

## Modelamiento estructural de viviendas sustentable “Oikos tuchineros de boñiga de vaca, bahareque y madera”

### Structural modeling of sustainable housing “Oikos tuchineros of cow dung, bahareque and wood”

Hernández- Ávila José Rodrigo<sup>1</sup> M.Sc, Monroy-Pineda María Cecilia<sup>1</sup> M.Sc,  
Conde-Pérez Daner Camilo<sup>2</sup> Ing. Civil, Madroñero-Asías Iván Dario<sup>2</sup> Ing. Civil.

<sup>1</sup>Universidad de Sucre, Departamento de Ingeniería Civil, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil, Colombia.

#### Keywords:

Bahareque;  
structural;  
sustainable;  
wood;  
modeling;  
Tuchín;  
cow dung;  
housing.

#### Abstract

The indigenous constructions of the Municipality of Tuchín, have been made over time in an artisan way, with materials from the area, which possibly do not meet the normative requirements. In this municipality there are winds that cause the fall of the structure, low resistance of its structural elements, homes not suitable for living and high insecurity conditions. This Municipality was chosen like pilot and at the moment it is recognized internationally for its constructions with techniques and ancestral practices, in addition, of its excellent crafts like the “vueltaio” hat; all this contributes to a structural modeling of this house in order to improve the quality of life of its inhabitants, for this it is desired to carry out a structural modeling with a construction system similar to the current one with suitable equipment and of the region, generating homes that comply with the NSR-10 resistant earthquake, technical specifications, bioclimatic considerations, optimization of the materials and the resources used, making it efficient during its useful life so as to guarantee the structural and cultural sustainability of housing.

#### Palabras Clave:

Bahareque;  
estructural;  
sostenible;  
madera;  
modelamiento;  
Tuchín;  
boñiga de vaca;  
vivienda

#### Resumen

Las Construcciones indígenas del municipio de Tuchín, se han realizado a lo largo del tiempo de manera artesanal, con materiales de la zona, que posiblemente no cumplen con los requerimientos normativos. En este municipio se presentan vientos que ocasionan la caída de la estructura, poca resistencia de sus elementos estructurales, viviendas poco aptas para vivir y altas condiciones de inseguridad. Este Municipio se escogió como piloto ya que actualmente es reconocido a nivel internacional por sus construcciones con técnicas y prácticas ancestrales, además, de sus excelentes artesanías como el sombrero “vueltaio”; todo esto contribuye a realizar una modelación estructural de dicha vivienda para poder mejorar la calidad de vida de sus habitantes, para esto se desea llevar a cabo una modelación de tipo estructural con un sistema de construcción similar al actual con material aptos y propios de la región, generando viviendas que cumplan con la norma sismo resistente NSR-10, especificaciones técnicas, consideraciones bioclimáticas, optimización de los materiales y los recursos empleados, haciéndola eficiente durante su vida útil de modo que se garantice la sostenibilidad estructural y cultural de la vivienda.

#### INFORMACIÓN

Recibido: 21-06-2017;

Aceptado: 20-10-2017.

Correspondencia autor:

[jose.hernandez@unisucra.edu.co](mailto:jose.hernandez@unisucra.edu.co)

## Introducción

Los indígenas han utilizado sus recursos naturales, las técnicas constructivas son el resultado del conocimiento empírico utilizando sus manos como elemento principal. (ECHENIQUE *et al.*, 2015).

Para el pueblo Zenú las viviendas es uno de los aspectos más importantes para su comunidad, no solo por el arraigo cultural que esto trae consigo sino por las prácticas ancestrales en cuanto a las técnicas constructivas usadas que se quieren conservar y transmitir. Por otro lado, es importante tener en cuenta que este tipo de construcciones cumplan con los parámetros que se exigen para que una vivienda sea segura, durable y sostenible medioambientalmente; además que posean tradiciones generales para las etapas de planificación, diseño, construcción y uso, con lo cual se definen los lineamientos que no solo contribuyen a la protección y conservación del medio ambiente, sino también a la salud, confort y la calidad de vida de esta comunidad.

La propuesta para el modelamiento estructural y construcción de vivienda Oikos, está basada en cuatro ejes principales: suelo-estructura, materiales y recursos naturales regionales, habitabilidad y conservación de técnicas ancestrales, que son componentes primarios de la edificación y que guardan una fuerte interrelación entre sí, ya que la carencia o deficiencia de alguno de ellos incide de manera directa en las condiciones de habitabilidad y sostenibilidad ambiental de la vivienda.

Este proyecto cumple con estos requisitos de idoneidad sin que se pierda el toque ancestral que durante todos sus años ellos han impartido, es por esto importante insistir en preservarla y mantenerla garantizando una vida útil lo más extensa posible y que se encuentre en condiciones óptimas para vivir en el tiempo de servicio planificado, además que sean estéticas, seguras, atractivas conservando los entornos culturales y del paisaje.

