



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**Diseño de Estructura con Guadua Angustifolia para el Secado del Café y Cacao en
Colombia.**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Marlio Marin Restrepo

Director:

Ingeniero. Juan Carlos Herrera Martínez

Bogotá D.C., Colombia, Mayo de 2015.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., Mayo de 2015.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Las directivas de la Universidad Militar Nueva Granada y en particular a las de la Facultad de estudios a distancia y su programa de Ingeniería Civil.

JUAN CARLOS HERRERA MARTINEZ, Ingeniero Civil, profesor del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, director y asesor del presente trabajo de grado.

Resumen

En las fincas colombianas de los pequeños productores de café o cacao existe la problemática de los costos elevados en la construcción de instalaciones para la obtención de sus productos, por esta razón se busca diseñar un secadero de café y cacao que utilice para su construcción materiales propios de la región como la guadua *Angustifolia* y que tenga una funcionalidad óptima para el proceso de secado del producto antes de ser comercializado. Este diseño debe tener una metodología constructiva no muy complicada y materiales de bajo costo para que pueda ser llevada a cabo por nuestros campesinos logrando resultados que los beneficie con un producto de calidad que compita en el mercado del sector productivo.

Descriptores: Café, cacao, proceso de secado, estructura, guadua *angustifolia*.

Abstract

In the Colombian farms smallholder coffee and cocoa exists the problem of high costs in the construction of facilities for the production of their products, for this reason will be to develop a drying coffee and cocoa it uses for its own construction materials region and has optimum functionality for product drying process before being marketed. This design should not be very complicated construction methods and inexpensive device materials so it can be carried out by our farmers getting results that benefit by obtaining a product quality to compete in the market of the productive sector.

Keywords: Coffee, cocoa, drying process, structure, guadua *angustifolia*.

Tabla de contenido

Resumen	4
Introducción	12
1. Objetivo General	13
2. Objetivos específicos	13
3. Método	14
4. Descripción de la Guadua Angustifolia	14
5. Recomendaciones para la cosecha y almacenamiento de la guadua angustifolia	15
6. Secado y preservación de la guadua angustifolia	15
7. Tipos de uniones en estructuras con guadua	16
8. Diseño de la estructura de secado de café y cacao	17
9. Propiedades físicas del café y del cacao	19
10. Análisis de estabilidad de la estructura	20
10.1. Evaluación de cargas	21
10.1.1. Carga muerta	21
10.1.2. Carga temporal o carga viva	22
10.1.3. Carga de granizo	22
10.1.4. Carga de viento	23
10.1.5. Análisis sísmico	28
10.2. Combinaciones de cargas	34
10.3. Modelo estructural	36
10.4. Modelo matemático tridimensional	37
10.5. Distribución de cargas en elementos	42
10.6. Revisión de derivas	48
10.7. Verificación de irregularidad torsional	52
10.8. Solicitaciones	54
11. Resultados de diseño de la estructura	56
11.1. Diseño de vigas en guadua	56
11.2. Diseño de columnas en guadua	58

DISEÑO SECADERO DE CAFÉ Y CACAO CONSTRUIDO EN GUADUA

11.3.	Diseño de unión emperrada	62
11.4.	Diseño de cimentación	62
12.	Procedimiento constructivo de la estructura	63
13.	Conclusiones	64
14.	Referencias	65
15.	Anexos	66

Lista de figuras

Figura 1. Unión tipo Simón Vélez modificada a 90°	17
Figura 2. Estructura secadero de café y cacao	18
Figura 3. Disposición de la cubierta de la estructura	19
Figura 4. Dimensiones de la estructura para análisis de cargas de viento	24
Figura 5. Definición de anisotropía propia de la guadua	37
Figura 6. Definición de sección de la guadua	38
Figura 7. Definición de sección ángulos de acero	38
Figura 8. Definición de cargas	39
Figura 9. Modelo matemático tridimensional vista general	39
Figura 10. Modelo matemático tridimensional vista frontal	40
Figura 11. Modelo matemático tridimensional vista lateral	40
Figura 12. Identificación de nudos en el modelo matemático	41
Figura 13. Identificación de elementos en el modelo matemático	41
Figura 14. Carga viva (cacao) – eje 1 (kN)	42
Figura 15. Carga viva (cacao) – eje 2 (kN)	42
Figura 16. Carga viva (personas haciendo mantenimiento) (kN)	43
Figura 17. Carga de granizo – eje 1 (kN)	43
Figura 18. Carga de granizo – eje 2 (kN)	44
Figura 19. Carga de viento sentido X – eje 1 (kN)	44
Figura 20. Carga de viento sentido X – eje 2 (kN)	45
Figura 21. Carga de viento en la cubierta sentido X (kN)	45

Figura 22. Carga de viento sentido Y – eje A (kN)	46
Figura 23. Carga de viento sentido Y – eje B (kN)	46
Figura 24. Carga de viento en la cubierta sentido Y (kN)	47
Figura 25. Diagrama de momentos – eje 1 (kN-m)	54
Figura 26. Diagrama de momentos – eje 2 (kN-m)	54
Figura 27. Diagrama de fuerzas cortantes – eje 1 (kN)	55
Figura 28. Diagrama de fuerzas cortantes – eje 2 (kN)	55
Figura 29. Identificación de los nudos de la cimentación en el modelo	62

Lista de tablas

Tabla 1. Características generales del proyecto estructural	20
Tabla 2. Peso elementos de la estructura	23
Tabla 3. Valores de cargas de viento de diseño de la estructura	27
Tabla 4. Valores de cargas de viento torsionales	27
Tabla 5. Propiedades suelo tipo D	32
Tabla 6. Espectro de diseño	33
Tabla 7. Peso propio de la estructura para análisis sísmico	33
Tabla 8. Cortante basal	33
Tabla 9. Desplazamientos por sismo sentido X nudos 13 y 17	48
Tabla 10. Desplazamientos por sismo sentido Y nudos 13 y 17	48
Tabla 11. Desplazamientos por sismo sentido X nudos 14 y 18	49
Tabla 12. Desplazamientos por sismo sentido Y nudos 14 y 18	49
Tabla 13. Desplazamientos por sismo sentido X nudos 15 y 20	50
Tabla 14. Desplazamientos por sismo sentido Y nudos 15 y 20	50
Tabla 15. Desplazamientos por sismo sentido X nudos 16 y 19	51
Tabla 16. Desplazamientos por sismo sentido Y nudos 16 y 19	51
Tabla 17. Irregularidad torsional nudos 13 y 14	52
Tabla 18. Irregularidad torsional nudos 15 y 16	52
Tabla 19. Irregularidad torsional nudos 13 y 15	53
Tabla 20. Irregularidad torsional nudos 14 y 16	53
Tabla 21. Datos de sección guadua para diseño de vigas	56

Tabla 22. Valores de reacciones en los apoyos de la estructura

63

Lista de anexos

Anexo 1. Cartilla proceso constructivo 66

Anexo 2. Plano estructural 66

Introducción

En Colombia se denominan pequeños productores de café y cacao a los campesinos que poseen en sus fincas menos de 5 hectáreas cultivadas de estos productos, y según las estadísticas de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para el año 2014: “existen 563.000 familias cafeteras de las cuales el 96% poseen fincas menores a 5 hectáreas cultivadas de café”. Este grupo de campesinos cafeteros no cuenta con los ingresos necesarios para construir estructuras con materiales convencionales para garantizar un óptimo proceso de secado del café y el cacao por los altos costos que implican la construcción de las mismas. Como solución a esta problemática se puede recurrir al uso de materiales propios de la región como la guadua angustifolia que es abundante en las regiones cafeteras de nuestro país y que además constituyen una materia prima de gran resistencia y de bajo costo, tanto así que es denominada por muchos autores como: “el acero vegetal”. Para lograr una estructura con la resistencia requerida para un secadero de café se debe elaborar un esquema o propuesta estructural que sea lo suficientemente estable, económica, funcional y fácil de construir pensando en técnicas de construcción que puedan ser plasmadas en una cartilla de construcción aplicable por cualquier persona sin contar con la asesoría de un técnico.

1. Objetivo General

Diseñar una estructura para el secado de café y cacao que garantice la funcionalidad requerida de la actividad cafetera y que además su construcción se haga aprovechando los recursos naturales de fácil acceso para los pequeños productores en Colombia.

2. Objetivos Específicos

1. Recolectar la información a cerca de las técnicas que rigen el proceso de secado del café y cacao en nuestro país que debamos tener en cuenta en el diseño de la estructura.
2. Investigar las metodologías más adecuadas para el manejo estructural de la guadua angustifolia reglamentado en Colombia.
3. Investigar los tipos de uniones y amarres adecuados para las estructuras en guadua reglamentarios en Colombia y las normas técnicas que rigen este tipo de material.
4. Diseñar una estructura con criterios técnicos que garanticen estabilidad con el uso de la guadua angustifolia como materia prima principal.
5. Diseñar una cimentación adecuada que se pueda utilizar en la construcción de la estructura que aplique al tipo de suelos característico de las zonas cafeteras de Colombia.
6. Elaborar una cartilla para la construcción sencilla de la estructura de secado de café.

3. Método

Para el presente trabajo de diseño de una estructura para el secado del café y el cacao de fincas de producción minoritaria de estos productos, se realizará un análisis de la materia prima de construcción de la estructura (*Guadua Angustifolia*), dicho análisis consiste en una descripción de la planta, recomendaciones para su cosecha y almacenamiento, métodos de curado para garantizar una mayor resistencia y durabilidad; se decidirán las técnicas para las uniones con *guadua Angustifolia* más apropiadas para la estructura teniendo en cuenta las investigaciones y resultados técnicos existentes para tal fin; diseño de cimentación de la estructura teniendo en cuenta las propiedades comunes de los suelos de las regiones cafeteras de Colombia; listado de materiales a utilizar en la construcción de la estructura y las herramientas a utilizar para su construcción.

4. Descripción de la *Guadua Angustifolia*.

La *guadua angustifolia* es una planta originaria de Colombia, Venezuela y Ecuador, se encuentra en estado natural a la orilla de ríos y quebradas en el piedemonte de las cordilleras de la zona andina entre los 0 y 2000msnm, se observa en forma de colonias dominantes conocidas comúnmente como los “*guadales*”, en Colombia es utilizada como materia prima para la construcción de vivienda especialmente en las regiones cafeteras.

La *guadua* es de tallo leñoso, de forma cilíndrica, hueca, con membranas interiores fáciles de perforar. Muy fibrosa, lo cual le da una gran capacidad de resistencia a la compresión y mucha flexibilidad en sus primeros años – seis meses – dos años. El enmarañamiento, las ramas de espinos punzantes y las vainas recubiertas por una pelusa aterciopelada de color café oscuro, las cuales pican al tacto hacen difícil la entrada a los sembrados de *guadua*.

(Castro, 1985, p.12)

5. Recomendaciones para la cosecha y almacenamiento de la guadua Angustifolia

En el proceso de recolección y almacenamiento de la guadua se deben tener en cuenta unas recomendaciones con respecto a la edad mayor a dos años en la que se debe cosechar y los métodos de secado de la misma para que se garantice un producto final con buenas propiedades mecánicas y que pueda ser empleada como elemento estructural. Del contenido de humedad de los tejidos de la guadua depende la durabilidad y resistencia de la misma. Además se debe aplicar un proceso de inmunización para evitar que los hongos y xilófagos a los que está expuesta deterioren la estructura y pierda capacidades mecánicas.

6. Secado y preservación de la guadua angustifolia

El servicio nacional de aprendizaje SENA en su artículo caracterización ocupacional de la guadua, presenta algunos parámetros para el secado y preservación de la guadua:

Respecto al proceso de secado, en los últimos años se ha tratado de desarrollar métodos alternativos; al secado de la madera aserrada por aire caliente climatizado o deshumificador pero son pocos los que han tenido aplicación, por ser costosos y porque los industriales deben asumir los niveles de riesgo. Por ello, el secado al aire libre, y con energía solar por radiación siguen siendo los más usados por los empresarios. A continuación se enuncian los métodos de secado utilizados en la actualidad y los de mayor posibilidad de implementar a futuro:

- Secado al aire libre o natural.
- Secado al aire libre, seguido de secado en cámara convencional.
- Secado con deshumificador.
- Secado solar.

Se conocen pretratamientos de preservación natural; que se refuerzan; en muchos casos, con los tratamientos de preservación química, de igual manera, estos últimos se aplican sin requerir el curado natural. De ahí la importancia, de presentar los diferentes métodos que aplican las empresas del sector en la actualidad, entre estos:

Tratamientos sin químicos

- Curado en mata.
- Curado por inmersión en agua.
- Curado con humo.
- Hervido.

