

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS EN GUADUA
CONSTRUIDAS PARA LAS CANCHAS MULTIPLES DE LAS VEREDAS DE
LA SOLEDAD Y PUERTO ALEGRÍA EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN -
HUILA

ELKIN FRANCISCO OVALLE GARCÍA
JOHN EDGAR PAZ BEDOYA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2015

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS EN GUADUA
CONSTRUIDAS PARA LAS CANCHAS MULTIPLES DE LAS VEREDAS DE
LA SOLEDAD Y PUERTO ALEGRÍA EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN -
HUILA

ELKIN FRANCISCO OVALLE GARCÍA
JOHN EDGAR PAZ BEDOYA

Monografía presentada para optar al título de Ingeniero civil

Asesor

Ingeniero Civil Mateo Gutiérrez González

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2015

Nota de Aceptación:

Firma Director Trabajo de Grado

Firma del presidente jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D. C. 11 de Diciembre de 2015

**VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS EN GUADUA
CONSTRUIDAS PARA LAS CANCHAS MÚLTIPLES DE LAS VEREDAS DE
LA SOLEDAD Y PUERTO ALEGRÍA EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN -
HUILA.**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Materiales y Diseño Estructural en Guadua

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Semillero de estructuras – Universidad la Gran Colombia

ASESOR DISCIPLINAR:

Ingeniero Mateo Gutiérrez González

ASESORA METODOLÓGICA:

Ingeniera Olga Lucía Vanegas Alfonso

Bogotá D. C. Diciembre de 2015

DEDICATORIA

Dedicamos este logro a Dios por ser quien ha estado a nuestro lado en todo momento dándonos las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se nos presenten.

A nuestras familias por estar siempre a nuestro lado incondicionalmente, brindándonos su respaldo, apoyo y amor.

A nuestros amigos y compañeros, por los momentos compartidos en este proceso, por su cariño y ayuda.

Gracias a todos por compartir con nosotros esta etapa que nos hace crecer personal y profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad La Gran Colombia por permitirnos adquirir el conocimiento personal y profesional, haciendo de esta carrera una base necesaria para el futuro de nuestras vidas.

Al ingeniero Mateo Gutiérrez González director del proyecto, por su inmensa colaboración y orientación.

A la Facultad de Ingeniería Civil, por habernos brindado el calor humano y los elementos necesarios en el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

A nuestro jurado Ingeniero Julio Torres, por su seguimiento durante el proyecto y aporte con sus conocimientos.

A nuestros compañeros por su apoyo incondicional y el ánimo infundido cuando creíamos desfallecer.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE ILUSTRACIONES	14
LISTA DE ANEXOS	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. ANTECEDENTES.....	21
5. MARCO DE REFERENCIA	23
5.1 MARCO LEGAL	23
5.2 REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10).	24
5.2.1 Título A - Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.	24
5.2.2 Título G - Estructuras de madera y Estructuras de guadua.	25
5.3 POLÍTICA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO (LEY 1523 DE 2012).....	26
5.3.1 Art. 6 Objetivo General.	27
5.3.1.1 <i>Proceso de conocimiento del riesgo.</i>	27
5.3.1.2 <i>Proceso de reducción del riesgo.</i>	27
5.3.1.3 <i>Proceso de manejo de desastres.</i>	27

5.4	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	27
5.4.1	Construcciones de guadua en Colombia.	27
5.4.2	Vulnerabilidad estructural.	29
5.4.2.1	<i>Movimiento sísmico.</i>	30
5.4.2.2	<i>Índice de daño.</i>	31
5.4.2.3	<i>Capacidad de Respuesta o Respuesta sísmica.</i>	32
5.4.3	Construcción sostenible.....	33
5.4.3.1	<i>Desarrollo Sostenible.</i>	34
5.4.3.2	<i>Impacto Ambiental.</i>	34
5.4.3.3	<i>Desarrollo Económico y Social.</i>	35
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	36
6.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
6.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	36
6.3	FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
6.4	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS.....	38
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
7.1	VISITA DE CAMPO Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	40
7.2	MODELACIÓN ESTRUCTURAL.....	43
7.2.1	Geometría de los pórticos.....	43
7.2.2	Avalúo de cargas.	44
7.2.3	Cálculo del espectro de diseño.....	45
7.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL PROGRAMA SAP 2000.	48
7.4	PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.....	56
7.5	DISEÑO DE REFUERZOS.	68

7.5.1	Diseño a flexión.	68
7.5.2	Diseño a tensión axial.....	68
7.5.3	Diseño a compresión axial y flexo compresión.....	68
7.5.4	Diseño a flexión y tensión axial.....	69
7.6	PLANOS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.....	69
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
8.1	CONCLUSIONES.....	70
8.2	RECOMENDACIONES.....	72
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fases de la investigación.....	38
Tabla 2. Avalúo de cargas muertas para las cubiertas de La Soledad y de Puerto Alegre.....	44
Tabla 3. Avalúo de cargas vivas para las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegre.....	45
Tabla 4. Carga de presión de viento para las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegre.....	45
Tabla 5. Parámetros para el cálculo del espectro de diseño.....	46
Tabla 6. Avalúo de carga muerta definitivo para modelación de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegre.....	59
Tabla 7. Calculo de derivas de la cubierta la Soledad.....	63
Tabla 8. Calculo de derivas la cubierta de Puerto Alegre.....	66
Tabla 9. Combinaciones de carga.....	77
Tabla 10. Valores de Tiempo (s) vs Aceleración (g) del espectro de diseño.....	79
Tabla 11. Valores de Tiempo (s) vs Aceleración (g) del espectro de diseño.....	80
Tabla 12. Chequeo corrección del cortante basal dinámico por la fuerza horizontal equivalente de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegre.....	84
Tabla 13. Esfuerzos admisibles (MPa).....	86
Tabla 14. Módulo de elasticidad (MPa).....	86
Tabla 15. Coeficientes de modificación de acuerdo a la formula G.12.7-3 de la (NSR10).....	86
Tabla 16. Esfuerzos admisibles modificados.....	87
Tabla 17. Diseño a Flexión correas cubierta la Soledad.....	91
Tabla 18. Diseño a Flexión correas cubierta Puerto Alegre.....	94
Tabla 19. Diseño a tensión axial cercha cubierta la Soledad.....	96
Tabla 20. Diseño a tensión axial cercha cubierta Puerto Alegre.....	97
Tabla 21. Diseño a compresión axial y flexo compresión cubierta la Soledad.....	101