Por otro lado, una vivienda representa un aspecto cultural importante en una sociedad o región en cualquier parte del mundo, ya sea porque sus materiales son representativos

de su lugar de procedencia, al igual que sus formas de uso para construir o sus formas estructurales entre otros aspectos, por ende las viviendas indígenas son consideradas parte del patrimonio cultural (RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, 2011; SÁNCHEZ-CRUZ, 2014). No en vano SÁNCHEZ-CRUZ (2014) textualmente afirma: <<las tradiciones consideradas como valores, creencias y costumbres típicas de las comunidades, transmitidas por generaciones, han contribuido con la construcción de la vivienda del medio rural>>.

Por lo tanto, es importante preservarlas e investigar sobre mejores técnicas estructurales, modelamiento de los elementos de construcción, uso eficiente del suelo, extracción, uso y optimización de los materiales que generen menos impacto ambiental, uso sostenible de los recursos naturales, como adecuados procesos constructivos y ciertas características especiales. Entonces, se hace imprescindible contar con un documento que recopile esta información para que se generen proyectos materializables que ayuden a conservar de forma segura estas construcciones.

## Materiales y Métodos

La investigación fue realizada en el Casco urbano del municipio de Tuchín, departamento de Córdoba, Colombia. Las viviendas de estudio son las que se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Vivienda de bahareque en Tuchín. Fuente: presente estudio.

El municipio de Tuchín se encuentra ubicado al noroeste del departamento de Córdoba y en el centro del Resguardo Indígena de San Andrés de Sotavento, con una extensión de 128 Km<sup>2</sup>. a 106 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 28°C. Limita al norte, con el departamento de Sucre, con los municipios San Antonio de Palmito y Sincelejo, al oriente y sur con el municipio de San Andrés (arroyo Mapurincé al medio) y al occidente con el municipio de Chima y Momil, se halla distante de la capital del departamento a 104 km., pudiendo utilizar dos opciones con las vías: Tuchín – Chinú – Montería o en su defecto Tuchín - Loricá –Montería. Cuenta con una población total de 32.226 habitantes, de los cuales el 14% (4.496/hab) pertenecen a cabecera y el 86% (27.730/hab.) pertenecen al área rural. Del total de esta población el 51% (16.421/hab.) son hombres y el 49% son mujeres (15.805/hab) (CUARTAS, 2014).

En la Tabla 1 y Figura 2 se presentan el número de viviendas y tipo de materiales utilizados en su construcción. Las cuales comparativamente están en menor proporción al contrastarlas con otros tipos de vivienda (CUARTAS *et al.*, 2014).

**Tabla 1.** Porcentaje de viviendas por el tipo de material en Tuchín. Fuente: presente estudio.

Tipo de material	No. de viviendas	Porcentaje
Material (mampostería común y cubiertas en asbesto cemento, zinc o tejas de barro)	758	92%
Bahareque tradicional	57	7%
Madera	8	1%
Total viviendas en el casco urbano = 823		



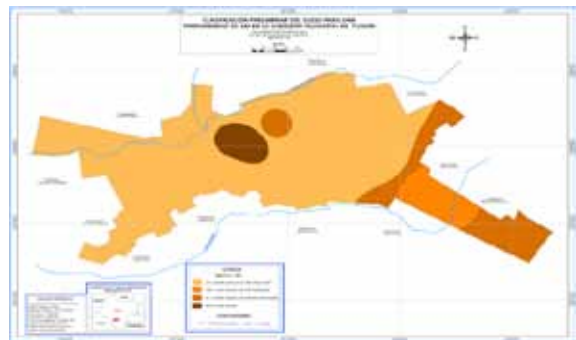
**Figura 2.** Edificaciones construidas en Tuchín. Fuente: presente estudio.

En la Figura 3 se muestran las ubicaciones de los sondeos en el casco urbano del municipio, como parte de la información geotécnica tomada.

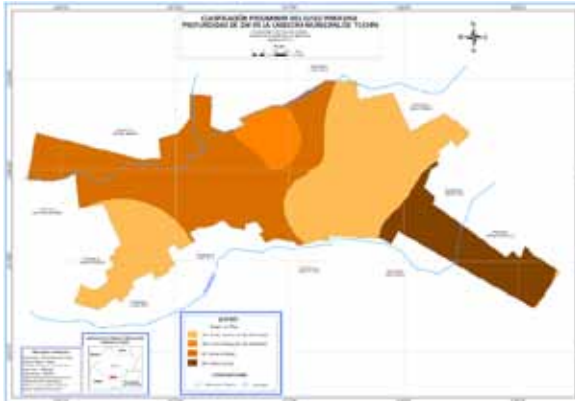


**Figura 3.** Ubicación de los sondeos Tuchín. Fuente: presente estudio

Las Figuras. 4 y 5 muestran una clasificación preliminar del tipo de suelo que presenta el casco urbano del municipio de Tuchín, a profundidades diferentes, el primero muestra el tipo de suelo a una profundidad de un metro (1m), y el segundo mapa muestra a una profundidad de dos metros (2m), se utilizó el programa ARGIS para realizar las diferentes interpolaciones entre los sondeos y mostrarlos mediante un esquema, para poder calcular de manera automática el tipo de suelo entre los sondeos clasificando el suelo con las diferentes profundidades del casco urbano del Municipio.