Tratamientos con químicos

- Inmersión con solución de ácido bórico y bórax.
- inyección, inmersión o aspersion con productos químicos (lorsban, xilamon, entre otros).
- Boucherie modificado con solución preservante.

7. Tipos de uniones en estructuras con guadua

Existen diferentes tipos de uniones utilizados para elaborar estructuras en guadua que son reguladas por las normas de construcción colombianas, estas uniones se definen de acuerdo con la estructura que se vaya a realizar, la función y tamaño entre otros aspectos.

Jaramillo & Sanclemente (2003) refieren en sus estudios de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos, los resultados de pruebas de esfuerzo en uniones con guadua utilizando diferentes métodos de acuerdo al ángulo que se requiere unir. Para nuestro caso se adoptará la unión tipo SV (Simón Vélez Modificado) que utiliza una varilla de acero roscada #4 y mortero fluido con resistencia a 28 días de 21Mpa para relleno de los canutos. Este tipo de uniones ya han sido ensayados por diferentes autores y se han

establecido parámetros de resistencia los cuales no son el objeto de investigación del presente proyecto.

Figura 1: Unión tipo Simón Vélez Modificado a 90°



Fuente: Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos.

Todas las uniones de la estructura tienen una disposición angular de 90° y se hacen con varilla roscada de 12,7 mm la cual va embebida en el relleno del canuto con una arandela y tuerca que resista la tracción, esta debe estar bien centrada de tal modo que facilite el armado y tensión de la pieza de guadua en la estructura.

En esta unión, se denomina unión con barra embebida axial.

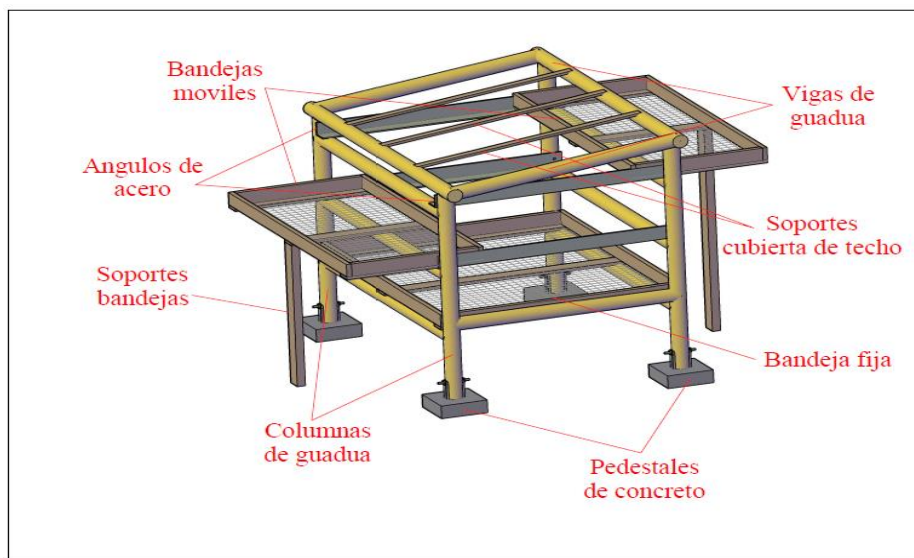
El elemento conector debe ser una varilla de diámetro mínimo No. 3 (9,5mm). Si es corrugada debe ir figurada en el extremo, o si es roscada debe llevar tuerca y arandela, su longitud mínima debe ser igual a la longitud de los dos primeros entrenudos. (NTC 5407, 2006, p.9)

8. Diseño de la estructura de secado de café y cacao

La estructura está construida principalmente con guadua angustifolia debidamente procesada, para la modelación matemática se utiliza un diseño en el cual se emplean 12 guaduas como vigas y 4 guaduas como columnas que se distribuyen como se observa en la

figura, se construyen 3 bandejas con madera y malla metálica en la parte inferior para facilitar la circulación del aire, estas se utilizan para el secado del café y el cacao de las cuales una está fija en la parte inferior de 1,5 m por 2 m y dos están montadas sobre ángulos metálicos en la parte superior para poderlas desplazar hacia los costados como se aprecia en la figura de dimensiones 0,90 m por 2 m. Las bandejas superiores móviles se deslizan por a través de dos ángulos de acero, la finalidad de las bandejas móviles es que en días soleados y sin lluvia se puedan desplazar para que tengamos más área expuesta al sol y así favorecer el secado del café o cacao y en días con presencia de lluvia estas se mueven al interior de la estructura y así proteger el producto de la lluvia. Las dimensiones de la estructura son: 2,0 m de largo, 1,5 m de ancho y 1.9 m de alto.

Figura 2: Estructura secadero café y cacao

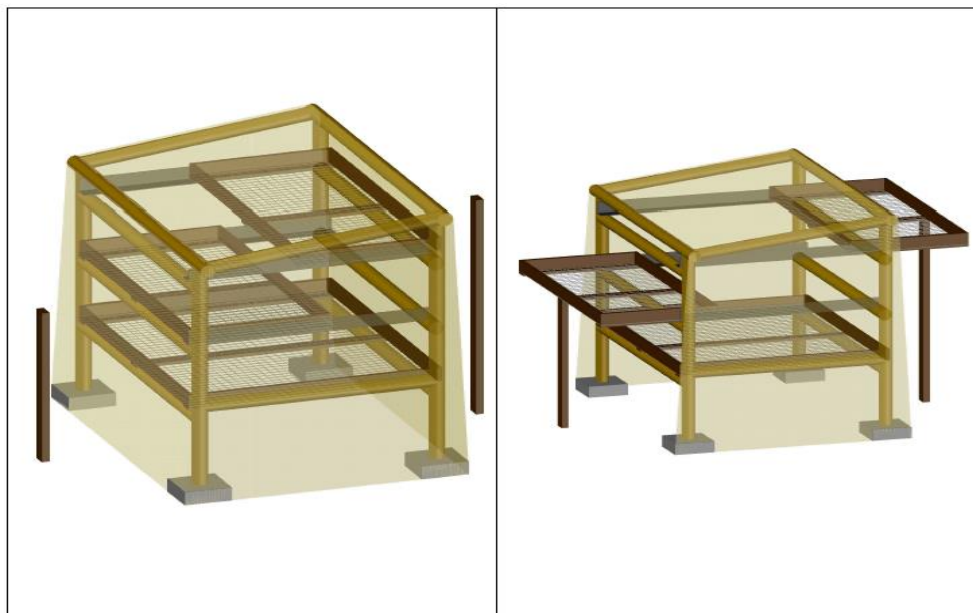


Fuente: Elaboración propia.

La estructura lleva una cubierta con plástico de calibre No. 8 transparente el cual en los laterales y la parte superior de la estructura está fijo y en la parte trasera y frontal de la

estructura queda móvil, es decir, que se puede enrollar hacia la parte superior de la estructura cuando se vayan a desplazar las bandejas móviles hacia afuera de la estructura.

Figura 3: Disposición de la cubierta de la estructura



Fuente: Elaboración propia.

Para las medidas de la estructura en general se tuvo en cuenta la estatura promedio de una persona para que se facilite la operación de la misma en el proceso de secado del café.

9. Propiedades físicas del café y del cacao

Para el cálculo de la capacidad de producción de la estructura es necesario conocer las propiedades físicas del café y cacao. El café tiene una densidad de 678.31 kg/m^3 en estado húmedo y 391.44 kg/m^3 en estado seco (FNC, 2008). De acuerdo con el diseño de la estructura tenemos un área de 5.71 m^2 y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia recomienda que para lograr un buen tiempo de secado la altura de la capa de café en la bandeja no debe exceder los 0.05m , bajo este criterio tenemos que la estructura tiene una capacidad total en volumen de 0.29 m^3 y en peso de café escurrido o húmedo de 193.56 kg que representaría una producción de 111.70 kg de café seco de agua en un proceso de secado completo. Para el caso del cacao, el proceso de secado se debe iniciar después de un proceso de fermentación, la densidad de los granos de cacao fermentado es de 775 kg/m^3 y

de cacao seco para la venta es de 635 kg/m^3 (FAO, 2014), es decir que como el secadero tiene una capacidad en volumen de 0.29 m^3 el peso de cacao fermentado que la estructura debe soportar es de 221.26 kg y cuando este producto este seco debe pesar 181.29 kg .

10. Análisis de estabilidad de la estructura

Para la modelación matemática de la estructura se tuvieron en cuenta los parámetros establecidos en la norma NSR-10 Título G, que se aplican para este tipo de construcciones en guadua en Colombia y se utilizó el Software SAP2000 para la simulación y análisis tridimensional de la misma. El diseño ha tenido en cuenta una capacidad portante del terreno superior a 50 kN/m^2 . Para una capacidad portante inferior a esta el presente diseño no aplica.

Tabla 1. Características generales del proyecto estructural.

Número de Pisos	Uno (1)
Uso, Localización y Nivel de Amenaza Sísmica de acuerdo A APÉNDICE A-4(NSR-10)	Rural-Secadero de Café y cacao. Localización: Rivera Huila (suelo típico de regiones cafeteras en Colombia)
Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de Amenaza sísmica de los municipios colombianos	Aa=0.30 Av=0.20 Ae=0.20 Ad=0.08 Nivel de amenaza Sísmica Alta
Área de Construcción	3.91 m^2
Altura máxima respecto a la Cimentación	1.90 m
Sistema Estructural	Pórticos
Método de Cálculo usado	Esfuerzos Admisibles

Método de Cálculo Sismo-resistente	Fuerza Horizontal Equivalente
Procesamiento Digital	Programa SAP2000 Análisis Tridimensional
Materiales especificados	Guadua Angustifolia, propiedades mecánicas de acuerdo al título G.12.7.3 ESFUERZOS ADMISIBLES Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD Tablas G12.7.1 y G.12.7.2 (NSR-10) Fb Flexión 15KN Ft Tracción 18 KN Esfuerzos admisibles Fi (MPa), CH=12% Módulo de Elasticidad promedio $E_{0,5} = 9500$ MPa Concreto 21MPa Acero de refuerzo - 420 MPa Pernos de Anclaje SAE Roscados
Tipo de Cimentación	Pedestales en concreto reforzado.
Tipo de Placa entrepiso	No Aplica
Cargas	Carga Viva: Cubierta 0.50 kN/m^2 Carga de Granizo: Granizo 1.0 kN/m^2 Sismo acorde a Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10. Velocidad del Viento 33 m/s.

Fuente: Elaboración propia

10.1. Evaluación de Cargas

10.1.1. Carga muerta

La carga permanente o muerta la constituye el peso propio de los componentes de la estructura y todas aquellas cargas que estén presentes todo el tiempo sobre la estructura.

Las magnitudes de las cargas generadas por el peso propio de la estructura son calculadas por el programa de análisis y se consideran sobre la hipótesis de carga al activar el factor de auto multiplicador de carga.

Se toma una carga muerta para el peso de cubierta de 0.5 kN/m^2 .

10.1.2. Carga temporal o carga viva

Las cargas temporales son las producidas por el uso y ocupación de la estructura. Dentro de las cargas se tienen las generadas por personal de operación y mantenimiento y por la operación normal de los equipos. Y aquellas especiales que pueden estar presentes o no en un instante de tiempo; estas cargas no están presentes todo el tiempo en la estructura.

Para determinar el peso de carga viva, se toma el peso del cacao que es superior al del café, se divide sobre el área en planta y luego se multiplica por su ancho aferente.

$$W \text{ cacao} = 221.26 \text{ kg (2.21 kN)}$$

$$\text{Ancho aferente} = 1.00 \text{ m}$$

$$W \text{ cacao} = 221.26 \text{ kg} / (2 \text{ m} \times 1.50\text{m})$$

$$W \text{ cacao} = 73.75 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga lineal} = W \text{ cacao} \times \text{ancho aferente}$$

$$\text{Carga lineal} = 73.75 \text{ kg/m}^2 \times 1.0 \text{ m}$$

$$\text{Carga lineal} = 73.75 \text{ kg/m (0.56 kN/m)}$$

A parte se asume el peso de una persona de 80 kg sobre la cubierta y carga viva de 0.50 kN/m^2 .

10.1.3. Carga de granizo

La NSR-10 exige que las cargas de granizo deban tomarse en cuenta en las regiones del país con más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar o en lugares de menor altura donde la autoridad municipal o distrital así lo exija.

La carga que se toma es de 1.0 kN/m^2 .