Tabla 22. Diseño a compresión axial y flexo compresión cubierta Puerto Alegria.	104
Tabla 23. Diseño a flexión y tención axial cubierta la Soledad.	107
Tabla 24. Diseño a flexión y tención axial cubierta Puerto Alegria.	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de Uniones Compuestas (NSR-10)	26
Figura 2: Cambios en la presión de la corteza.....	31
Figura 3: Esquema que relaciona el índice de daño y la vulnerabilidad.	32
Figura 4: Modelación del movimiento de un edificio.	32
Figura 5. Plano generado en Auto CAD de la geometría inicial de la cubierta, La Soledad.....	43
Figura 6. Plano generado en AutoCAD de la geometría inicial de la cubierta, Puerto Alegre.....	43
Figura 7. Calculo del espectro elástico de aceleraciones de diseño.....	47
Figura 8. Modelo preliminar de la cubierta en el programa SAP 2000 ubicado en la vereda La Soledad.	48
Figura 9. Modelo preliminar de la cubierta en el programa SAP 2000 ubicado en la vereda Puerto Alegre.	48
Figura 10. Modelo preliminar cubierta la Soledad asignación de cargas muerta y viva.....	49
Figura 11. Modelo preliminar cubierta Puerto Alegre asignación de cargas muerta y viva.....	50
Figura 12. Modelo preliminar cubierta la Soledad asignación de cargas de presión de viento.....	50
Figura 13. Modelo preliminar cubierta Puerto Alegre asignación de cargas de presión de viento.....	51
Figura 14. Modelo preliminar cubiertas la Soledad y Puerto Alegre, asignación del espectro de diseño.....	52
Figura 15. Modelo preliminar cubierta la Soledad, inestabilidad por correas sueltas.	53
Figura 16. Modelo preliminar cubierta la Soledad chequeó de desplazamientos en sentido Sx y Sy.	54

Figura 17. Modelo preliminar cubierta la Soledad chequeó de fuerzas axiales, cortantes y momentos.....	55
Figura 18. Planteamiento de reforzamiento en la armadura de la cubierta la Soledad.....	56
Figura 19. Planteamiento de reforzamiento en la armadura de la cubierta de Puerto Alegre.....	57
Figura 20. Reubicación de las correas en los nodos del cordón superior de la cubierta la Soledad.	58
Figura 21. Reubicación de las correas en los nodos del cordón superior de la cubierta Puerto Alegre.	58
Figura 22. Refuerzo con diagonales y arriostramientos concéntricos de la cubierta la Soledad.	60
Figura 23. Refuerzo con diagonales y arriostramientos concéntricos de la cubierta Puerto Alegre.	61
Figura 24. Refuerzo con arriostramientos excéntricos al tercio de las correas de la cubierta la Soledad.	66
Figura 25. Refuerzo con arriostramientos excéntricos al tercio de las correas de la cubierta Puerto Alegre.....	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vista general de la armadura de la cubierta La Soledad	40
Ilustración 2. Pandeo en columna, cubierta La Soledad	41
Ilustración 3. Vista general de la armadura, cubierta Puerto Alegría	41
Ilustración 4. Condiciones de apoyo de la cubierta, Puerto Alegría	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Calculo de la presión de viento con software Corpasoft 3.0

Anexo 2. Combinaciones de carga.

Anexo 3. Valores de Tiempo (s) vs Aceleración (g) del espectro de diseño.

Anexo 4. Chequeo corrección del cortante basal dinámico por la fuerza horizontal equivalente.

Anexo 5. Calculo de los esfuerzos admisibles modificados.

Anexo 6. Diseño a flexión correas.

Anexo 7. Diseño a tensión axial.

Anexo 8. Diseño a compresión axial y flexo compresión.

Anexo 9. Diseño a flexión y tensión axial.

Anexo 10. Planos de reforzamiento estructural.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Con el constante aumento de la población en el país, se vio la necesidad de construir obras de infraestructura, para satisfacer las deficiencias y ofrecer a la población una mejor calidad de vida, de acuerdo a las estadísticas del DANE, en el cuarto trimestre del año pasado, el sector de la construcción jaló el crecimiento de la economía, producto interno bruto (PIB) en un 9.8%, esto se debe al impulso que se le ha dado al sector de la ingeniería Civil con proyectos innovadores como el hotel Bacatá (con las dos torres más altas de Colombia), o el auge que han tenido la construcción de centros comerciales, vivienda de interés social y prioritario.¹

En Colombia la guadua es un material utilizado como una opción ecológica para la construcción de puentes, acueductos, embarcaciones y edificaciones sustentables, por su eficiencia mecánica, durabilidad y manejo. Debido a estas características es utilizada en proyectos particulares, paisajísticos, cubiertas deportivas y en vivienda de interés prioritario para climas templados.

Tal es el caso de proyectos con característica social, desarrollados por formadores del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) en el departamento del Huila, donde se construyen proyectos innovadores con características de eco-diseños, utilizando la guadua como principal elemento constructivo. Por ejemplo, el proyecto que se ejecutó mediante convenio interinstitucional entre el SENA Pitalito, Alcaldía de Timaná, la Gobernación del Huila (FONVIHUILA) y la Unidad Nacional del Gestión Riesgo y Desastres –UNGRD.²

¹ La economía Colombiana creció 4.3% en el 2013 [Online]. Portafolio.co, 20 de Marzo del 2014. <http://www.portafolio.co/economia/pib-colombia-2013#>

² Liscano Parra Henry, Rodríguez Bustos Engelberto, y Gaviria Torres Rosa Elvira. Construcciones Sostenibles aplicadas a soluciones de vivienda de interés prioritario “Proyecto Centenario municipio de Timaná Huila 2011-2013”. p 1.

Donde se construyeron casas para socorrer a la comunidad vulnerable con la construcción de viviendas de interés prioritario. De igual manera se construyeron, cubiertas multifuncionales en el municipio de Garzón Huila, que ofrece a la comunidad el desarrollo de diferentes actividades, como reuniones, campeonatos, celebraciones religiosas entre otras, en las veredas de la soledad y puerto alegría.

Este tipo de proyectos tienen un gran impacto social en la comunidad, ya que se realiza la integración de manera participativa en los procesos constructivos, contando con capacitaciones por parte de los formadores del SENA. Sin embargo estas estructuras se construyen de manera empírica ya que los formadores del SENA no cuentan con los conocimientos y herramientas suficientes para realizar los estudios y diseños adecuados de las cubiertas de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), por esto es de gran importancia que estas cubiertas se diseñen y se construyan de manera adecuada según la normativa ya que se encuentran en una zona de amenaza sísmica alta.

Por tal razón la pregunta analítica a la cual corresponde el presente proyecto se basa en ¿Cuáles son las condiciones de vulnerabilidad estructural en que se encuentran las cubiertas de guadua de las canchas múltiples construidas en las veredas de la Soledad y Puerto alegría en el municipio de Garzón - Huila?

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad que se tiene de construcciones para sociedades vulnerables, en algunos sectores del país se ha comenzado a utilizar la guadua (bambú colombiano), como un material alternativo para la construcción de estructuras amigables con el medio ambiente y de bajo costo.

Sin embargo, muchas de estas construcciones no cumplen con todas las especificaciones estructurales del caso, por la falta de conocimiento del tema se construyen de manera empírica, aumentando la incertidumbre en la seguridad de los habitantes y de la estructuras.

Cuando se habla de la vulnerabilidad de una estructura se hace referencia principalmente al riesgo que representa la misma a daños en todas aquellas partes que sostienen la estructura, los cuales pueden ser causador por diferentes temas como deslizamientos, amenaza sísmica, diseños inadecuados, procesos constructivos incorrectos, mala calidad de los materiales o las combinaciones de estos.