**Figura 4.** Clasificación de suelo a una profundidad de 1m en Tuchín. Fuente: presente estudio



**Figura 5.** Clasificación de suelo a una profundidad de 2m en Tuchín. Fuente: presente estudio

Dentro de la variedad de técnicas constructivas que utilizan la tierra como material, se encuentra el bahareque, el cual es caracterizado por contar con varas horizontales rellenas con barro y boñiga de vaca. La mayoría de estas edificaciones se encuentran deterioradas debido a la vulnerabilidad del barro ante la humedad, así mismo por no utilizar mezclas adecuadas en su reparación y construcción (HENNEBERG DE LEÓN, 2010).

Las comunidades Caribes del interior de Colombia como es el caso de Tuchín, en su área urbana y rural construyen viviendas con materiales naturales, además su cimentación está hecha con pilotes estructurales de madera; cubiertas protectoras a dos aguas, elaboradas con las hojas de la palmera de la región, llamada palma amarga (*Sabal mauritiiformis*) y en ocasiones, dependiendo de la oferta de recursos, también se usan hojas de palma de vino (*Attalea butyracea*); divisiones en bahareque, consistentes en esterillas de guadua (*Guadua amplexifolia* o *Guadua* spp), lo que concuerda en parte con lo señalado por MOGOLLÓN-SEBÁ (2016), relleno por una argamasa de diversos materiales de origen vegetal, compactada mediante golpes con “pisón”, recubiertas de una última capa para el lustre con cal.

Sus patrones siempre siguen formas ortogonales para el inmobiliario interno, el cual es elaborado con materia prima renovable de procedencia local, características que implican renovación y degradación rápida de la materia, ahorro energético en su elaboración, mejora de condiciones térmicas garantizando el confort y bienestar de los

ocupantes, comparando con otro tipo de material convencional, componentes inocuos, manufactura local, desechos reutilizados y reciclados y reducción de material de embalaje, respetando el entorno y satisfaciendo requerimientos locales, convirtiéndola en una técnica y un proceso constructivo sustentable.

Este sistema de construcción es característico de los pueblos indígenas de Colombia y Venezuela, y de algunos otros países de América del Sur (RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, 2011; MOGOLLÓN-SEBÁ, 2016); el bahareque es característico de América dentro de los tipos de uso de mayor frecuencia, están: el embutido, esterilla y el tejido. De otra parte, es importante señalar, según lo expresan por su experiencia los constructores tradicionales de este tipo de vivienda, que la guadua de mejor calidad se consigue de plantas en estado maduro, con edades mayores a 4 años. No se debe utilizar guadua con más del 20% de contenido de humedad ni por debajo del 10%. Adicionalmente es necesario resaltar, tal como lo indica ARÉVALO (2001), que en las climas cálidos las viviendas son abiertas y bien ventiladas, mientras que en los climas fríos las viviendas son cerradas para protegerse de las bajas temperaturas.

La calidad del mortero de boñiga para el revoque de muros y para el relleno de las cañas a la cual se le debe realizar un diseño de mezcla para calcular las proporciones adecuadas en una vivienda de bahareque, sigue tradiciones culturales (BARRETO y VILLALBA, 2006).

Los materiales usados en las diferentes estructuras que componen la vivienda de bahareque del municipio de Tuchín son los descritos a continuación y fueron estudiados en un investigación previa de CUARTAS *et al.* (2015):

El Roble (*Tabebuia* sp) (Figura 6) es la madera mayoritariamente utilizada, sus dimensiones generales en las vigas sentaderas poseen una longitud de 7m y un diámetro de 20cm; en las vigas cumbreas con una longitud de 3,25m y un diámetro de 10cm; en las vigas tirante la longitud es de 4m y el diámetro es de 20 cm. La madera del árbol comúnmente llamado Mora (*Maclura tinctoria*) (Figura 7), es utilizada preferencialmente para las columnas, con altura media de 3,5 m y

diámetro de 25cm. La madera de Teca (*Tectona grandis*) (Figura 8) es utilizada en la cubierta, generalmente con un diámetro de 7 cm.



**Figura 6.** Troza de roble (*Tabebuia* sp).

Fuente: Presente estudio.



**Figura 7.** Trozas de mora (*Maclura tinctoria*).

Fuente: presente estudio.



**Figura 8.** Tablas de teca (*Tectona grandis*).

Fuente: presente estudio.

El estudio de las características de las viviendas se realizó por medio de la observación directa, a través de fotografías, encuestas y toma de

muestras, para posteriormente en el laboratorio ensayarlas obteniendo las propiedades necesarias para la modelación de la estructura, estas propiedades fueron obtenidas de estudios realizados por ECHENIQUE *et al.* (2015) y se muestran en las Tablas 2, 3 y 4.