A continuación se presenta el avalúo de las cargas:

Tabla 2: Peso elementos de la estructura

<i>Peso columnas</i>					
<i>Nivel</i>	<i>No. elementos</i>	<i>Altura m</i>	<i>Área m²</i>	<i>Peso unitario Kg/m³</i>	<i>Peso total Kg</i>
2	2	0.95	2.19E-03	678	2.8
	2	0.85	2.19E-03	678	2.5
Total					5.3
<i>Peso vigas</i>					
<i>Nivel</i>	<i>No. elementos</i>	<i>Altura m</i>	<i>Área m²</i>	<i>Peso unitario Kg/m³</i>	<i>Peso total Kg</i>
2	4	1.5	2.19E-03	678	8.9
	8	2.0	2.19E-03	678	23.8
	4	1.5	1.25E-03	7,800	58.5
Total					91.2
<i>Peso cubierta</i>					
<i>Peso Cubierta:</i>			=	0.50	kN-m ²
Carga muerta			:	0.50	kN-m ²
Carga viva			:	0.50	kN-m ²
Total			:	1.00	kN-m ²

Fuente: Elaboración propia

10.1.4. Carga de viento

Para el análisis de las cargas de viento se utiliza el método analítico establecido en la Sección B.6.5 de la NSR-10 para edificios bajos.

Las cargas aplicadas a la estructura se diferencian entre las cargas que ejerce el viento sobre la estructura propiamente dicha, y las cargas que ejerce el viento sobre los demás accesorios instalados en la estructura.

- Velocidad de diseño

En el análisis se contemplan velocidades de viento de diseño con las cuales se evalúan los esfuerzos máximos y las deformaciones en estado límite de servicio se evalúan a una velocidad de operación en la cual se miden los desplazamientos, para la región cafetera de Colombia la velocidad de diseño más crítica de acuerdo con el mapa de zonas de amenaza eólica de la Figura B.6.4-1 de la NSR-10 es la siguiente:

$$V = 33 \text{ m/s.}$$

- Clasificación del edificio por grupo de uso:

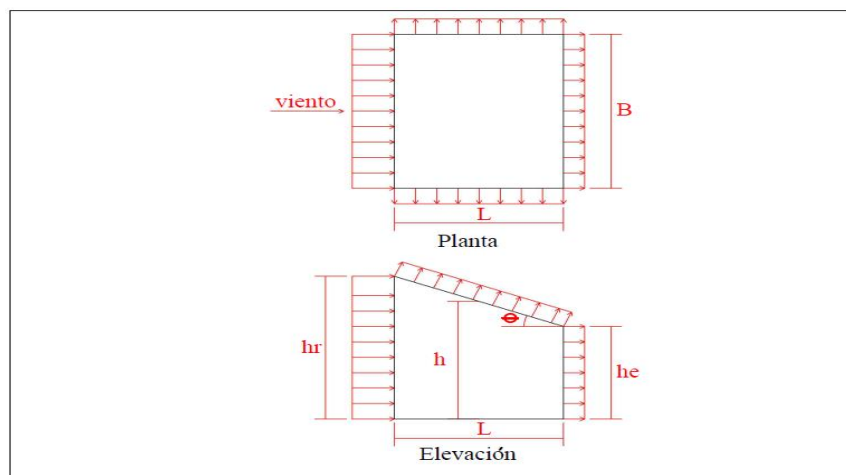
Es la clasificación de la estructura según el grupo de uso de acuerdo con la sección A.2.5.1 de la NSR-10 de categoría de ocupación.

Grupo de uso = **I**

- Dimensiones de la estructura para el análisis de viento:

Para el análisis de cargas de viento se deben identificar las componentes y las dimensiones de la estructura que permitan la aplicación del método analítico establecido en la NSR-10 que utiliza unas formulas y nomenclatura particular para el tipo de estructuras elaboradas en guadua, se deben definir los parámetros de diseño para el chequeo del cumplimiento de la norma sismo resistente colombiana teniendo en cuenta el uso de la estructura y demás propiedades.

Figura 4: Dimensiones de la estructura para análisis de cargas de viento



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO SECADERO DE CAFÉ Y CACAO CONSTRUIDO EN GUADUA

Altura del caballete: $h_r = 1.90$ m

Altura de la cornisa: $h_e = 1.70$ m

Altura promedio cubierta: $h = 1.70$ m, $h = h_e$ para $\Theta \leq 10$ (Figura B.6.4-3 NSR-10)

Ancho del edificio: $L = 1.50$ m

Largo del edificio: $B = 2.00$ m

Ángulo de cubierta: $\Theta = 7.6^\circ$

Tipo de cubierta: Cubierta de una pendiente.

- Factor de dirección de viento: Para tipos de estructuras triangulares, cuadradas o rectangulares (tabla B.6.5-4 NSR-10) el factor de dirección es:

$K_d = 0.85$

- Factor de importancia: Para regiones propensas a huracanes que es la condición más crítica (tabla B.6.5-1 NSR-10) es:

$I = 0,77$

- Categoría de exposición: Para el tipo de estructura (Sección B.6.5.6.3 NSR-10), corresponde:

$K_z = C$

- Constantes de exposición del terreno: Según la tabla B.6.5-2 NSR-10 para una categoría de exposición C corresponde:

$\alpha = 9.5$

$Z_g = 274.3$ m

- Coeficiente de exposición para la presión por velocidad: Basados en la categoría de exposición K_z y las constantes de exposición del terreno para el caso 1b de la tabla B.6.5-3 de la NSR-10

$K_h = 2.01 * (4.5 / Z_g)^{(2/\alpha)}$, cuando $h < 4.5$ m.

$$K_h = 2.01 * (4.5 / 274.3) ^ (2/9.5)$$

$$K_h = 0.85$$

- Factor topográfico: De acuerdo a lo definido en la sección B.6.5.7 y en la figura B.6.5-1 de la NSR-10 el factor topográfico que corresponde a esta estructura construida en una región cafetera en Colombia es:

$$K_{zt} = 1.00$$

- Clasificación del cerramiento: En la sección B.6.2 NSR-10 se definen los edificios cerrados como corresponden para el tipo de estructura diseñada.

Edificio cerrado.

- Coeficiente de presión interna: En la Figura B.6.5-2 de la NSR-10 se definen estos coeficientes que para edificios cerrados, los signos positivo y negativo significa presiones y succiones actuando sobre las superficies internas de la estructura respectivamente:

$$GC_{pi} = 0.18$$

$$GC_{pi} = -0.18$$

- Coeficiente de presión externo: Por interpolación lineal de los valores de la Figura B.6.5-7 de la NSR-10, tenemos:

GC_{pf} = (datos en la tabla) diferentes para cada zona de influencia.

- Presión por velocidad: En la sección B.6.5.10 de la NSR-10 la presión por velocidad está definida por la ecuación B.6.5-13 como sigue:

$$q_h = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I \text{ (qz evaluado en } z = h \text{).}$$

$$q_h = 0.613 * K_h * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

$$q_h = 0.613 * 0.85 * 1 * 0.85 * 33^2 * 0.77$$

$$q_h = 0.37 \text{ KPa}$$

- Carga de viento de diseño: Para edificios bajos aplica la ecuación B.6.5-16 de la sección B.6.5.12.2.2 de la NSR-10

$$p = q_h * [(GC_{pf}) - (GC_{pi})]$$

Tabla 3. Valores de cargas de viento de diseño de la estructura.

<i>Carga de viento SPRFV dirección transversal</i>				<i>Carga de viento SPRFV longitudinal</i>			
<i>Superficie</i>	GC_{pf}	$p=q_h*[(GC_{pf})-(GC_{pi})]$ (KPa)		<i>Superficie</i>	GC_{pf}	$p=q_h*[(GC_{pf})-(GC_{pi})]$ (KPa)	
		(+ GC_{pi})	(- GC_{pi})			(+ GC_{pi})	(- GC_{pi})
Zona 1	0.42	0.09	0.22	Zona 1	0.40	0.08	0.21
Zona 2	-0.69	-0.32	-0.19	Zona 2	-0.69	-0.32	-0.19
Zona 3	-0.39	-0.21	-0.08	Zona 3	-0.37	-0.20	-0.07
Zona 4	-0.31	-0.18	-0.05	Zona 4	-0.29	-0.17	-0.04
Zona 5	-0.45	-0.23	-0.10	Zona 5	-0.45	-0.23	-0.10
Zona 6	-0.45	-0.23	-0.10	Zona 6	-0.45	-0.23	-0.10
Zona 1E	0.64	0.17	0.30	Zona 1E	0.61	0.19	0.29
Zona 2E	-1.07	-0.46	-0.33	Zona 2E	-1.07	-0.46	-0.33
Zona 3E	-0.56	-0.27	-0.14	Zona 3E	-0.53	-0.26	-0.13
Zona 4E	-0.47	-0.24	-0.11	Zona 4E	-0.43	-0.23	-0.09

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de cargas de viento torsionales las presiones en las zonas designadas corresponden al 25% de las presiones de viento totales de diseño de las zonas 1, 2, 3 y 4. (Nota 5. Figura B.6.5-7 de la NSR-10).

Tabla 4. Valores de cargas de viento torsionales.

<i>SPRFV carga viento transversal, caso torsional</i>				<i>SPRFV carga viento longitudinal, caso torsional</i>			
<i>Superficie</i>	GC_{pf}	0.25p (KPa)		<i>Superficie</i>	GC_{pf}	0.25p (KPa)	
		(+ GC_{pi})	(- GC_{pi})			(+ GC_{pi})	(- GC_{pi})
Zona 1T	0.42	0.02	0.06	Zona 1T	0.40	0.02	0.05

Zona 2T	-0.69	-0.08	-0.05	Zona 2T	-0.69	-0.08	-0.05
Zona 3T	-0.39	-0.05	-0.02	Zona 3T	-0.37	-0.05	-0.02
Zona 4T	-0.31	-0.05	-0.01	Zona 4T	-0.29	-0.04	-0.01

Fuente: Elaboración propia

- Definición de zonas para los casos de cargas transversal, longitudinal y torsional:

Zona 1 muro barlovento zona interior

Zona 2 cubierta en barlovento zona interior

Zona 3 cubierta en sotavento zona interior

Zona 4 muro en sotavento zona interior

Zona 5 y 6 muros laterales

Zona 1E muro en barlovento zona final

Zona 2E cubierta barlovento zona final

Zona 3E cubierta sotavento zona final

Zona 4E muro sotavento zona final

Zona 1T muro en barlovento caso torsional

Zona 2T cubierta en barlovento caso torsional

Zona 3T cubierta en sotavento caso torsional

Zona 4T muro en sotavento caso torsional.

10.1.5. Análisis sísmico

El espectro se evalúa con un periodo promedio de retorno de 475 años porque en un sismo cuyo efecto en un lugar de interés tiene una probabilidad de 10% de ser excedidos en un lapso de 50 años.

- Coeficiente de sitio

Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación se evalúan teniendo en cuenta los perfiles de suelos a partir de la superficie del terreno e independiente del tipo de cimentación empleada; dependiendo del concepto del ingeniero geotecnista, el punto a partir el cual inicia el perfil del suelo puede variar, por medio de un estudio acerca de la interacción que pueda existir entre la estructura de contención y el suelo.

- Estudio de respuesta local del suelo

Los parámetros que se utilizan para definir el suelo para los 30 m superiores del mismo, son la velocidad de onda cortante, número medio de golpes del ensayo de penetración estándar, la resistencia media al corte, obtenida del ensayo no drenado en los estratos de los suelos cohesivos, índice de plasticidad, y contenido de humedad en porcentaje.

Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar

Se obtiene por medio de los siguientes pasos:

Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo, esto se obtiene de: la sumatoria del espesor del estrato i , localizado a 30m superiores de perfil, esta sumatoria siempre debe ser 30 m; dividido entre la sumatoria de el espesor del estrato entre el número de golpes por pie obtenidos de la penetración estándar, realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D1586, sin corrección correspondiente al estrato i , este valor no debe ser mayor a 100.

Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en perfiles que contengan suelos no cohesivos, esto se obtiene así: la suma de los espesores de los estratos de suelos no cohesivos, localizados dentro de los 30 m superiores al perfil, divide entre la sumatoria de el espesor del estrato entre el número de golpes por pie obtenidos de la penetración estándar, realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D1586, sin corrección correspondiente al estrato i , este valor no debe ser mayor a 100.