En este sentido es importante para la comunidad valorar esta alternativa de construcción eco-amigables en las cuales se tenga en cuenta las condiciones sociales de la población. Sin embargo, también es importante analizar las condiciones de vulnerabilidad que pueden presentar estas construcciones con el fin de salvar las vidas de las personas que hagan uso de estas cubiertas.

Por tal motivo es pertinente la investigación a desarrollar, ya que permite determinar el riesgo a que están expuestas estas cubiertas, debido al abatimiento que pueden tener, por sismos o deterioro de la estructura por sus propias cargas.

De la misma manera, el aporte para los investigadores es la oportunidad de realizar una evaluación a un proyecto real con dicha temática, que implica el análisis de las resistencias de elementos estructurales que se encuentran y la evaluación de las condiciones de las cubiertas ya que se encuentran en una zona de amenaza sísmica alta, junto con una contribución social a la comunidad afectada.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluación de la vulnerabilidad estructural en las cubiertas de guadua de las canchas múltiples construidas en las veredas de la Soledad y Puerto Alegría en el municipio de Garzón - Huila.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Establecer mediante una visita técnica al sitio del proyecto, las condiciones estructurales y características geométricas de las estructuras existentes.
- Identificar el comportamiento de la estructura, ante las solicitaciones de carga requeridas, por medio de su modelación en el programa SAP2000.
- Determinar alternativas de reforzamiento estructural que cumplan las consideraciones para una construcción sismo resistente en guadua según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Elaborar los planos de reforzamiento estructural de acuerdo a los análisis de riesgo desarrollados previamente.

4. ANTECEDENTES

Desde épocas precolombinas la guadua ha desempeñado un papel importante como material de construcción económico, ecológico y de fácil acceso en Colombia, pese a que ha sido desplazado por materiales industrializados inorgánicos, como lo son el concreto y el acero, sumado a la falta de estudios que profundicen en el diseño de estructuras en guadua, han hecho que su uso sea limitado y restringido. Por tal razón se hace indispensable la introducción de parámetros para el diseño sismo resistente de construcciones en guadua, que incluyan la definición de valores de esfuerzos admisibles³.

En su trabajo “Cálculo de estructuras de Bambú de grandes claros”, Moreno Sánchez trata el procedimiento para realizar un proyecto estructural, empezando por el proyecto y teniendo completamente claro diseño arquitectónico, se deberá analizar en el laboratorio el bambú a emplear. Antes de calcular una estructura hay que conocer lo siguiente: El código Andino, Libros de texto de resistencia de materiales, El reglamento Colombiano sismo resistente, Se procede a calcular las cargas de diseño, diseñar las conexiones, la manera más adecuada de transmitir cargas a la cimentación es por medio de perfiles metálicos⁴.

En el trabajo “Comportamiento de las Cerchas Construidas en Guadua Rolliza “Se determinaron las propiedades mecánicas a: compresión, tensión, flexión y corte de la especie de bambú Guadua Rolliza Angustifolia Kunt. Adicionalmente, a través de los ensayos de uniones y los resultados de la caracterización del material, se realizó la modelación de las cerchas típicas de Guadua Rolliza, con el fin de proponer factores y condiciones para que los resultados de los modelos analíticos

³ Patricia Luna, Caori Takeuchi, Gustavo Granados, Fabián Lamus, Jorge Lozano. Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. En: Educación en Ingeniería. Junio, 2011. no. 11, p. 66-75. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia)

⁴ Moreno Sánchez, Armando. Cálculo de estructuras de bambú de grandes claros. En: Simposio Internacional Guadua y Bambú (2: 3-6, Agosto: Bogotá D.C., 2014). Memorias. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, Corpoica y Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 71-76.

sean iguales a los resultados experimentales y dichos factores puedan ser usados en el di-seño de este tipo de cerchas⁵.

⁵ L.F. Rubio & F. Ramírez. Comportamiento de las Cerchas Construidas en Guadua Rolliza. Tesis Magister En Ingeniería Civil. Bogotá D.C.: Universidad de Los Andes, 2011.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO LEGAL.

En enero de 2003 se constituye la sociedad colombiana del Bambú ante el ICONTEC como Comité Técnico 178 "Bambú - Guadua", el cual tiene como objetivo establecer una normatividad común para la disposición de la guadua en Colombia.

NTC 5300 (Cosecha y Pos cosecha de los culmos de Guadua Angustifolia Kunth).

NTC 5301 (Secado e inmunizado de los culmos de Guadua Angustifolia Kunth)

NTC 5405 (Propagación vegetativa de Guadua Angustifolia Kunth).

NTC 5407 (Uniones para estructuras construidas en Guadua Angustifolia Kunth).

NTC 5458 (Elaboración de artesanías y muebles con cúlmos maduros de Guadua Angustifolia Kunth).

NTC 5525 (Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth).

NTC 5726 (Inventario de rodales de Guadua angustifolia Kunth para aprovechamientos con fines comerciales).

NTC 5727 (Terminología aplicada ala Guadua y sus productos).

NTC 5829 (Obtención de latas y tablillas de Guadua angustifolia Kunth).

NTC 6100 (Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para productos de primero y segundo grado de transformación de *Guadua angustifolia* Kunth).

GTC 220 (Tablas a partir de esterilla (Tablerilla) de *Guadua angustifolia* Kunth).

En el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) en el capítulo G-12 (Estructuras de *Guadua*) se encuentra toda la normatividad concerniente al diseño y construcción de estructuras en *Guadua* en Colombia.

5.2 REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10).

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es una norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable.

Fue promulgada por el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, el cual fue sancionado por el entonces presidente Álvaro Uribe. Posteriormente al decreto 926 de 2010 han sido introducidas modificaciones en los decretos 2525 del 13 de julio de 2010, 092 del 17 de enero de 2011 y 340 del 13 de febrero de 2012.

Para el presente estudio se tomarán como bases los títulos A y G de la norma:

5.2.1 Título A - Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.

Habla de los requisitos generales y mínimos de diseño, construcción y supervisión que debe tener toda construcción edificada en el territorio colombiano con el fin de minimizar el riesgo que se puede tener sobre las vidas humanas y del patrimonio de del estado y sus ciudadanos en caso de temblores.

Algunos de los elementos importantes a tener en cuenta en el presente título del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), son donde se refiere a la elaboración de los espectros de diseño, los mapas de zonificación y amenaza sísmica, clasificaciones de los perfiles del suelo, mapas de las zonas de amenazas sísmicas y movimientos sísmicos de diseño. Se puede evidenciar que para el caso que nos atañe la capital del Huila (Neiva) se encuentra en zona de amenaza sísmica alta.

5.2.2 Título G - Estructuras de madera y Estructuras de guadua.

Básicamente define los requisitos para el diseño estructural de edificaciones de madera la cual debe tener un nivel de seguridad similar a la de una estructura realizada en otro material que cumplan los reglamentos de la NSR-10. Aclara que el diseño de los elementos estructurales de estas construcciones pueden ser estructuras totales o mixtas de guadua.