**Tabla 2.** Propiedades del Roble (*Tabebuia* sp) para la modelación. Fuente: presente estudio.

Propiedades	Unidades	Observación	Promedio
Contenido de humedad	(%)	-	27,61
Densidad	(g/cm <sup>3</sup> )	Básica	0,54
		Al 12% CH	0,52
Peso EspecificoBásico		Longitudinal	0,30
		Tangencial	1,14
Contracción	(%)	Radial	1,22
		Volumétrica	2,66
		T/R	0,93
Compresión Paralela a la Fibra	(Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP	223,20
		MOR	317,37
		MOE*10 <sup>3</sup>	29,68
Compresión Perpendicular a la Fibra	(Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP	310,35
Coeficiente de Expansión Térmica	(°C <sup>-1</sup> )	(α)	3,03*10 <sup>-5</sup>
Coeficiente de Poisson	-	Tangencial	0,32
		Radial	0,22

**Tabla 3.** Propiedades de la Mora (*Maclura tinctoria*) para la modelación. Fuente: presente estudio.

Propiedades	Unidades	Observación	Promedio
Contenido de humedad	(%)	-	20,27
Densidad	(g/cm <sup>3</sup> )	Básica	0,73
		Al 12% CH	0,67
Peso Especifico		Básico	0,59
		Longitudinal	0,38
Contracción	(%)	Tangencial	0,72
		Radial	0,64
		Volumétrica	1,74
Compresión Paralela a la Fibra	(Kg/cm <sup>2</sup> )	T/R	1,13
		ELP	259,25
		MOR	411,97
MOE*10 <sup>3</sup>	54,65		
Compresión Perpendicular a la Fibra	(Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP	423,35
Coeficiente de Expansión Térmica	(°C <sup>-1</sup> )	(α)	3,28*10 <sup>-5</sup>
Coeficiente de Poisson	-	Tangencial	0,50
		Radial	0,62

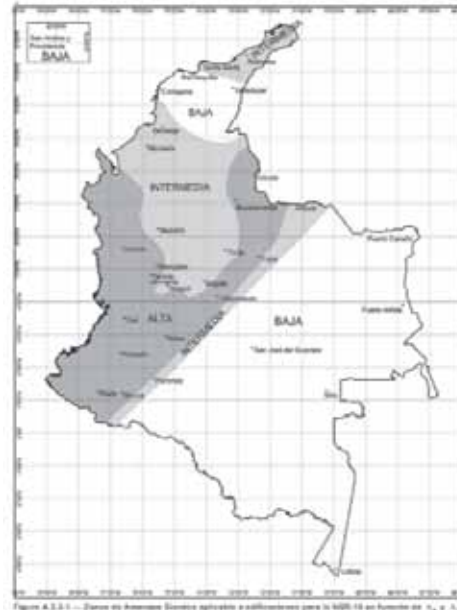
**Tabla 4.** Propiedades de la Teca (*Tectona grandis*) para la modelación. Fuente: presente estudio.

Madera	Densidad Básica	Contracción Volumétrica (%)	Compresión Paralela a la Fibra (Kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión Perpendicular a la Fibra (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeficiente de Expansión Térmica	Coeficiente de Poisson		Grupo
			ELP	MOR	MOE*10 <sup>3</sup>			Tangencial	Radial	
Teca	0.55	3.80	248.87	307.34	22.57	271.18	1.48*10 <sup>-4</sup>	0.2	-	C

La pared, techo y revestimientos se modeló en el SAP2000, utilizando un elemento tipo Shell. El modelo de computadora fue validado con cargas de presión en el techo por levantamiento uniforme, simulando las fuerzas de los huracanes aplicando la norma ASCE 7-05 evaluando las reacciones de la fundación.

Con respecto al análisis de carga de la vivienda para la carga viva, se le aplicó la normalizada en la NSR-10 tal como se muestra en la Tabla 5.

Con respecto a la carga sísmica, se le aplicaron las consideraciones de la NSR-10 tal como se muestra en el Figura 9, donde se aprecia las zonas de amenaza sísmica en Colombia, las cuales se encuentran clasificadas en varios niveles (Alta, Intermedia y Baja), estos de acuerdo a los valores del coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva para diseño (Aa) y coeficiente de aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva para diseño (Av). Por consiguiente, Tuchín se encuentra en un nivel de amenaza sísmica INTERMEDIO, teniendo en cuenta su ubicación dentro de ese mapa, con unos valores de Aa y Av de 0,10 y 0,15 respectivamente.



**Figura 9.** Cargas Sísmicas.

Fuente: NSR-10

La Figura 10, muestra las zonas de amenaza eólicas que se presentan en Colombia, las cuales se le asignaron unos valores a la velocidad del viento en cada zona correspondiente. Por lo tanto el nivel de amenaza en el que se ubica el municipio

**Tabla 5.** Cargas vivas mínimas en cubiertas.

Tipo de cubierta	Carga uniforme	Carga uniforme
	(kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área de planta	(kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área de planta
Cubiertas, azoteas y terrazas	La misma del resto de la edificación (Nota-1)	La misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines o para reuniones	5,00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometida a cargas superiores a la aquí estipulada.	0,35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometida a cargas superiores a la aquí estipulada.	0,50	50

Fuente: NSR-10

de Tuchín es el nivel 2, el cual presenta un valor de velocidad del viento de 22 m/s (80 km/h).