- Resistencia media al corte

Se debe emplear la siguiente relación, la cual solo se aplica para k estratos de suelos cohesivos: suma de los espesores de los k estratos de suelos cohesivos superiores a los 30 m del perfil, dividida entre la sumatoria del espesor del estrato i , localizado a 30m

superiores de perfil entre la resistencia al corte no drenado del estrato i , la cual no debe exceder los 250 KPa.

- Índice de plasticidad

En la clasificación de los estratos de arcilla se emplea el índice de plasticidad, el cual se obtiene cumpliendo la norma ASTM D4318.

- Contenido de humedad

En la clasificación de los estratos de arcilla se emplea el contenido de humedad en porcentaje, el cual se determina por medio de la norma NTC 1495.

- Velocidad de onda de corte

Esta velocidad se obtiene de la sumatoria del espesor del estrato i , localizado a 30m superiores de perfil, esta sumatoria siempre debe ser 30 m; dividido entre la sumatoria de el espesor del estrato entre la velocidad de onda cortante del suelo del estrato.

- Coeficiente de Importancia

El coeficiente de sitio define los grupos de tipos de uso de cada edificación y los valores de acuerdo a su importancia, modifica el espectro de acuerdo con el grupo de uso a que este asignada a la edificación. Para nuestra edificación el coeficiente de importancia (I) es 1.0, esto debido a que el edificio es una estructural de ocupación normal (Tabla A.2.5-1).

- Espectro de Respuesta

El periodo del suelo puede estimarse con la siguiente ecuación, sacada del título H de la NSR – 98.

$$T_n = \frac{4H}{(2n - 1)V_s}$$

Es una situación en la cual la estructura vibra en respuesta a una fuerza aplicada con la frecuencia natural del sistema o con una frecuencia próxima, donde la frecuencia natural es aquella a la que el sistema vibraría si lo desviáramos de su posición de equilibrio y lo

dejáramos moverse libremente. Si se excita un sistema mediante la aplicación continuada de fuerzas externas con la frecuencia natural, la amplitud de la oscilación va creciendo y puede llevar a la destrucción del sistema. El ejemplo más importante de una estructura, que entró en resonancia fue el puente colgante de Tacoma en Washington (EEUU), que tuvo lugar en 1940, este entró en resonancia por vibraciones con la frecuencia natural producida por el viento.

- Periodo Analítico

El valor del periodo fundamental de la edificación T, debe obtenerse a partir de las propiedades de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración, de acuerdo con los principios de la dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente de la estructura. Se puede usar la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

Para el análisis sísmico se utiliza el método de fuerza horizontal equivalente consignado en la NSR-10 Sección A.3.4.2.1.

- Coeficiente del sitio:

$$F_a = 1.20 \quad F_v = 2.00$$

- Tipo de suelo:

Zona = Suelo tipo D

- Coeficiente de importancia:

$$I = 1.00$$

- Coeficiente de disipación de energía:

$$R_o = 1.00$$

- Irregularidad:

$$R = \varphi_a \varphi_p \varphi_r$$

$$\varphi_a = 1.00$$

$$\varphi_p = 1.00$$

$$\varphi_r = 1.00$$

$$R_o = 1.00$$

- Coeficiente de disipación de energía:

$$R_c = (R-1) T / T_c + 1 < R$$

$$R_c = 1.00$$

- H estructura = 1.90 m
- T modelo = 0.533 s
- Aa = 0.30 aceleración horizontal pico efectiva
- Av = 0.20 aceleración velocidad pico efectiva

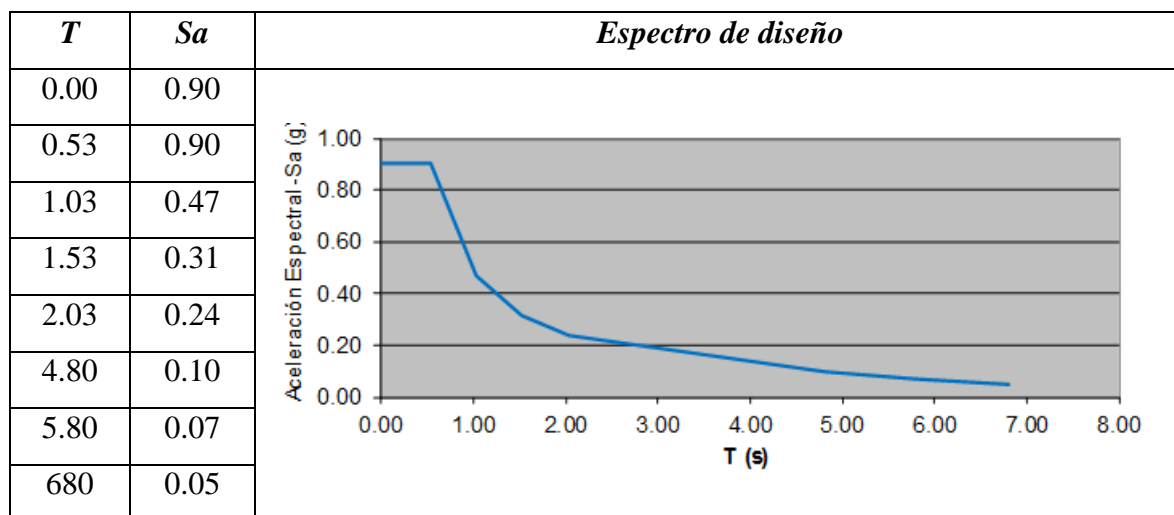
Tabla 5. Propiedades suelo tipo D.

<i>Zona</i>	<i>F_a</i> (475)	<i>F_v</i> (475)	<i>T_c</i> (s)	<i>TL</i> (s)	<i>A_o</i> (g)
Suelo D	1.20	2.00	0.53	4.80	0.30
	Factor de amplificación períodos cortos	Factor de amplificación períodos intermedios	Período corto	Período largo	Aceleración horizontal pico efectiva

Fuente: Elaboración propia

- Sa = 0.90 aceleración espectral para 0 - Tc

Espectro de diseño

Tabla 6. Espectro de diseño.

Fuente: Elaboración propia

Peso del edificio**Tabla 7.** Peso propio de la estructura para análisis sísmico.

<i>Nivel</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Carga muerta (Kg)</i>	<i>Peso vigas y columnas (Kg)</i>	<i>Peso (kN)</i>	<i>Masa (Kg)</i>
Cubierta	1.90	3.00	150.00	91.20	2.412	24.59
Total					2.412	24.59

Fuente: Elaboración propia

Cortante basal

$$V = S_a * W$$

$$V = 0.90 * 241.20$$

$$V = 217.08 \text{ Kg-f}$$

Tabla 8. Cortante basal.

<i>Nivel</i>	<i>m * h^k</i>	<i>Cvx</i>	<i>Fx</i>	<i>E</i>	<i>E30%</i>
Cubierta	468.37	1.00	217.08	217.08	65.12

Total	468.37	1.00	217.08	217.08	65.12
-------	--------	------	--------	--------	-------

Fuente: Elaboración propia

10.2. Combinaciones de cargas

Siguiendo lo establecido en NSR-10 en el Capítulo B.2.3 de **cargas** se tomaron las combinaciones para diseño:

COMB 1	$1.0D + 1.0L$
COMB 2	$1.0D + 1.0G$
COMB 3	$1.0D + 0.75L + 0.75G$
COMB 4	$1.0D + 1.0W_x$
COMB 5	$1.0D + 1.0W_x$
COMB 6	$1.0D + 0.7E_x + 0.21E_y$
COMB 7	$1.0D + 0.7E_x - 0.21E_y$
COMB 8	$1.0D - 0.7E_x + 0.21E_y$
COMB 9	$1.0D - 0.7E_x - 0.21E_y$
COMB 10	$1.0D + 0.21E_x + 0.7E_y$
COMB 11	$1.0D - 0.21E_x + 0.7E_y$
COMB 12	$1.0D + 0.21E_x - 0.7E_y$
COMB 13	$1.0D - 0.21E_x - 0.7E_y$
COMB 14	$1.0D + 0.7L + 0.75W_x + 0.75G$
COMB 15	$1.0D + 0.7L + 0.75W_y + 0.75G$
COMB 16	$1.0D + 0.75 (0.7E_x) + 0.75 (0.21E_y) + 0.75L + 0.75G$
COMB 17	$1.0D + 0.75 (0.7E_x) - 0.75 (0.21E_y) + 0.75L + 0.75G$
COMB 18	$1.0D - 0.75 (0.7E_x) + 0.75 (0.21E_y) + 0.75L + 0.75G$
COMB 19	$1.0D - 0.75 (0.7E_x) + 0.75 (0.21E_y) + 0.75L + 0.75G$
COMB 20	$1.0D + 0.75 (0.21E_x) + 0.75 (0.7E_y) + 0.75L + 0.75G$

DISEÑO SECADERO DE CAFÉ Y CACAO CONSTRUIDO EN GUADUA

COMB 21	$1.0D-0.75 (0.21Ex)+0.75 (0.7Ey)+0.75L+ 0.75G$
COMB 22	$1.0D+0.75 (0.21Ex)-0.75 (0.7Ey)+0.75L+ 0.75G$
COMB 23	$1.0D-0.75 (0.21Ex)-0.75 (0.7Ey)+0.75L+ 0.75G$
COMB 24	$0.6D+W_x$
COMB 25	$0.6D+W_y$
COMB 26	$0.6D+0.7Ex+0.21Ey$
COMB 27	$0.6D+0.7Ex-0.21Ey$
COMB 28	$0.6D-0.7Ex+0.21Ey$
COMB 29	$0.6D-0.7Ex-0.21Ey$
COMB 30	$0.6D+0.21Ex+0.7Ey$
COMB 31	$0.6D-0.21Ex+0.7Ey$
COMB 32	$0.6D+0.21Ex-0.7Ey$
COMB 33	$0.6D-0.21Ex-0.7Ey$

Para la verificación de derivas se tomaron las siguientes combinaciones:

DER 1	$1.0 D+1.0L+1.0S_x+0.3S_y$
DER 2	$1.0 D+1.0L+1.0S_x-0.3S_y$
DER 3	$1.0 D+1.0L-1.0S_x+0.3S_y$
DER 4	$11.0 D+1.0L-1.0S_x-0.3S_y$
DER 5	$1.0 D+1.0L+0.3S_x+1.0S_y$
DER 6	$1.0 D+1.0L-0.3S_x+1.0S_y$
DER 7	$1.0 D+1.0L+0.3S_x-1.0S_y$
DER 8	$1.0 D+1.0L-0.3S_x-1.0S_y$

De donde:

D = Carga Muerta.

L = Carga Viva.

G = Carga de granizo.

Ex = Carga Sísmica dividida por el coeficiente de disipación de energía en el sentido longitudinal.

Ey = Carga Sísmica dividida por el coeficiente de disipación de energía en el sentido transversal.

Fx = Carga sísmica en sentido longitudinal.

Fy = Carga sísmica en sentido transversal.

Wx= Carga del viento en el sentido longitudinal.

Wy= Carga del viento en el sentido transversal.

10.3. Modelo estructural

El modelo estructural se genera a partir de la geometría planteada, se evalúan las secciones de los elementos de acuerdo a las cargas generadas por las condiciones de uso, se incluyen en el modelo matemático las propiedades de los materiales, peso volumétrico. Módulo de elasticidad, y siguiendo lo estipulado en la NSR – 10.

El análisis de la estructura se realiza considerando un modelo tridimensional, desarrollado a partir de la discretización con elementos tipo “Frame” para las vigas y columnas. La geometría de la estructura, la continuidad y las condiciones de apoyo respectivas se simulan por medio del programa de computadora especializado en análisis de estructuras SAP2000, verificando los resultados con la ayuda de tablas de análisis de datos en el examen y diseño de cada elemento. Debe someterse el modelo correspondiente a todas las condiciones de carga y sus combinaciones para obtener los esfuerzos internos.

Se tuvieron en cuenta todas las cargas involucradas para el sistema estructural de la edificación (gravitacionales como lo son la muerta y la viva, sísmicas) y sus respectivas combinaciones, de acuerdo con los criterios estructurales. La evaluación de cargas sísmicas se realizó mediante el método de fuerza horizontal equivalente.

Los criterios tenidos en cuenta para esta modelación son los siguientes:

- Elementos tipo “frame” con seis grados de libertad por nudo para vigas y columnas.
- Análisis sísmico mediante el método de la Fuerza horizontal equivalente (FHE).
- Coeficiente de disipación de energía $R = 1.0$

10.4. Modelo matemático tridimensional

Se ingresan los datos obtenidos del análisis de cargas al software SAP2000, definiendo las propiedades de la guadua y la configuración de cada una de las secciones de los elementos que componen la estructura.

