, generan el respaldo para convertirlo en una opción factible, accesible y novedosa.

Recomendaciones

Es necesario realizar más investigaciones sobre las especies de bambú en el país. Poder contar con información técnica (por ejemplo, investigaciones que se resuman en una normativa) de bambúes nativos permitirá difundir su cosecha, empleo y aprovechamiento, y servirá de base para futuras aplicaciones.

La industria del bambú tiene un gran potencial, como lo han descubierto países como Perú, Ecuador, Colombia y Brasil entre otros, donde este “pasto” ha llegado a formar parte de su economía. Su desarrollo puede constituir una nueva cadena productiva, lo que representaría nuevas fuentes de trabajo, sea en la agricultura, construcción, carpintería, papelería, medicina, gastronomía, turismo, etc.

Desarrollar una serie de proyectos arquitectónicos de vivienda, basados en la estructura geodésica de R. B. Fuller o combinaciones con este, y empleando bambú como elemento constructivo, pueden generar un mayor interés en este eco material y cubrir un mercado más amplio de economías y necesidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GEO-DOME. <http://geo-dome.co.uk/article.asp?uname=domefreq>. Fecha de acceso: 20 de octubre de 2016.
- (2) I.-I. N. F. B. A. RATTAN. The potential role of bamboo for development in Bolivia. 2001.
- (3) M. PEREYRA, M. SALDÍAS PAZ, E. MAGARIÑOS, G. PÉREZ Y M. ROSNELY. Características dendrológicas, distribución y ecología de la tacuara (*Guadua chacoensis*). Comunidad San Pablo, Guarayos, Santa Cruz: Proyecto Tacuara; 2004.
- (4) M. LINDHOLM Y S. PALM. *Guadua chacoensis* in Bolivia - An investigation of mechanical properties of a bamboo species. Santa Cruz: University of Linköping; 2007.
- (5) JUNTA DEL ACUERDO CARTAJENO. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de de los Recursos Forestales Tropicales PADT – REFORT. http://www.comunidadandina.org/public/libro_3.htm Fecha de acceso: 20 de octubre de 2016.
- (6) RED NACIONAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS – RENASEH. Derecho Humano a la Vivienda en Bolivia: Examen Periódico Universal. 2009.
- (7) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Virginia: ASCE; 2010.
- (8) MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma Técnica E. 100 Bambú. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; 2012.
- (9) MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN DE DESARROLLO. Documento Base de Contratación para Adquisición de Bienes. Estado Plurinacional de Bolivia. 2013.
- (10) M. DE LÓZAR DE LA VIÑA. Casa cúpula en Carbondale, Illinois, B. B. Fuller, 1960. Rev. ARQ. 2013; 15.