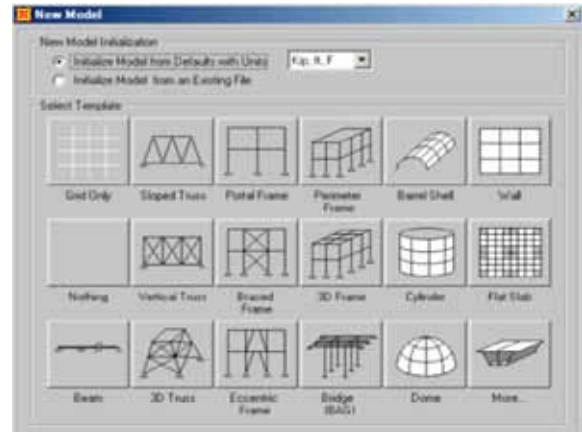


**Figura 10.** Cargas de Viento.  
Fuente: NSR-10

Las combinaciones de análisis y diseño fueron las utilizadas según la NSR-10 teniendo en cuenta los componentes de carga muerta, viva, sismo y viento, dando como resultado una carga ultima mayorada de 1kN/m<sup>2</sup> (DANER *et al.* 2015).

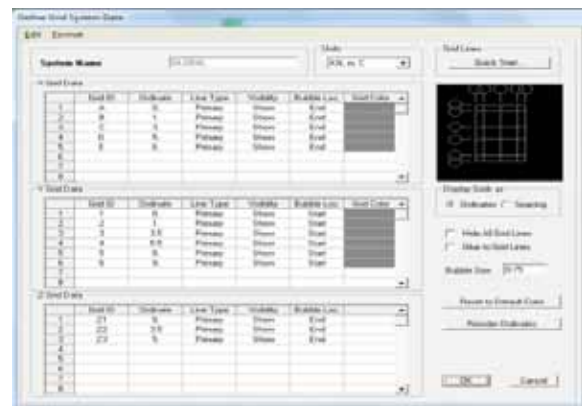
Los pasos para el modelamiento del Oikos se realizaron con el programa SAP2000 v16 versión estudiantil, como se describe a continuación:

1. Abrir el programa y definir unidades: Seleccione las unidades iniciales en las que desea trabajar en nuestro caso kN, m, C las cuales son unidades de fuerza, de longitud y de temperatura.
2. Selección del modelo: del menú principal (parte superior), abriendo la opción de "File" seleccione "New Model from Template". Esta acción lo llevará a la ventana de "Model Templates", escogiendo el modelo "Gird only" que significa grilla ya que se consideró el más apropiado para dibujar la geometría de la estructura (Figura 11)



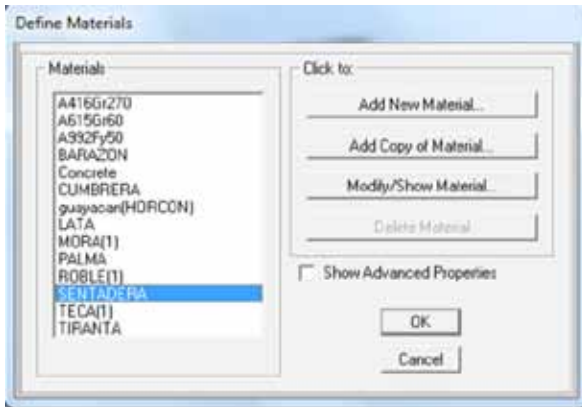
**Figura 11.** Modelos en la pantalla del programa.  
Fuente: Sap2000

3. Información de la geometría de la estructura mediante la grilla del modelo (Figura 12) Se digitaron los datos correspondientes a la geometría del oikos así: -En el eje X: 7 metros. -En el eje Y: 4 metros. -En el eje Z: 3,5 metros hasta el borde de la columna.

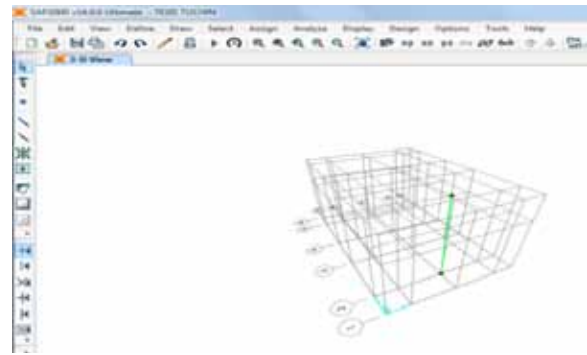


**Figura 12.** Digitalización de información.  
Fuente: Sap2000

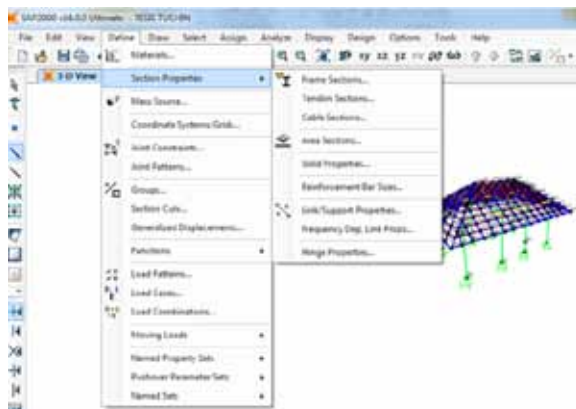
4. Definición de los materiales que se utilizaron en la modelación: Se crearon los materiales para los elementos de la vivienda con sus respectivas propiedades, Roble, Mora, Teca y palma. (Figura 13).
5. Definir la sección de los elementos de la estructura: Los tipos de madera que se implementaron en los elementos de la vivienda que fueron la viga sentadera, viga tirante, viga cubrera, columnas y el entramado. (Figura 14)