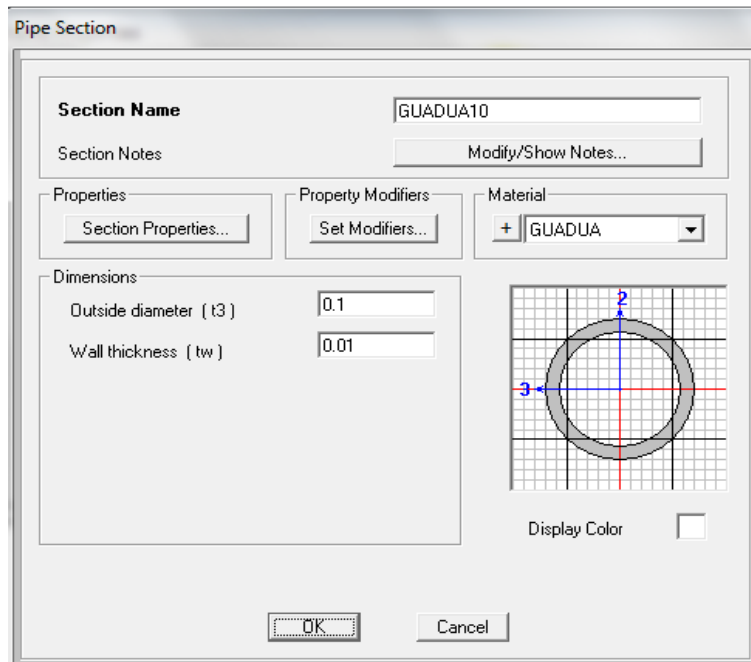
La guadua es un material anisotrópico debido a la composición y forma de sus fibras, esta característica se debe definir en las propiedades del material ingresadas en el software para la modelación de la estructura.

Figura 5: Definición de anisotropía propia de la guadua

Property	Value
Material Name	GUADUA
Material Type	Other
Symmetry Type	Anisotropic
Modulus of Elasticity (E1, E2, E3)	9316318
Poisson's Ratio (U12, U13, U23)	0.3
Shear Modulus (G12, G13, G23)	1000
Coeff of Thermal Expansion (A1, A2, A3)	1.170E-05
Weight and Mass (Weight per Unit Volume, Mass per Unit Volume)	7.7428, 0.79
Units	KN, m, C

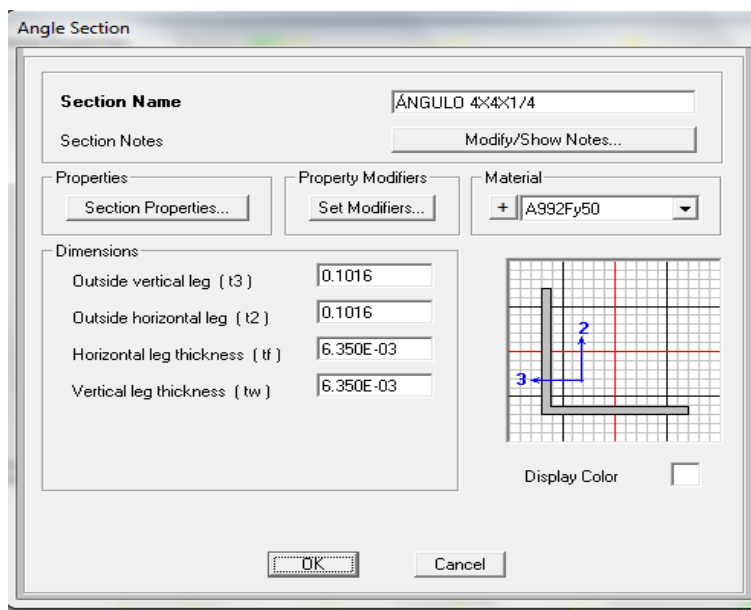
Fuente: Software SAP2000

Para el ingreso de las dimensiones de la sección típica de una guadua se modela de forma cilíndrica y se toman un diámetro externo del culmo de 0.10 m y un espesor de pared de 0.01 m.

Figura 6: Definición de sección de la guadua

Fuente: Software SAP2000

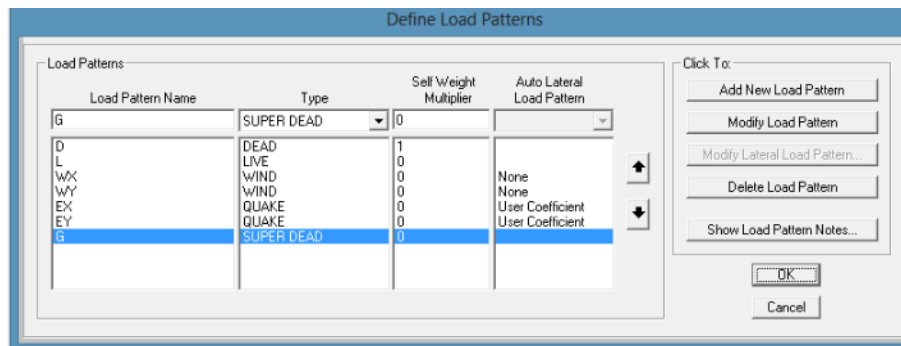
Se definen tanto las propiedades mecánicas de los ángulos de acero como la sección del tipo de elementos que componen la estructura.

Figura 7: Definición de sección ángulos de acero

Fuente: Software SAP2000

Se definen todas las cargas que se le van a aplicar a la estructura, se deben definir los tipos de cargas con sus direcciones y magnitudes correspondientes y obtenidas de los análisis de cargas que se hicieron en la sección anterior.

Figura 8: Definición de cargas



Fuente: Software SAP2000

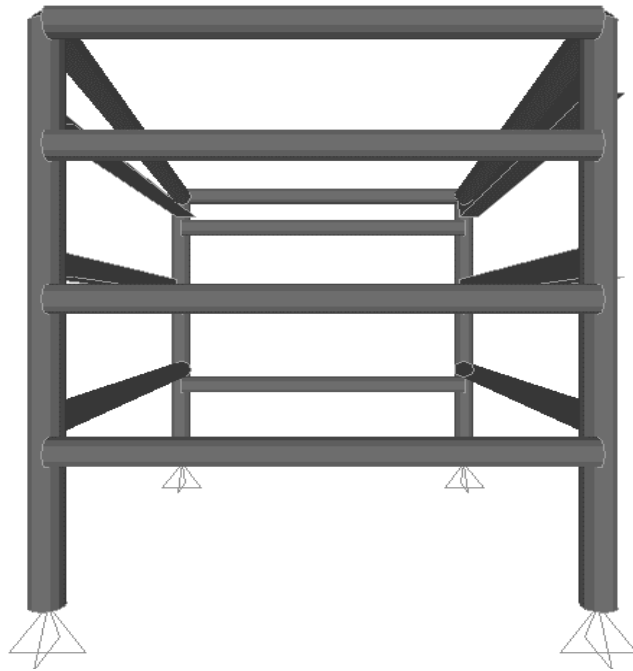
El software muestra las diferentes vistas de la estructura modelada y con las dimensiones exactas de la misma.

Figura 9: Modelo matemático tridimensional vista general



Fuente: Software SAP2000

Figura 10: Modelo matemático tridimensional vista frontal



Fuente: Software SAP2000

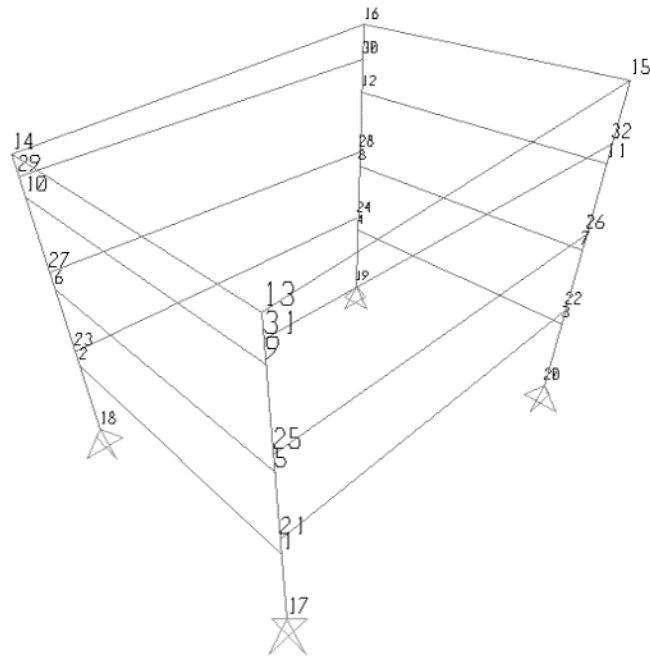
Figura 11: Modelo matemático tridimensional vista lateral



Fuente: Software SAP2000

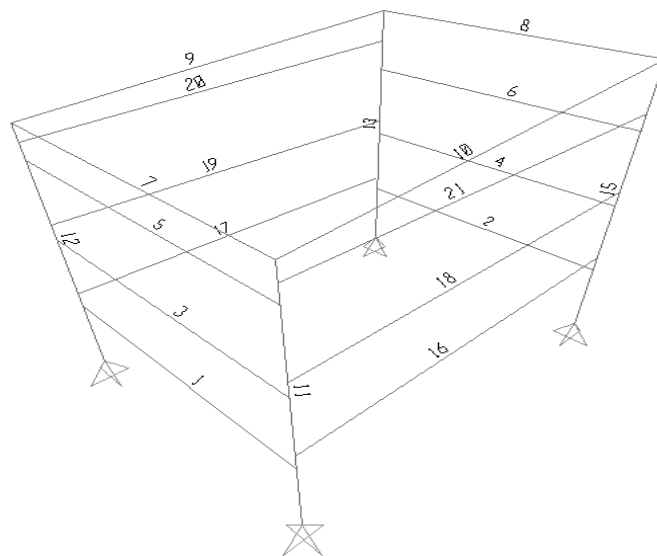
Es importante definir e identificar los diferentes elementos de la estructura para que los resultados de la simulación de aplicación de cargas sea correcta, para esto se identifican todos los elementos como son las uniones, apoyos, vigas y columnas.

Figura 12: Identificación de nudos en el modelo matemático



Fuente: Software SAP2000

Figura 13: Identificación de elementos en el modelo matemático



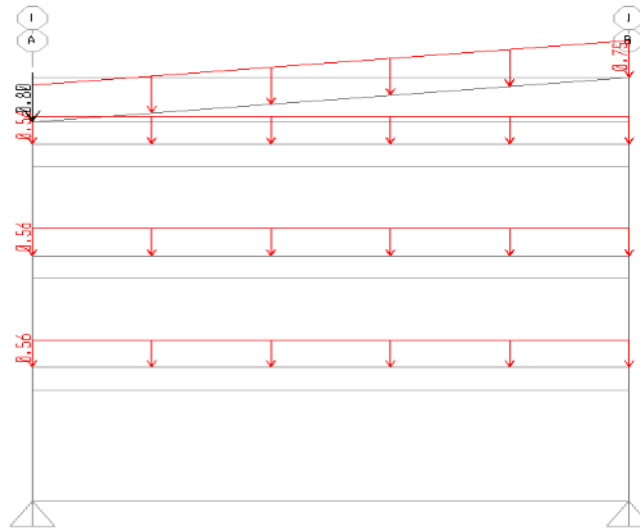
Fuente: Software SAP2000

10.5. Distribución de cargas en elementos

A continuación se presentan las diferentes cargas que se aplican a la estructura para su modelación matemática tridimensional y simulación de deflexiones y movimientos en el software SAP2000, los valores aplicados al modelo son los obtenidos en los análisis individuales de cargas.