Explica las posibilidades y características del material, bases para el diseño de los elementos, aserraderos clasificación de las maderas y tiene un capítulo (G.12) dedicado a la Guadua.

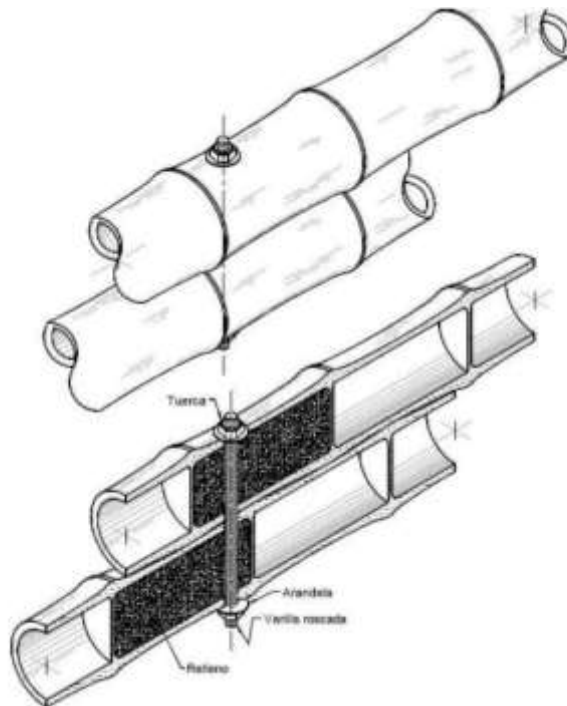


Figura 1. Detalle de Uniones Compuestas (NSR-10)

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

El mortero inyectado es muy utilizado en las uniones de la guadua con el fin de proporcionar uniones a tracción.

5.3 POLÍTICA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO (LEY 1523 DE 2012).

Art. 1 ley 1523 de 2012 nos habla de la: Política nacional de gestión del riesgo de desastres, la cual reúne los elementos, definiciones y compromisos. Igualmente se define como un proceso social orientado a la consideración, evaluación de estrategias, planes, programas, regulaciones e instrumentos, para el manejo de los desastres, el cual su intención es ayudar al bienestar y seguridad de las personas, a su vez de aportar al desarrollo sostenible.

5.3.1 Art. 6 Objetivo General.

Los objetivos del sistema nacional son los siguientes:

5.3.1.1 *Proceso de conocimiento del riesgo.*

- Identificación y caracterización de escenarios de riesgo
- Análisis de riesgo
- Monitoreo del riesgo
- Comunicación del Riesgo

5.3.1.2 *Proceso de reducción del riesgo.*

- Intervención correctiva
- Intervención prospectiva
- Protección financiera

5.3.1.3 *Proceso de manejo de desastres.*

- Preparación para la Respuesta
- Preparación para la recuperación
- Ejecución de la respuesta
- Ejecución de la recuperación

5.4 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.

5.4.1 Construcciones de guadua en Colombia.

Durante la época de la colonización la guadua formó una parte importante del desarrollo en el territorio del viejo caldas. Debido a la fertilidad volcánica de estas tierras, la guadua se encontraba abundantemente en la región, esto sumado a la pobreza de los nuevos colonizadores y junto con la necesidad que tenían de

construcción de vivienda contribuyó a que se comenzarán a realizar las construcciones de una forma totalmente nueva, diferente a la que nos habían acostumbrado los españoles y los indígenas.

Con el impulso de su necesidad y el abundante recurso, se comenzó con la tarea de colonización a un ritmo prodigioso ya que la construcción de viviendas no provisionales se edificaba a un ritmo acelerado y los poblados se podían ver en solo semanas.⁶

Dos incendios que se presentaron en Manizales a principio del siglo XX devastaron con las viviendas de la región que pertenecían a las viviendas más acaudaladas, muchas de las cuales contenían evidencia de un alto grado de refinamiento en la utilización de la guadua en la arquitectura y artesanías muy detalladas, esto contribuyó a que el material no se utilizará con un grado de refinamiento y solamente se considerará para construcciones de familias de bajos recursos, en los cuales se ve utilizada de manera torpe y provisional.

Debido a esto la guadua es la madera de los pobres y su implementación se puede evidenciar en la arquitectura típica del viejo caldas.

La guadua es una planta muy resistente por la consistencia de sus fibras vegetales y su forma cilíndrica, además de que es muy liviana y una flexibilidad prodigiosa, esto favorece a la hora de cortarla y disponer de ella ya sea para decoración, vivienda, artesanías etc., sin que se tenga que someter a delicados o muy prolongados procedimientos para la transformación de materia prima.⁷

Por tal motivo podemos encontrar la tradición en la utilización en guadua en puentes, o complejas estructuras de vivienda.

Se han realizado estudios a finales siglo XIX de los usos tanto tradicionales como espontáneos de la guadua en Colombia. Lo que ha sido muestra de orgullo debido

⁶ Villegas, M. La Guadua el Futuro de la Arquitectura. Bambusa Guadua: (1989).

⁷ Villegas, M. Con la guadua también se hacen ciudades. Bambusa Guadua (1989).

a que son evidencia de la capacidad de los colombianos para la utilización de ésta “madera” prodigiosa.

Esta tradición es admirable por arquitectos de la época debido a que fue esculpida sin ayuda técnica de ningún tipo, cumpliendo su cometido de dar soluciones eficaces para la construcción.

Esto ha influido en el interés de promover las bondades de este material en la construcción y la búsqueda de técnicas que mejoren su desempeño estructural.

5.4.2 Vulnerabilidad estructural.

Dentro del análisis que podemos realizar en los centros urbanos podemos considerar varios tipos de vulnerabilidad, tanto sísmica, como ambiental, humana, funcional, económica entre otras. La vulnerabilidad estructural es un factor muy importante de estudio debido a la relación directa que tiene con las personas que edifican y habitan la estructura.

En el manual de mitigación de desastres de la oficina regional de panamá de la OMS define la vulnerabilidad estructural como el grado de pérdida que puede tener una estructura en un elemento o grupo de elementos que se encuentran sometidos a la posible realización de un evento catastrófico, el cual puede ser clasificado de acuerdo a una escala que representa el grado de vulnerabilidad.⁸

El libro Arquitectura moderna en zonas sísmicas define la vulnerabilidad en términos de capacidad que tiene un edificio para dar respuesta ante las excitaciones generadas por un movimiento sísmico.⁹

⁸ Mitigación de desastres en las instalaciones de la salud evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y estructural. Washington D.C: Organización Panamericana de la Salud Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud 1993. p. 4.

⁹. Guevara Pérez, T. & Bertero. Arquitectura moderna en zonas sísmicas. Barcelona, V. (2009) Gustavo Gill. p. 77.

La Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Civil Colciencias en su publicación a cerca de la vulnerabilidad sísmica en centros urbanos concibe la vulnerabilidad como el índice de daño que sufriría una tipología estructural específica la cual se encuentra sometida a una determinada acción sísmica.¹⁰

Dentro del presente proyecto se entenderá la vulnerabilidad estructural como el conjunto de variables en torno a la estructura y la ubicación de la misma que permiten predecir y resistir un posible daño generado por la acción de las fuerzas de un evento sísmico, la cual puede ser jerarquizada de acuerdo a una escala de daño.