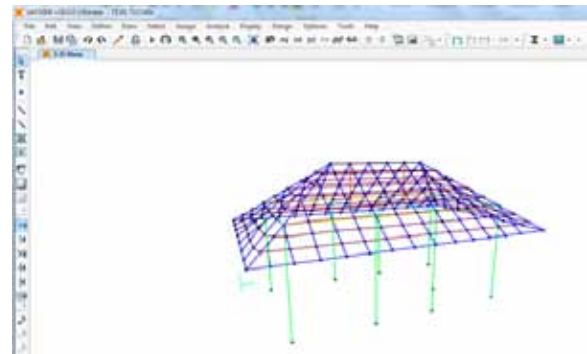
**Figura 13.** Selección de materiales.  
Fuente: Sap2000



**Figura 16.** Diseños de paredes.  
Fuente: Sap2000



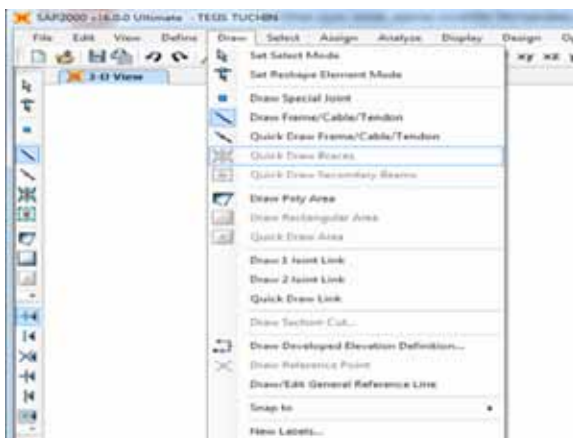
**Figura 14.** Propiedades de la sección.  
Fuente: Sap2000



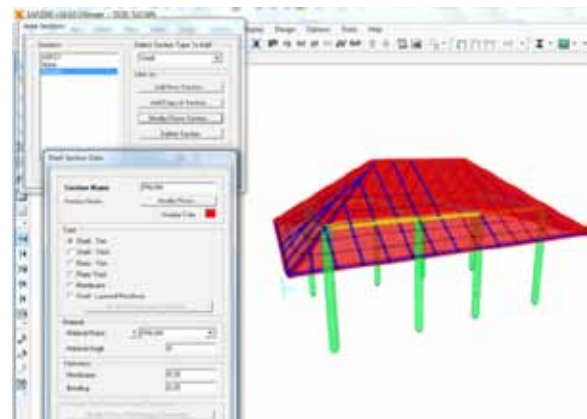
**Figura 17.** Diseños de cubierta.  
Fuente: Sap2000

7. Dibujar la sección de la palma: Se dibujó la sección de la palma en la cubierta de la estructura tipo shell teniendo en cuenta sus propiedades físicas y geométricas (Figs. 18 y 19)

6. Dibujar las secciones en la grilla definida: Se le da en la opción "Draw" para dibujar las secciones escogiendo el elemento tipo frame que se va a dibujar dentro de la grilla teniendo en cuenta que es un sistema de pórtico. (Figuras. 15, 16 y 17)

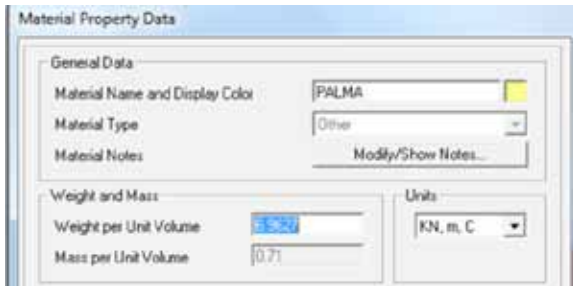


**Figura 15.** Selección en el programa para la grilla.  
Fuente: Sap2000



**Figura 18.** Propiedades geométricas de la cubierta.  
Fuente: Sap2000





**Figura 19.** Propiedades físicas de la cubierta.  
Fuente: Sap2000

8. Definir los casos de cargas: Se definió y se trabajó en el programa con las diferentes cargas correspondientes que son: carga viva, carga muerta, cargas de sismo en X y Y, carga de viento en X y Y. Se trabajó con el método ASCE7-05 porque el programa está basado en normas internacionales y en las cuales no está incluido la NSR-10, pero esta junto a la ACI318-2009 son las que más se asemeja al código sismo resistente colombiano para el cálculo de cargas. (Figura. 20)