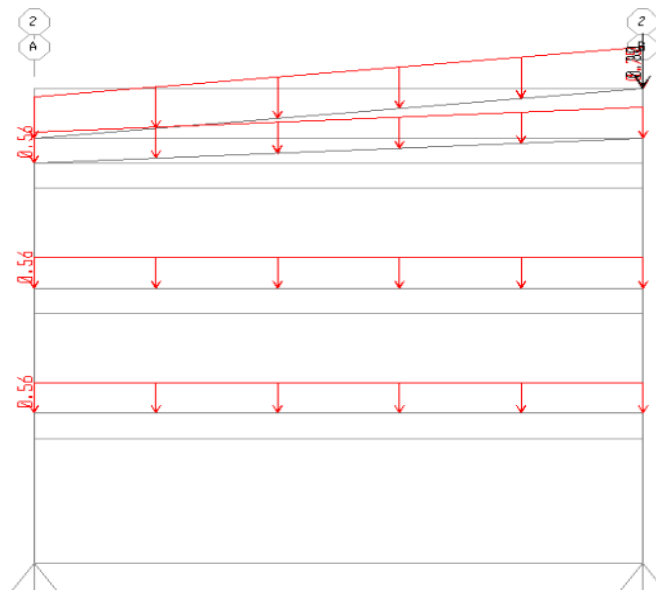
Carga viva

Figura 14: Carga viva (cacao) – eje 1 (kN)



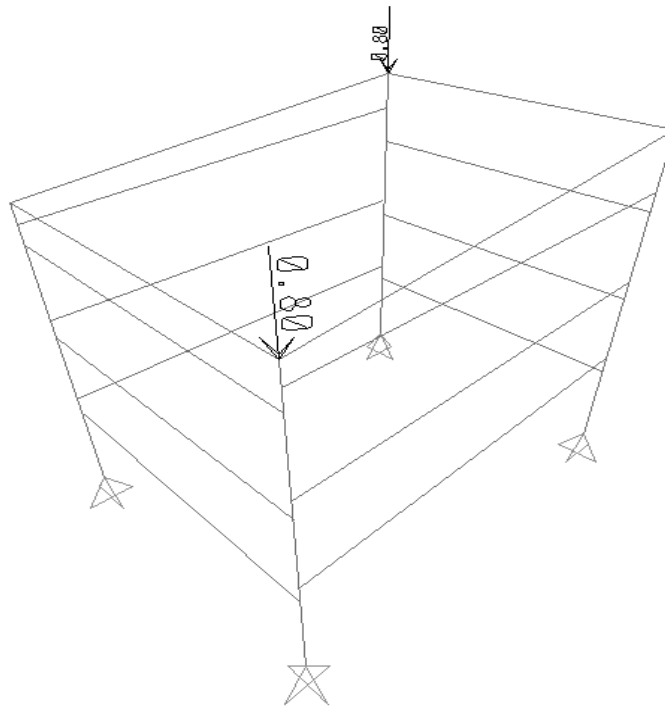
Fuente: Software SAP2000

Figura 15: Carga viva (cacao) – eje 2 (kN)



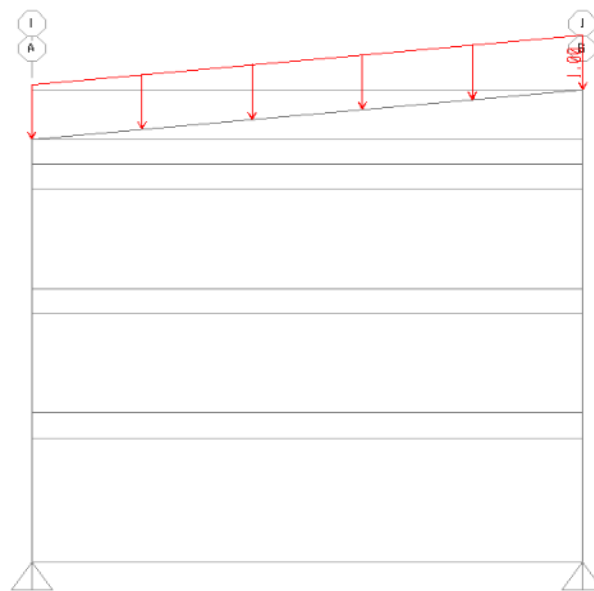
Fuente: Software SAP2000

Figura 16: Carga viva (personas haciendo mantenimiento) (kN)



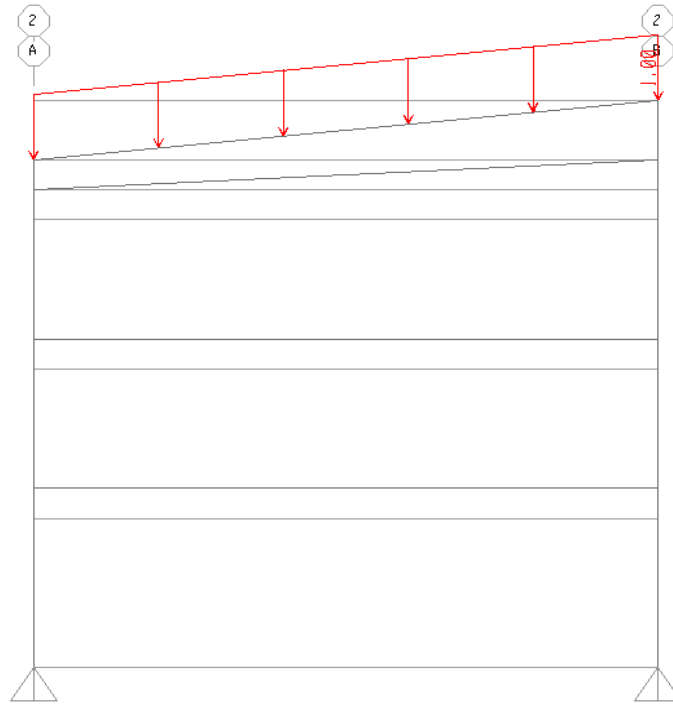
Fuente: Software SAP2000

Figura 17: Carga de granizo – eje 1 (kN)



Fuente: Software SAP2000

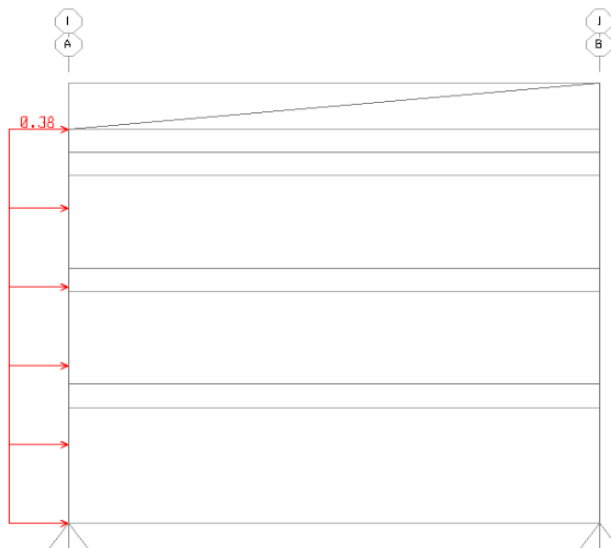
Figura 18: Carga de granizo – eje 2 (kN)



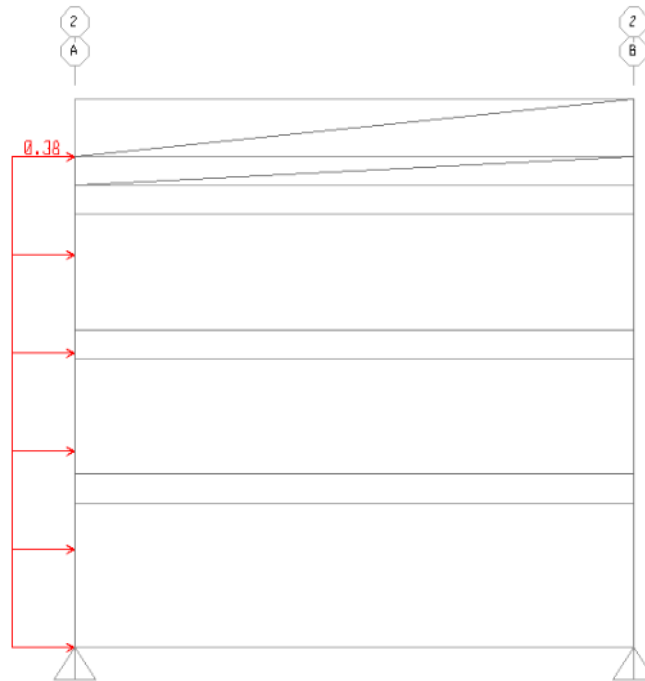
Fuente: Software SAP2000

Cargas de viento

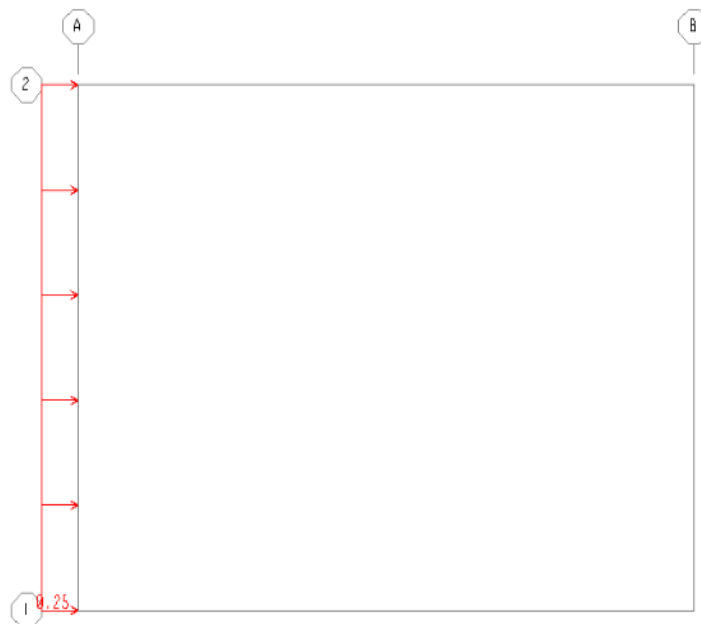
Figura 19: Carga de viento sentido X – eje 1 (kN)



Fuente: Software SAP2000

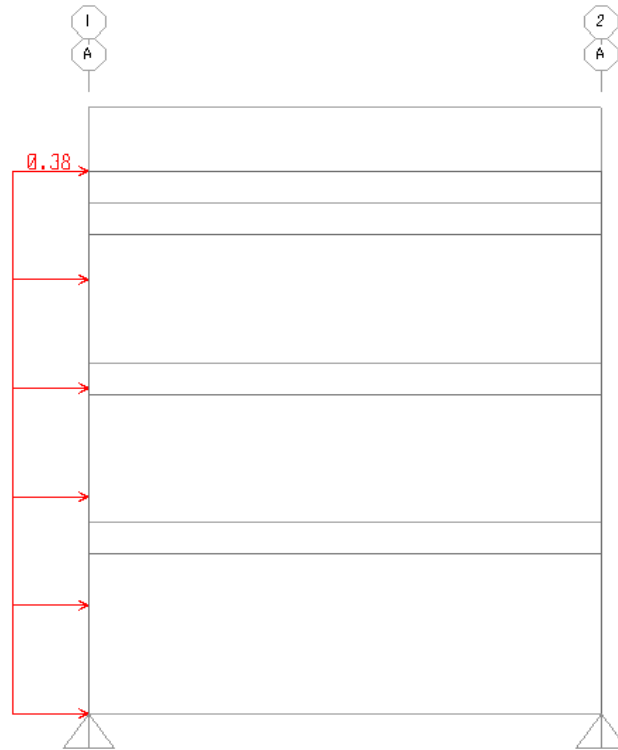
Figura 20: Carga de viento sentido X – eje 2 (kN)

Fuente: Software SAP2000

Figura 21: Carga de viento en la cubierta sentido X (kN)

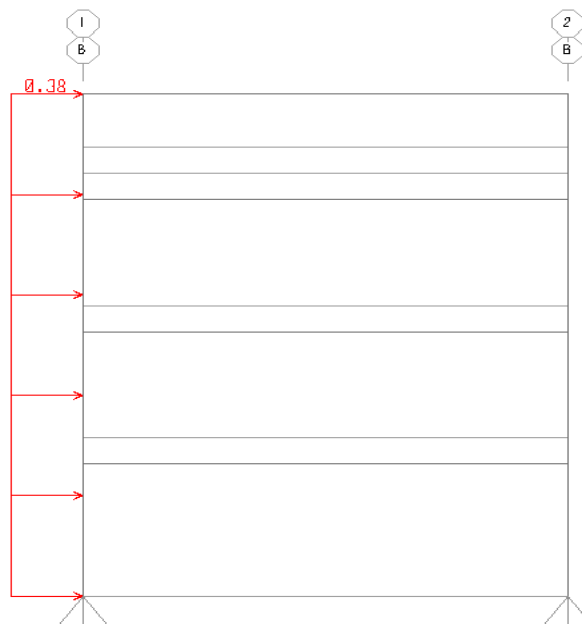
Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Carga de viento sentido Y – eje A (kN)