Dentro del concepto de vulnerabilidad estructural se pueden distinguir las siguientes categorías:

5.4.2.1 *Movimiento sísmico.*

Bajo este término se agrupan todos los fenómenos vibrantes que se transmiten a través de ondas por la corteza terrestre, la cuales son generadas por la liberación de energía al quebrarse algún corte importante de bloque rocoso en áreas relativamente superficiales de la tierra.¹¹

¹⁰ Maldonado Rondón, E. & Chio Cho, G. Vulnerabilidad sísmica en centros urbanos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Civil Colciencias, (2008). p.9.

¹¹ Comisión nacional de riesgo de costa rica. [En línea]. <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc1789/doc1789-contenido.pdf>

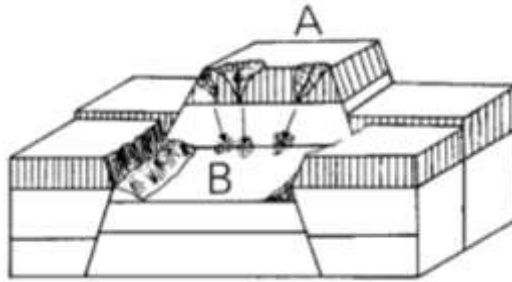


Figura 2: Cambios en la presión de la corteza.

Fuente: (www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc1789/doc1789-contenido.pdf)

5.4.2.2 Índice de daño.

Los índices de daño permiten cuantificar de manera local o global el daño que puede ser generado en la estructura, se encuentra íntimamente ligado a la vulnerabilidad.¹²

¹² Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica. [En línea]. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6226/14CAPITULO5.pdf?sequence=14>.

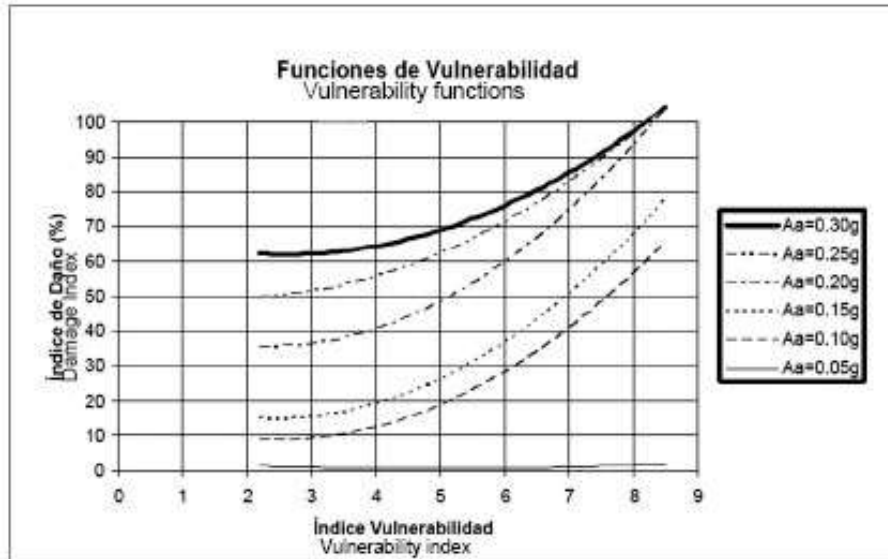


Figura 3: Esquema que relaciona el índice de daño y la vulnerabilidad.

Fuente: (www.scielo.org)

5.4.2.3 Capacidad de Respuesta o Respuesta sísmica.

Está representada por las deformaciones y fuerzas que aparecen en las estructuras debidas a la acción de unas fuerzas sísmicas.¹³

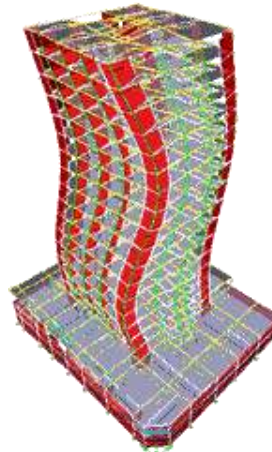


Figura 4: Modelación del movimiento de un edificio.

Fuente: (tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7009/Capitulo6.pdf)

¹³ Respuesta sísmica de Estructuras. [En línea].
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7009/Capitulo6.pdf>

5.4.3 Construcción sostenible.

Para el Ph.D. en arquitectura Domingo Acosta la construcción sostenible se refiere al hecho de entender las actividades que contribuyen en la actualidad a resolver nuestros problemas urgentes, examinándolas con respecto a su impacto ambiental y en el aspecto social, económico y técnico, en la búsqueda de no comprometer la capacidad de las generaciones futuras para resolver sus propios problemas.¹⁴

De igual manera Yovanna Sandó Marva en su proyecto de grado define la construcción sostenible para urbanismo como un proceso de gestión urbana cuya finalidad es mejorar las condiciones actuales y futuras de las comunidades, sin menoscabo de las condiciones medioambientales del lugar. Habitualmente, están ligadas a políticas de mejoramiento impulsadas por el estado. Debe prestar especial atención al ahorro energético, del agua y de los recursos, a la gestión de los residuos y a la creación de un entorno agradable a partir de una red de zonas verdes.¹⁵

Según una publicación de la Universidad Nacional Autónoma de México comprende la arquitectura sostenible o las construcciones sustentables como aquel desarrollo y dirección responsable de un ambiente edificado saludable basado en principios ecológicos y de uso eficiente de los recursos. Los edificios proyectados con principios de sustentabilidad tienen como objetivo disminuir al máximo su impacto negativo en nuestro ambiente a través del uso eficiente de energía y demás recursos.¹⁶

¹⁴ Acosta, Domingo. (2004). [Online]. Arquitectura y Construcción Sostenible, conceptos problemas y estrategias. http://dearq.uniandes.edu.co/sites/default/files/articles/attachments/DeArq_04_-_Acosta_0.pdf. p.15.

¹⁵ Marva, yovanna sandó..Trabajo final master. Hacia la construcción de una Arquitectura sostenible en Venezuela. Arquitectura sostenible. (2011). p. 34.

¹⁶ Universidad Nacional Autónoma de México (2011). [Online]. Publicaciones Digitales e Impresas, Arquitectura Sustentable. http://reine.arq.unam.mx/VersionEspañol/Recursos/01Principal/Archivos_PDF_to_HTTP_2011/ArqSust15pp.pdf.

En el presente proyecto se entenderá el término construcción sustentable o sostenible como la edificación diseñada de tal manera que busque solucionar un problema habitacional siendo coherente con los aspectos de impacto ambiental, social, económico y técnico, cuya implementación permita satisfacer las necesidades actuales generando el menor impacto posible en el entorno sin afectar el desarrollo de las generaciones futuras.