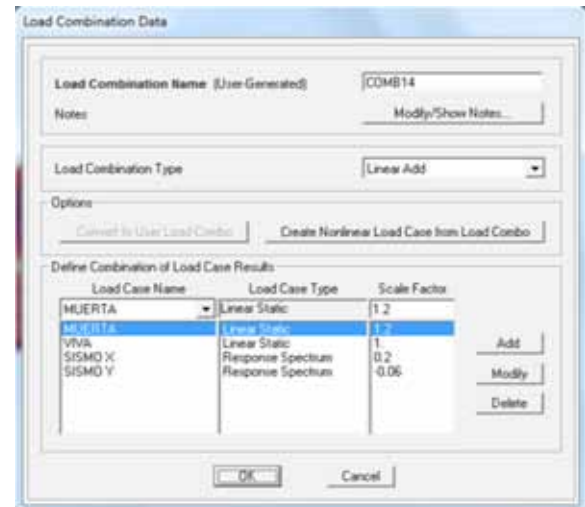


**Figura 20.** Definición de cargas.  
Fuente: Sap2000

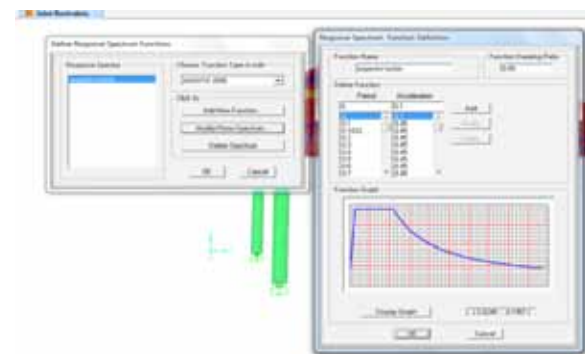
9. Definir las combinaciones de carga: Se trabajó en el la modelación con 26 combinaciones de carga en donde las primeras 8 combinaciones son de análisis estructural y las siguientes hasta la 26 son de diseño según la NSR-10 (Figura 21)

10. Definir el espectro de diseño del sismo: Teniendo en cuenta que el municipio de Tuchin se encuentra en una zona intermedia de sismicidad, y la norma plantea que para esta zona se cuenta para unos valores de  $A_a = 0,10$  y un  $A_v = 0,15$ , y utilizando el método establecido en la normal el cual establece un espectro de diseño para hallar las posibles cargas sísmicas que se presentan en la zona. Para definir el espectro se trabajó con AASTHO 2006 que se maneja en el programa

y que propone una metodología de diseño basada en desplazamiento similar a la norma Colombiana de sismo resistencia. Una importante característica de la AASTHO 2006 es que esta conoce la variabilidad de la amenaza sísmica en distintos periodos de vibración. (Figura 22).

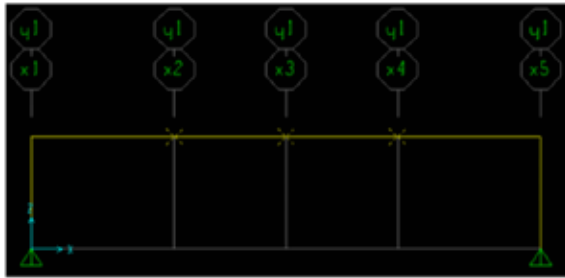


**Figura 21.** Combinaciones de carga.  
Fuente: Sap2000

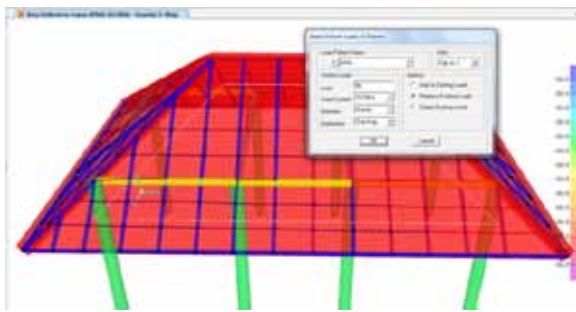


**Figura 22.** Espectro del diseño. Fuente: Sap2000.

11. Asignación de las cargas que se a utilizar en el programa para la modelación: Carga viva: La norma establece que para la vivienda de este tipo se le puede asignar una carga de  $50 \text{ kg/m}^2$ , con esto lo que se quiere es simular el peso de una persona que haga la mano de obra en la cubierta. Para esto en el programa lo que se hace es seleccionar la cubierta y asignarle esta carga con el comando "Assing" del programa. (Figuras 23 y 24)



**Figura 23.** Asignación de cargas en los pórticos.  
Fuente: Sap2000



**Figura 24.** Asignación de carga en la cubierta.  
Fuente: Sap2000

## Resultados y Discusión

En el análisis de resultados se tuvo en cuenta las verificaciones del viento y derivas debido a que estas son las más críticas (Figura 25).

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf
25	VIENTO X	LinStatic	-2,64	-2,360E-02	-0,82
25	VIENTO Y	LinStatic	-8,397E-03	-1,31	-0,79
29	VIENTO X	LinStatic	-2,63	1,566E-02	0,82
29	VIENTO Y	LinStatic	7,293E-03	-1,31	-0,79
31	VIENTO X	LinStatic	-2,63	-2,358E-03	0,82
31	VIENTO Y	LinStatic	1,568E-03	-1,71	-0,35
33	VIENTO X	LinStatic	-2,63	1,111E-03	0,82
33	VIENTO Y	LinStatic	-1,590E-03	-1,70	0,33
43	VIENTO X	LinStatic	-2,60	2,993E-03	-0,82
43	VIENTO Y	LinStatic	-2,171E-03	-1,71	-0,35
45	VIENTO X	LinStatic	-2,60	-1,025E-03	-0,82
45	VIENTO Y	LinStatic	8,739E-04	-1,70	0,33
47	VIENTO X	LinStatic	-2,64	2,457E-02	-0,84
47	VIENTO Y	LinStatic	8,862E-03	-1,29	0,82
51	VIENTO X	LinStatic	-2,64	-1,735E-02	0,84
51	VIENTO Y	LinStatic	-6,438E-03	-1,28	0,81

**Figura 25.** Tabla de resultados.  
Fuente: Sap2000

En la anterior Tabla se puede observar el estado crítico de las fuerzas de viento conociendo el sentido de carga que simula el programa para esta estructura, la fuerza 3 es la encargada de decir cómo está la estructura y cuanto regula la

carga horizontal en el sentido x, observamos la fuerza que se da en ciertos puntos críticos de la estructura tanto en el eje X como en el eje Y.