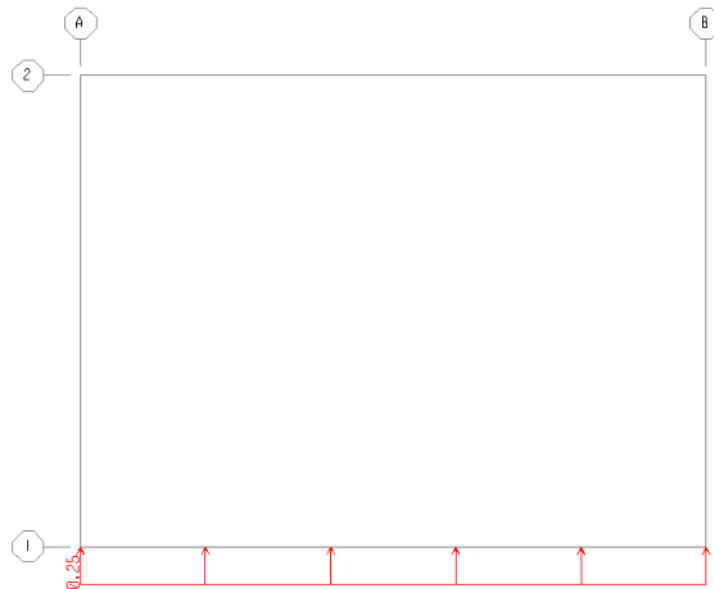


Fuente: Software SAP2000

Figura 23: Carga de viento sentido Y – eje B (kN)



Fuente: Software SAP2000

Figura 24: Carga de viento en la cubierta sentido Y (kN)

Fuente: Software SAP2000

10.6. Revisión de derivas

La deriva es la diferencia entre los desplazamientos horizontales entre los cuales está comprendido un piso. La norma específica en el capítulo B.2.3.2.1 que se evalúa con la fuerza sísmica sin ser dividida por el coeficiente de disipación de energía e incluyendo los efectos torsionales del caso. El valor máximo permitido es el 1%, de acuerdo con la siguiente formula:

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1} \leq 0.01h_{pi}$$

Con el fin de evaluar la deriva, se escogen dos pórticos, uno por cada dirección del edificio, y se evalúan con las siguientes combinaciones:

$$\Delta_a = [(U_{xi} - U_{xi-1})^2 + (U_{yi} - U_{yi-1})^2]^{1/2}$$

Δ_a : Deriva de análisis

U_{xi} : Desplazamiento en sentido X en el piso i

U_{xi-1} : Desplazamiento en sentido X en el piso i-1

U_{yi} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i

U_{yi-1} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i-1

hn : Altura de entrepiso hn (m) Limite = 1%hn

Sismo en X

Tabla 9. Desplazamientos por sismo sentido X – nudos 13 y 17.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.1115	0.0359				13	
			0.1171	1.70	0.69		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				17	

Fuente: Elaboración propia

Sismo en Y

Tabla 10. Desplazamientos por sismo sentido Y – nudos 13 y 17.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.0359	0.1040				13	
			0.1100	1.70	0.65		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				17	

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta_a = [(U_{xi} - U_{xi-1})^2 + (U_{yi} - U_{yi-1})^2]^{1/2}$$

Δ_a : Deriva de análisis

U_{xi} : Desplazamiento en sentido X en el piso i

- U_{xi-1} : Desplazamiento en sentido X en el piso i-1
- U_{yi} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i
- U_{yi-1} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i-1
- hn : Altura de entrepiso hn (m) Limite = 1%hn

Sismo en X

Tabla 11. Desplazamientos por sismo sentido X – nudos 14 y 18.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.1490	0.0012				14	
			0.1490	1.70	0.88		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				18	

Fuente: Elaboración propia

Sismo en Y

Tabla 12. Desplazamientos por sismo sentido Y – nudos 14 y 18.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.0321	0.1040				14	
			0.1088	1.70	0.64		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				18	

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta_a = [(U_{xi} - U_{xi-1})^2 + (U_{yi} - U_{yi-1})^2]^{1/2}$$

Δ_a : Deriva de análisis

U_{xi} : Desplazamiento en sentido X en el piso i

- U_{xi-1} : Desplazamiento en sentido X en el piso i-1
- U_{yi} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i
- U_{yi-1} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i-1
- hn : Altura de entrepiso hn (m) Limite = 1%hn

Sismo en X

Tabla 13. Desplazamientos por sismo sentido X – nudos 15 y 20.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.1120	0.0359				15	
			0.1176	1.90	0.62		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				20	

Fuente: Elaboración propia

Sismo en Y

Tabla 14. Desplazamientos por sismo sentido Y – nudos 15 y 20.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.0361	0.1235				15	
			0.1287	1.90	0.68		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				20	

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta_a = [(U_{xi} - U_{xi-1})^2 + (U_{yi} - U_{yi-1})^2]^{1/2}$$

Δ_a : Deriva de análisis

U_{xi} : Desplazamiento en sentido X en el piso i

U_{xi-1} : Desplazamiento en sentido X en el piso i-1

U_{yi} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i

U_{yi-1} : Desplazamiento en sentido Y en el piso i-1

hn : Altura de entrepiso hn (m) Limite = 1%hn

Sismo en X

Tabla 15. Desplazamientos por sismo sentido X.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.1141	0.0359				16	
			0.1196	1.70	0.63		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				19	

Fuente: Elaboración propia

Sismo en Y

Tabla 16. Desplazamientos por sismo sentido Y.

<i>Piso</i>	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$\Delta(m)$	hn (m)	%hn	<i>Nudo</i>	<i>Observaciones</i>
Nivel 2	0.0321	0.1235				16	
			0.1276	1.90	0.67		Ok
Nivel 1	0.0000	0.0000				19	

Fuente: Elaboración propia

10.7. Verificación de irregularidad torsional

Tipo 1P – Irregularidad torsional – $\phi_p = 0.9$

$$\Delta_1 > 1.2 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

Nudo 13

Nudo 14

Tabla 17. Irregularidad torsional - nudos 13 y 14.

<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO X)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta_1 + \Delta_2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1171	0.1597	No hay irregularidad torsional
<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO Y)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta_1 + \Delta_2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1100	0.1313	No hay irregularidad torsional

Fuente: Elaboración propia

Nudo 15

Nudo 16

Tabla 18. Irregularidad torsional nudos 15 y 16.

<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO X)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta_1 + \Delta_2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1176	0.1423	No hay irregularidad torsional
<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO Y)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta_1 + \Delta_2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1287	0.1538	No hay irregularidad torsional

Fuente: Elaboración propiaTipo 1P – Irregularidad torsional – $\phi_p = 0.9$

$$\Delta_1 > 1.2 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

Nudo 13

Nudo 15

Tabla 19. Irregularidad torsional nudos 13 y 15.

<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO X)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1171	0.1408	No hay irregularidad torsional
<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO Y)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1100	0.1432	No hay irregularidad torsional

Fuente: Elaboración propia

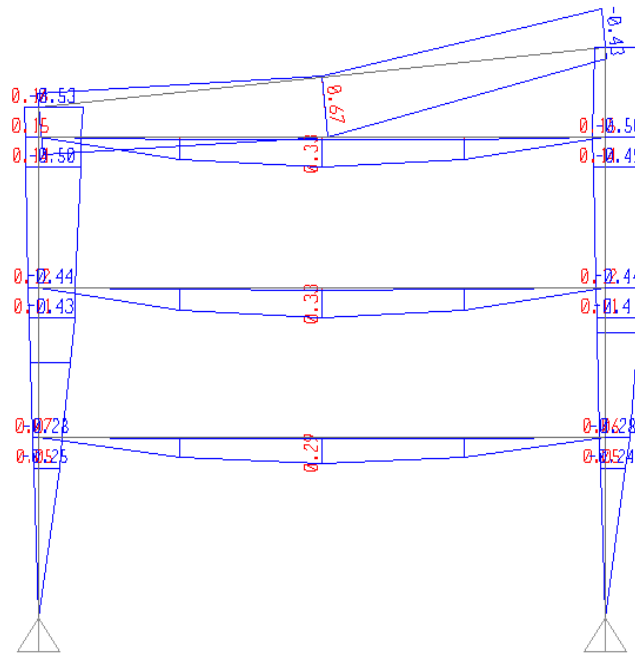
Nudo 14

Nudo 16

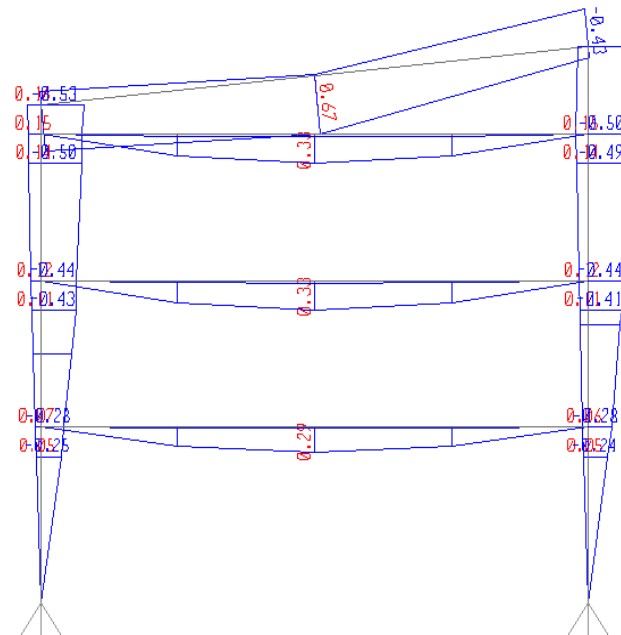
Tabla 20. Irregularidad torsional nudos 14 y 16.

<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO X)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1416	0.1612	No hay irregularidad torsional
<i>DER 1 (1.2 MUERTA + 1.0 VIVA + SISMO Y)</i>			
<i>Piso</i>	Δ	$1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)/2$	<i>Verificación</i>
2	0.1088	0.1419	No hay irregularidad torsional

Fuente: Elaboración propia**10.8. Solicitaciones**

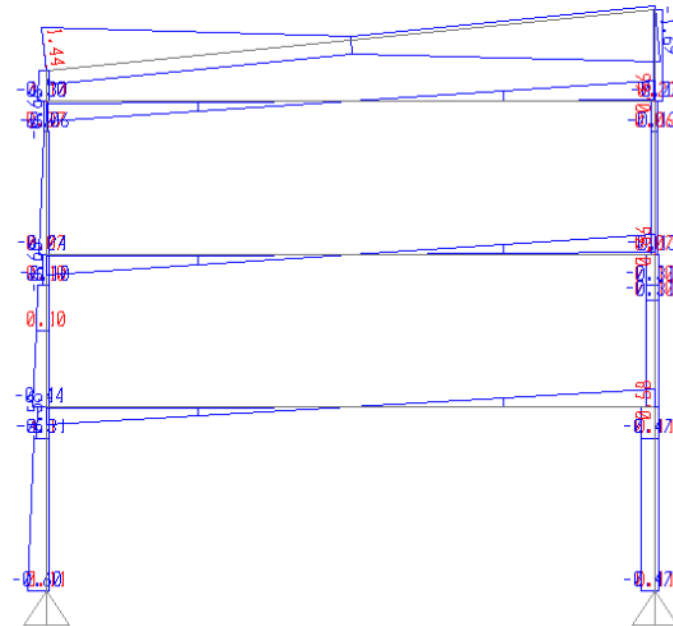
Figura 25: Diagrama de momentos - eje 1 (kN-m)

Fuente: Software SAP2000

Figura 26: Diagrama de momentos – eje 2 (kN-m)

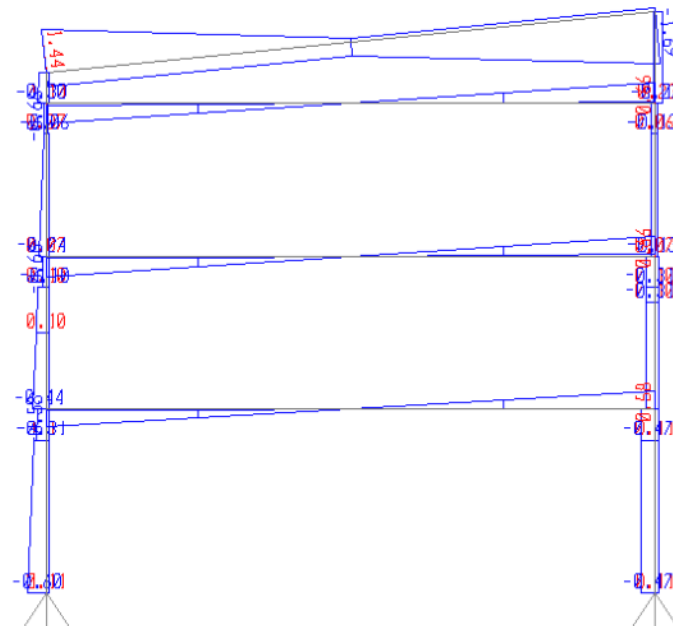
Fuente: Software SAP2000

Figura 27: Diagrama de fuerzas cortantes - eje 1 (kN)



Fuente: Software SAP2000

Figura 28: Diagrama de fuerzas cortantes – eje 2 (kN)



Fuente: Software SAP2000

11. Resultados de diseño de la estructura

A continuación se presenta el diseño de las vigas y de las columnas de la estructura.