Dentro del concepto de construcción sostenible se pueden distinguir las siguientes categorías:

5.4.3.1 Desarrollo Sostenible.

Es aquel desarrollo con el cual se proyecta una rentabilidad económica y de justicia social, guiándose bajo unos límites medio ambientales, con el fin de satisfacer las necesidades humanas sin agotar los recursos naturales de los cuales se disponen o se dispondrán en el futuro.¹⁷

5.4.3.2 Impacto Ambiental.

Se refiere a la interacción que realizar el hombre por medio de su actividad en su entorno modificándolo de tal manera que pueda satisfacer sus necesidades de “salud y bienestar”. Este impacto se manifiesta con tres facetas sucesivas: La modificación de alguno de un factor o conjunto de sistemas ambientales, La modificación de del valor de un factor o conjunto de sistemas ambientales y la interpretación o significado de dichas modificación para lograr la salud o bienestar humano.¹⁸

¹⁷ Madrid. Vega, J. L. A. Los principios del desarrollo sostenible, (2009). ESIC Editorial. p.110.

¹⁸ Gómez Orea, D. & Gómez Villarino, M. T. Evaluación de Impacto Ambiental, (2013). Tercera Edición, Madrid: Mundi-Prensa. P.155.

5.4.3.3 *Desarrollo Económico y Social.*

Es la búsqueda de un desarrollo conjunto que orientado por medio de políticas sociales, promuevan y faciliten el crecimiento económico al mismo tiempo que impulsa una transformación social al satisfacer a través de los bienes y servicios las necesidades de la sociedad donde la equidad social se considere un factor elemental para el crecimiento a mediano y largo plazo.¹⁹

¹⁹ Naciones Unidas. Draibe, S. & Riesco, M. Estado de bienestar, desarrollo económico y ciudadanía: El tratamiento Integrado de la política económica y la policía social. México, D.F.: (2006). p.12.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.

En el presente trabajo de grado se utilizará un enfoque de tipo cuantitativo, que permita realizar una ordenada recolección de datos y posterior análisis de la información.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación a realizar es cuantitativa debido a que se procederá a realizar una recolección de información de la tipología existente de la estructura. Se realizara un diagnóstico de la estructura de acuerdo a las solicitudes sísmicas, de viento y del peso propio según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y una valoración de vulnerabilidad de la estructura, con el fin de plantear una solución técnica.

6.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.

Debido a que no se contaba con la información necesaria como planos, donde se mostrarán los tipos de uniones, tipologías de las estructuras que se estaban manejando y en generan un diseño de elementos, se realiza una visita a campo:

Fase 1	
Fase de Análisis de la Estructura	
No.	ACTIVIDAD
1	Se determinaron las estructuras que presentaban las condiciones más críticas con el fin de realizar la visita para identificar en campo las principales características estructurales de la edificación.

2	Se recopila documentación para el diseño sismo resistente de estructuras en guadua de la NSR-10. Aclarando o ampliando los conocimientos previos a la investigación, teniendo en cuenta además bibliografía: artículos, revistas, libros y tesis relacionadas con el tema investigativo para así cumplir con el objetivos propuestos.
3	Se realiza una visita a campo para recolectar información preliminar como: planos, toma de medidas, caracterización geométrica, estado actual de los materiales, fotografías, ubicación y condiciones ambientales.
Fase 2	
Modelación Estructural	
No.	ACTIVIDAD
1	Se realizan planos estructurales con la ayuda del programa AutoCAD haciendo una revisión preliminar de los elementos que podrían suscitar reducción de la eficiencia como puede ser el efecto de esbeltez.
2	Se realiza un avalúo de cargas que actúan sobre la estructura para incorporar dichos parámetros en los datos de entrada del modelo, relacionando: Peso propio de la estructura, cargas muertas, cargas vivas, de viento y determinación de las fuerzas sísmicas de acuerdo a la NSR 10.
3	Se analizan los datos obtenidos de las estructuras existentes y por medio del programa estructural SAP 2000, se realiza la modelación con los parámetros de diseño de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
4	Se verifican esfuerzos y elementos vulnerables en la estructura.

Fase 3	
Propuesta de Reforzamiento Estructural	
No.	ACTIVIDAD
1	Se analiza detalladamente la información obtenida con el fin de plantear las diferentes alternativas de refuerzos estructurales necesarios para garantizar la estabilidad de las cubiertas en caso de un evento sísmico.
2	Se realiza una segunda modelación con las propuestas de reforzamiento teniendo en cuenta factores como la participación de la masa, periodo de la estructura y deformaciones.
3	Se hace la respectiva verificación de cumplimiento de Derivas, esfuerzos admisibles para los diferentes elementos con la elaboración de una hoja de cálculos en Excel.

4	Se realiza una nueva revisión de esfuerzos y un diseño de elementos que se contemplan como reforzamiento según título G de la norma NSR10.
Fase 4	
Planos de Reforzamiento Estructural y difusión	
No.	ACTIVIDAD
1	Se realizan los planos de reforzamiento estructural de acuerdo a los análisis de riesgo desarrollados previamente.
2	Se realizan planos de detalle de los elementos: Ubicación e Instalación de los reforzamientos, Características de los elementos estructurales, condiciones de apoyos, entre otros.
3	Cálculo de cantidades y especificaciones de los materiales.
4	Entrega de planos de reforzamiento estructural a los formadores del SENA, con lo cual se logre mejorar el desempeño de las estructuras y prevenga un posible daño durante un evento sísmico.

Tabla 1. Fases de la investigación.

Fuente: Autores

6.4 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS.

La técnica utilizada para la recolección de información será la observación directa de las estructuras identificando las condiciones físicas en que se encuentran y tipos de uniones.

Para la realización de los planos tanto de las condiciones actuales como de los entregables finales se utilizará el programa Autocad, el cual es un software especializado para el dibujo digital de planos en 2D y 3D.

Como instrumento de modelación se utilizará el programa SAP2000 que permite realizar cálculos de elementos finitos orientados a objetos, realiza un manejo totalmente integrado de la información y sirve para ejecutar cálculos estructurales, modelación, análisis y dimensionamiento estructural.

Así mismo se hará uso del programa Corpasoft 3, el cual es una herramienta desarrollada entre otras cosas para el cálculo de cargas de viento, cálculo y dimensionamiento estructural de elemento de acero.

Además se utilizará el programa Excel del paquete de Office el cual permite hacer cálculos más rápidos y simples para la realización de tablas las cuales requieren cálculos repetitivos.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 VISITA DE CAMPO Y RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

En compañía de los formadores del SENA del municipio de Garzón - Huila, se visitó cada una de las cubiertas de estudio; Se realizó en primer lugar una inspección visual de las cubiertas encontrado irregularidades geométricas en la armadura, guaduas deterioradas y no inmunizadas, algunos elementos ya presentaban pandeos, como en el caso de las columnas, además se evidenció que las estructuras presentaban condiciones de apoyo inadecuadas.

Después de recopilar la información, se escogieron las cubiertas que mostraban las condiciones estructurales más desfavorables, las cuales estaban ubicadas en las veredas de La Soledad y Puerto Alegría, posteriormente se realizó el dimensionamiento de las estructuras, determinando diámetros tanto internos como externos de las guaduas, longitud entre los apoyos y un levantamiento a mano alzada de la geometría de las armaduras, para posteriormente realizar los planos de las cubiertas.