Después de realizar las diferentes modelaciones se determinó que los Oikos estudiados se asemejan de mejor forma a un sistema estructural combinado pórticos de madera y muros de bahareque con boñiga de vaca. Estas viviendas hechas en madera, son muy resistentes a la flexión, esto la hace merecedora de comportarse bien ante fuerzas de viento y sísmicas.

La comprobación de deriva en la modelación estructural cumple con el requisito de la norma NSR-10 que es el 1% de la altura de entrepiso de la estructura ya que el valor de desplazamiento de deriva presentado en la estructura aperturada es 2 cm.

En cuanto al viento al tener una estructura de entramado de cubierta con ángulos menores de 15 grados el comportamiento climático es el óptimo.

Los materiales usados, que fueron el roble, mora y teca, se consideran adecuados, debido a que cada uno cumple con la resistencia adecuada para la modelación en el programa SAP2000 y sus dimensiones finales después del diseño son de sección transversal cuadrada de 25 cm para las columnas y de 20 cm para las vigas.

## Consideraciones finales

Las formas y técnicas tradicionales de las edificaciones, son un potencial de las alternativas que tienen las comunidades para dar respuesta a su hábitat y mejoramiento del entorno donde viven, las cuales no tienen acceso a las nuevas tecnologías por sus altos costos y difícil adquisición, es cuando deben recurrir a las tradiciones, para retomar originalmente sus sistemas constructivos y lograr restaurar el sistema actual, compatiblemente con condiciones de seguridad, estética, y eficiencia y sostenibilidad de los materiales usados. Proyectos como este mejoran al sentido de pertenencia cultural y constructiva.

Los materiales utilizados para la modelación de las viviendas indígenas del municipio de Tuchín

deben cumplir con los parámetros de diseño de la norma NSR- 10, lo que normalmente no se realiza y por esto suceden las calamidades.

El tipo de Sistema estructural que debe emplearse es el combinado donde los pórticos sean columnas y vigas madera, cubiertas en cerchas de madera y muros de madera bahareque y empañetado con

boñiga de vaca, conservándose las características sostenibles de los materiales usados.

Las aberturas que tienen las viviendas estudiadas no son significativas para el estudio de cargas y de rigidez de la estructura, convirtiéndose en puntos reguladores de las condiciones climáticas del lugar.

## Referencias

- AREVALO, M. 2011. Tensiones culturales en la estructuración del ordenamiento territorial a partir de la vivienda de interés social referido a comunidades indígenas. Tesis de Maestría.
- BARRETO, E.; VILLALBA, L. 2006. Determinación de la mezcla optima utilizada en la construcción de viviendas de bahareque. [Tesis de Pregrado]. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería, Colombia.
- CUARTAS E; 2014. Tesis. Georreferencia y proceso constructivo de las viviendas indígenas hechas en bahareque del casco urbano del municipio de Tuchín departamento de Córdoba. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería, Colombia
- CUARTAS, E; MONROY, M; HERNANDEZ J. 2014. Sistema estructural sostenible medioambientalmente de maloka hecha con madera, bahareque y boñiga de vaca en el municipio de Tuchín, departamento de Córdoba, Colombia. Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA, 6(1):261-282.
- ECHENIQUE C; BANDA, HERNANDEZ J. 2015. Propiedades Físico-Mecánicas de Maderas Utilizadas en la Construcción de Viviendas Indígenas del Municipio de Tuchín Departamento de Córdoba. INGE CUC, 11(1):99-108.
- HENNEBERG-DE LEON A. 2010, Paredes de bahareque en el Estado Zulia. Estudio integral para su rehabilitación sostenible, [Tesis doctorado en arquitectura], Maracaibo, Venezuela: Universidad del Zulia.
- MOGOLLÓN-SEBÁ, J. 2016. Bahareque caribe. Cultura bioclimática local. [Consultado: 17-05-2017] URL Disponible: <http://www.worldbamboo.net/3cmb2016/Jaime%20Mogoll%C3%B3n.docx.pdf>.
- RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ. L.A. 2011. Transformación de la vivienda indígena. Bitácora 19(2):167-179.
- SÁNCHEZ-CRUZ, P. 2014. La vivienda tradicional, su contribución responsable en lo social y ambiental. [Consultado: 15-06-2017]. URL Disponible en: <http://horizontes18.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/04/LA-VIVIENDA-TRADICIONAL-SU-CONTRIBUCI%C3%93N-RESPONSABLE-EN-LO-SOCIAL-Y-AMBIENTAL.pdf>.