Se revisan los elementos para las condiciones críticas de carga (envolvente), de acuerdo con los parámetros de diseño descritos y especificados en la NSR-10.

11.1. Diseño de vigas en guadua

Para el diseño de las columnas se utiliza el capítulo G.12.8 “diseño de elementos solicitados por flexión”. Para el diseño de estas los elementos flexión se toman las solicitudes del modelo, se verifica el momento actuante con el momento resistente de la sección. Para eso se hace una hoja de Excel para verificar los esfuerzos.

Datos de sección:

Longitud = 2 m $\phi = 0.1$ m

Tabla 21: Datos de sección guadua para diseño de vigas

	<i>CM</i>	<i>CV</i>	<i>CM+CV</i>	
Vn	0.010	0.050	0.60	kN
Mn	0.004	0.020	0.24	kN-m
Verificación de sección				D/C
Cortante				0.24
Momento				0.28

Fuente: Elaboración propia

$h/b = 1$

Longitud no soportada lux = 2 m

Longitud no soportada luy = 0 m

Grupo A

Control de deflexión

DISEÑO SECADERO DE CAFÉ Y CACAO CONSTRUIDO EN GUADUA

$$\Delta L_p = 0.0034 \text{ m}$$

$$\text{Limite} = 0.01 \text{ m (ln/200)}$$

Sección:

$$b = 0.1 \text{ m}$$

$$h = 0.1 \text{ m}$$

$$l_n = 1.5 \text{ m}$$

$$E_m = 40000$$

$$I_e = 8.33 \text{ E-06 m}^4$$

Carga muerta + carga viva

$$M(-)A = 0.00 \text{ kN-m}$$

$$M(+)B = 23.54 \text{ kN-m}$$

$$M(-)C = 0.00 \text{ kN-m}$$

$$\Delta \text{ centro luz} = 0.0017 \text{ m}$$

Carga muerta

$$M(-)A = 0.00 \text{ kN-m}$$

$$M(+)B = 3.92 \text{ kN-m}$$

$$M(-)C = 0.00 \text{ kN-m}$$

$$\Delta \text{ centro luz} = 0.0003 \text{ m}$$

$$\text{Deflexión límite} = 0.0043 \text{ m (ln/350)}$$

$$\Delta \text{ centro} = 0.0014 \text{ m}$$

Deflexión a largo plazo

$$\Delta L_p = \lambda \Delta c_m + \Delta c_v$$

Donde,

ΔLp : Deflexión total a largo plazo

Δcm : Deflexión total por carga muerta

Δcv : Deflexión total por carga viva

λ : Coeficiente que tiene en cuenta los efectos a largo plazo

$$\lambda = 1.8$$

$$\Delta Lp = 0,0019 m$$

$$\text{Limite} = 0.0075 m (\ln/200)$$

11.2. Diseño de columnas en guadua

Para el diseño de las columnas se utiliza el capítulo G.12.10 “diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial”. Para el diseño de estas los elementos a fuerzas axiales y flexión deben cumplir con la siguiente ecuación:

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

Donde,

f_c : Esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante

F'_c : Esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado

f_b : Esfuerzo a flexión actuante

F'_b : Esfuerzo a flexión admisible modificado

k_m : Coeficiente magnificación de momentos, calculado con fórmula (G.12.10-3)

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

Donde,

N_a : Carga de compresión actuante

N_a : Carga critica de Euler, calculada con la formula (G.12.10-4)

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

Donde,

$E_{0.05}$: Módulo de elasticidad del percentil 5

I : Momento de inercia de la sección

ℓ_e : Longitud efectiva del elemento

Siguiendo estas ecuaciones y en las unidades correspondientes dadas por la NSR – 10, se hace el chequeo de las columnas:

Datos de sección:

Longitud = 1.7 m $\Phi = 0.1$ m $tw = 0.01$ m (espesor) $A = 0.0028$ m²

$I = 2,90E-06$ m⁴

Propiedades de la guadua:

$F'_b = 15$ MPa

$F'_c = 14$ Mpa

$E = 7500$ MPa

Solicitaciones

$N = 4.322$ kN

$E = 0.526$ kN.m

Revisión por compresión:

$r = 0.3202$ m

$\lambda = 53.10$

$Ck = 59.3914$

$$f'_c = 2.1405$$

Revisión por flexión:

$$S = 5.80E-05 \text{ m}^3$$

$$N_{cr} = 74.23 \text{ kN}$$

$$k_m = 1.10$$

$$f'_b = 9.07$$

Verificación de la sección:

$$\frac{f'_c}{F'_c} + \frac{k_m f'_b}{F'_b} \leq 1.00$$

$$\frac{2.14}{14} + \frac{9.94}{15} \leq 0.816 \text{ (Sección Apta).}$$

Datos de sección:

$$\text{Longitud} = 1.9 \text{ m} \quad \varphi = 0.1 \text{ m} \quad t_w = 0.01 \text{ m (espesor)} \quad A = 0.0028 \text{ m}^2$$

$$I = 2,90E-06 \text{ m}^4$$

Propiedades de la guadua:

$$F'_b = 15 \text{ MPa}$$

$$F'_c = 14 \text{ MPa}$$

$$E = 7500 \text{ MPa}$$

Solicitaciones

$$N = 4.452 \text{ kN}$$

$$E = 0.469 \text{ kN.m}$$

Revisión por compresión:

$$r = 0.3202 \text{ m}$$

$$\lambda = 59.35$$

$$Ck = 59.3914$$

$$f'_c = 2.6204$$

Revisión por flexión:

$$S = 5.80\text{E-}05 \text{ m}^3$$

$$N_{cr} = 59.425 \text{ kN}$$

$$k_m = 1.13$$

$$f'_b = 8.09$$

Verificación de la sección:

$$\frac{f'_c}{F'_c} + \frac{k_m f'_b}{F'_b} \leq 1.00$$

$$\frac{2.62}{14} + \frac{9.12}{15} \leq 0.795 \text{ (Sección Apta).}$$

Adicionalmente de acuerdo al numeral E.7.10.3. El número de guaduas requeridas para cada columna se debe estimar con base en la tabla E.7.10-1.de la NSR-1

NSR-10 – Capítulo E.7 – Bahareque encementado afirma que para una longitud de 2.00m una guadua tiene una carga admisible de 28.7 kN y en la estructura diseñada la carga máxima es de 3.54 kN, es decir que el elemento cumple con los requerimientos.

11.3. Diseño de unión empernada

De acuerdo con el diámetro de la sección y del perno se toman las cargas resistentes para las fuerzas paralelas, perpendiculares y de tensión. En la tabla G.12.11-2 de la NSR-10 se establecen los valores de las cargas admisibles para uniones empernadas con doble cizallamiento. Tenemos que para un perno de 0.1 m de diámetro tenemos los siguientes valores que se comparan con las sollicitaciones del modelo:

Para corte:

Carga modelo = 0.626 kN

$Q = 3.522 \text{ kN}$

Cantidad de pernos = $0.626/3.522 = 0.18$, un perno cumple.

Para tensión:

Carga modelo = 0.182 kN

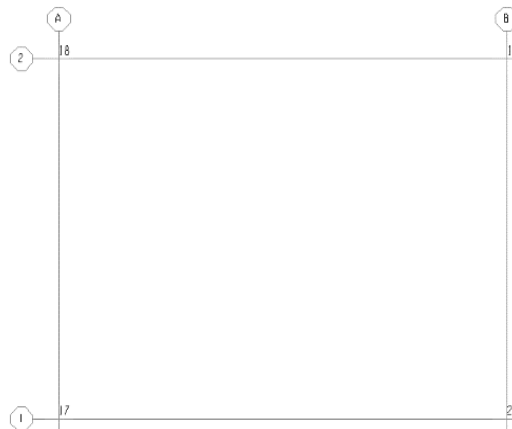
$Q = 2.200 \text{ kN}$

Cantidad de pernos = $0.182/2.200 = 0.08$, un perno cumple.

11.4. Diseño de cimentación

Para el diseño de la cimentación se identifican los nudos en los cuales se encuentran los pedestales con respecto al modelo matemático de la estructura:

Figura 29: Identificación de los nudos de la cimentación en el modelo



Fuente: Software SAP2000

Reacciones en los apoyos

En la siguiente tabla se muestran las reacciones en los apoyos que arroja el análisis de la estructura en los nudos identificados y los respectivos requerimientos de diseño en donde se

demuestra que las dimensiones de la cimentación satisfacen en su totalidad las solicitaciones de la estructura.

Tabla 22: Valores de reacciones en los apoyos de la estructura

Nudo	FZ (kN)	σ (kN/m ²)	A requerida (m ²)	b requerida (m)	L requerida (m)	b adoptada (m)	L adoptada (m)	Zapata tipo
17	4.32	50	0.086	0.294	0.294	0.30	0.30	Z1
18	3.52	50	0.070	0.265	0.265	0.30	0.30	Z1
19	4.32	50	0.086	0.294	0.294	0.30	0.30	Z1
20	3.52	50	0.070	0.265	0.265	0.30	0.30	Z1

Fuente: Elaboración propia

12. Procedimiento constructivo de la estructura

El procedimiento para la construcción de la estructura se muestra en una cartilla de montaje que presenta figuras explicativas del proceso con suficiente detalle para que cualquier persona lo pueda realizar sin ayuda de alguien experto. Esta cartilla se elabora como anexo del presente trabajo de investigación y detalla los materiales y herramientas que se utilizarán para la construcción de la estructura de secado de café y cacao.

13. Conclusiones

Como resultado del presente trabajo de investigación, se puede concluir que para la realización de un diseño de estructura funcional y estable no es siempre necesario el uso de materiales estructurales convencionales y que la guadua angustifolia cumple con todos los requisitos de resistencia que exige una estructura para el uso que se le dará como secadero de café o cacao.

Por otro lado la guadua es una planta con presencia abundante en las regiones cafeteras de Colombia y puede ser aprovechada por los pequeños productores de café o cacao para realizar instalaciones que mejoren la calidad de su producto ya que se hace mediante procesos más técnicos que al final se ven reflejados en el mejor precio de venta del mismo.

El proyecto cumple con lo establecido en la normatividad colombiana que rige la construcción sismo resistente ya que se siguieron de manera estricta todos los procedimientos registrados en la NSR-10 para la verificación de estabilidad de la estructura con todas las posibles combinaciones de carga que puede presentar en su vida útil.

Para la construcción de la estructura es necesario que se cumpla con unos parámetros de diseños investigados y probados en el presente trabajo de investigación, para esto se hace necesaria la utilización de la cartilla de proceso constructivo que se presenta como material adjunto a este proyecto y que describe de una manera detallada paso por paso como se debe construir el secadero, así como los materiales y dimensiones respectivas.

Este trabajo de investigación abre la posibilidad de que se realicen otros proyectos dirigidos a diseñar nuevas estructuras construidas en guadua angustifolia que se usen para los demás procesos de la producción de café y cacao en nuestro país que puedan ser implementados por los campesinos para que puedan mejorar la calidad de sus productos.

14. Referencias

- Castro, D. (1985). *La guagua: Un material versátil*. Bogotá Colombia: Fundación para la educación superior – FES.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (2006). *NTC 5407. Uniones de Estructuras con Guadua Angustifolia Kunth*. ICONTEC, Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, D. & Sanclemente, A.G. (2003). *Estudio de Uniones en Guadua con Ángulo de Inclinación entre Elementos*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ministerio de la protección social - Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (2006). *La Guadua: Caracterización Ocupacional*. Recuperado de <http://observatorio.sena.edu.co/mesas/01/CADENA%20DE%20LA%20GUADUA.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - FNC. (2008). *Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio*. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial – Dirección del sistema habitacional. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente – NSR-10*, Bogotá, Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura – FAO (2014). *La ingeniería en el desarrollo – Manejo y tratamiento de granos poscosecha*, Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041s09.htm>

15. **Anexos**