Ilustración 1. Vista general de la armadura de la cubierta La Soledad

Fuente: Autores

Como se puede ver en la Ilustración 1. En la cubierta de La Soledad, se nota la irregularidad geométrica de la armadura, por la falta de elementos, condiciones de apoyo inadecuadas por estar la estructura simplemente apoyada sobre los pedestales de concreto, del mismo modo, una de las particularidades más notorias fue que sus correas no llegaban, en su gran mayoría, a los nodos de la armadura.



Ilustración 2. Pandeo en columna, cubierta La Soledad

Fuente: Autores

En la Ilustración 2. Observamos claramente el pandeo de la columna, su falla por aplastamiento además que las guaduas utilizadas no estaban inmunizadas.



Ilustración 3. Vista general de la armadura, cubierta Puerto Alegría

Fuente: Autores

En la Ilustración 3. Se encontró que la cubierta de Puerto Alegre presentaba una estructura más regular en su armadura, evidenciando una forma triangular mejor proporcionada, en este caso la conexión entre los nodos y las correas no eran críticas ya que solo algunas correas no llegaban exactamente a los nodos.



Ilustración 4. Condiciones de apoyo de la cubierta, Puerto Alegre

Fuente: Autores

En la Ilustración 4. Se observa una condición de apoyo inadecuada sobre el pedestal, ya que las guaduas externas al apoyo se encuentran en el borde del mismo, aumentando el riesgo de colapso. Se evidencia el deterioro de las Guaduas por la falta de mantenimiento en su etapa de servicio, debido a su exposición a las condiciones ambientales de la zona.

Teniendo en cuenta que la zona de Huila está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta, de acuerdo a la NSR-10, según las condiciones encontradas en la esto aumentaban el riesgo de colapso en las estructuras debido a los desplazamientos horizontales ocasionados por las fuerzas sísmicas.

7.2 MODELACIÓN ESTRUCTURAL.

7.2.1 Geometría de los pórticos.

Ya que en la visita realizada los Instructores del Huila no contaban con planos de diseño de las cubiertas, el primer paso que se realizó fue modelar las armaduras de las mismas utilizando el programa AutoCAD.

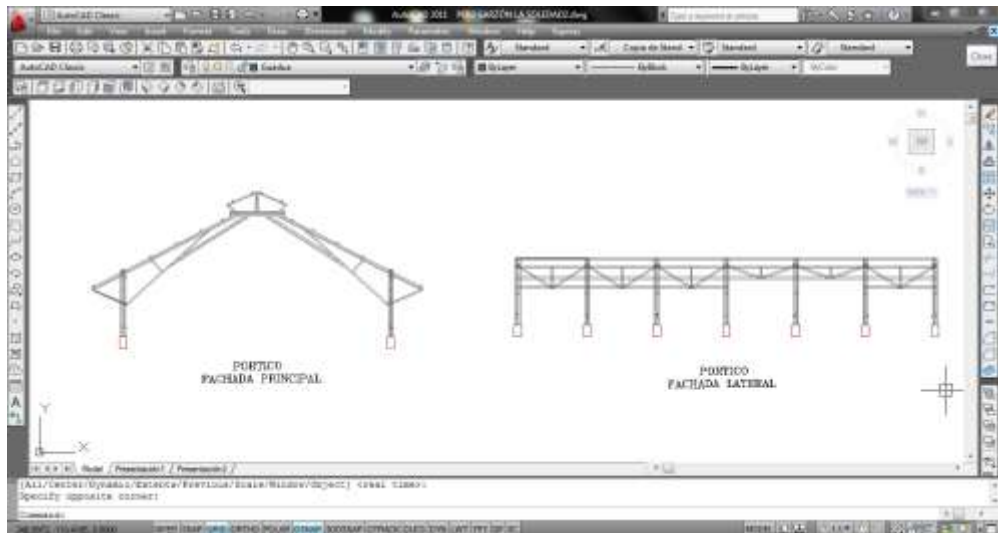


Figura 5. Plano generado en Auto CAD de la geometría inicial de la cubierta, La Soledad

Fuente: Autores

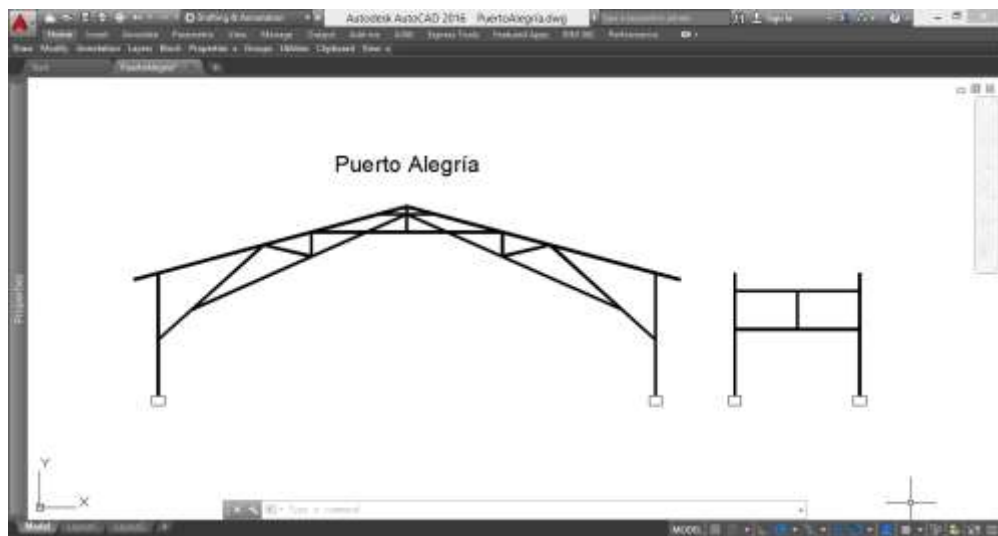


Figura 6. Plano generado en AutoCAD de la geometría inicial de la cubierta, Puerto Alegria

Fuente: Autores

7.2.2 Avalúo de cargas.

El avalúo de cargas que se utilizó para incorporar en los modelos, de La Soledad y de Puerto Alegría, como parámetros de entrada para cargar el modelo, se determinó una carga muerta de 1.033 KN/m² generado por el peso de una cubierta arquitectónica y un teja de arcilla tipo español.

Avalúo de cargas muertas	
Componente	Carga KN/m ²
Peso de teja de arcilla tipo español	1.000
Peso de cubierta arquitectónica (espesor de 0,36 mm)	0.033
Peso total carga muerta	1.033

Tabla 2. Avalúo de cargas muertas para las cubiertas de La Soledad y de Puerto Alegría.

Fuente: Autores

Las cargas vivas mínimas requeridas se determinaron de acuerdo a las pendientes de las cubiertas, según la tabla B.4.2.1-2 (Cargas vivas mínimas en cubiertas), sin tener en cuenta cargas de granizo según NSR-10 para estructuras a más de 2000 m.s.n.m. ya que el municipio de garzón se encuentra a 828 m.s.n.m., tampoco se tendrán en cuenta cargas por empozamiento de agua ya que las cubiertas no cuentan con canales, tampoco se tendrán en cuenta esfuerzos por empuje de tierras, por la superficialidad de la estructura.

Para la cubierta de La Soledad, se consideró una carga viva sobre cubierta de 0.35 KN/m² y 0.5 KN/m² para la cubierta de Puerto Alegría.

Cargas vivas mínimas en cubiertas de acuerdo la Tabla B.4.2.1-2 de la NSR10	
Tipo de cubierta	Carga KN/m ²
Carga viva sobre cubierta con más de 15° de pendiente.(cubierta la Soledad)	0.350
Carga viva sobre cubierta con pendiente de 15° o menos. (cubierta Puerto Alegría)	0.500

Tabla 3. Avalúo de cargas vivas para las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría.

Fuente: Autores

Las cargas de viento fueron analizadas por medio del programa Corpasoft 3.0. En el cual se consideraron como parámetros de entrada como: clasificación de la estructura, altura media de cubierta, flujo de viento, ángulo de la cubierta, tipo de cubierta grupo de uso de la estructura, con lo cual se determinó de acuerdo al análisis del Software que la presión mínima de viento sobre las cubiertas de Puerto Alegría y La Soledad fue de 0.4 KN/m².

Carga de presión de viento. (calculada con el Software Corpasoft 3.0)	
Carga de viento mínima	Carga KN/m ²
Cubierta la soledad	0.400
Cubierta Puerto Alegría	0.400

Tabla 4. Carga de presión de viento para las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría.

Fuente: Autores

7.2.3 Cálculo del espectro de diseño.

Para realizar el análisis dinámico con el correspondiente espectro de diseño se determinaron las siguientes variables para el municipio de Garzón-Huila de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10): Un tipo de suelos C de acuerdo a la tabla A.2.4-1 (clasificación de los perfiles del suelo), que son suelos densos o roca blanda que cumplen con el criterio de

velocidad de onda o de resistencia media al corte, una zona de amenaza sísmica alta de acuerdo a sus localización geográfica, un coeficiente de aceleración horizontal $A_a = 0.30$, un coeficiente de velocidad horizontal $A_v = 0.15$, de acuerdo al apéndice A-4, un coeficiente de importancia 1 según el Grupo de Uso I, de acuerdo a la tabla A.2.5-1, el cual es el grupo de uso más bajo que está considerado en la norma NSR-10 y que no son edificaciones indispensables para la atención o albergue de personas después de un evento sísmico, un coeficiente de amplificación F_a de 1.1 de acuerdo a la tabla A.2.4-3, y de F_v de 1.6 de acuerdo a la figura A.2.4-2.

Parámetros para el cálculo del espectro de diseño		Tabla de acuerdo NSR10
Localización: GARZON HUILA		
Tipo de suelo	C	Tabla A.2.4-1
Zona de amenaza sísmica	ALTA	Apéndice A-4
Coeficiente de aceleración horizontal A_a	0.30	Apéndice A-4
Coeficiente de velocidad horizontal A_v	0.15	Apéndice A-4
Coeficiente de importancia grupo uso I	1.00	Tabla A.2.5-1
coeficiente de amplificación F_a	1.10	Tabla A.2.4-3
Coeficiente de amplificación F_v	1.60	Figura A.2.4-2

Tabla 5. Parámetros para el cálculo del espectro de diseño.

Fuente: Autores

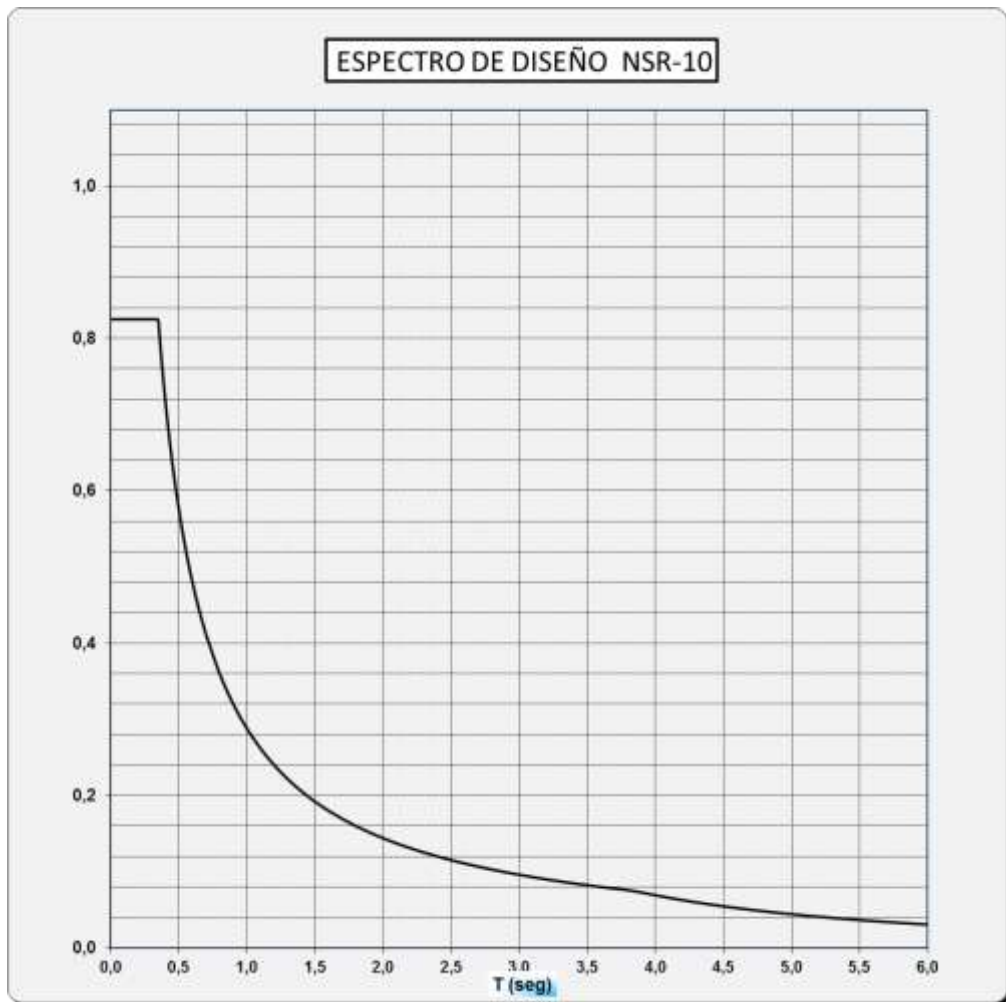


Figura 7. Cálculo del espectro elástico de aceleraciones de diseño.

Fuente: Autores

Este espectro de diseño de la Figura 7. Luego fue utilizado como parámetro de entrada en la modelación en el programa SAP 2000, simulando las condiciones sísmicas de la zona de estudio para evidenciar el comportamiento de la edificación ante estas fuerzas horizontales.

7.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL PROGRAMA SAP 2000.

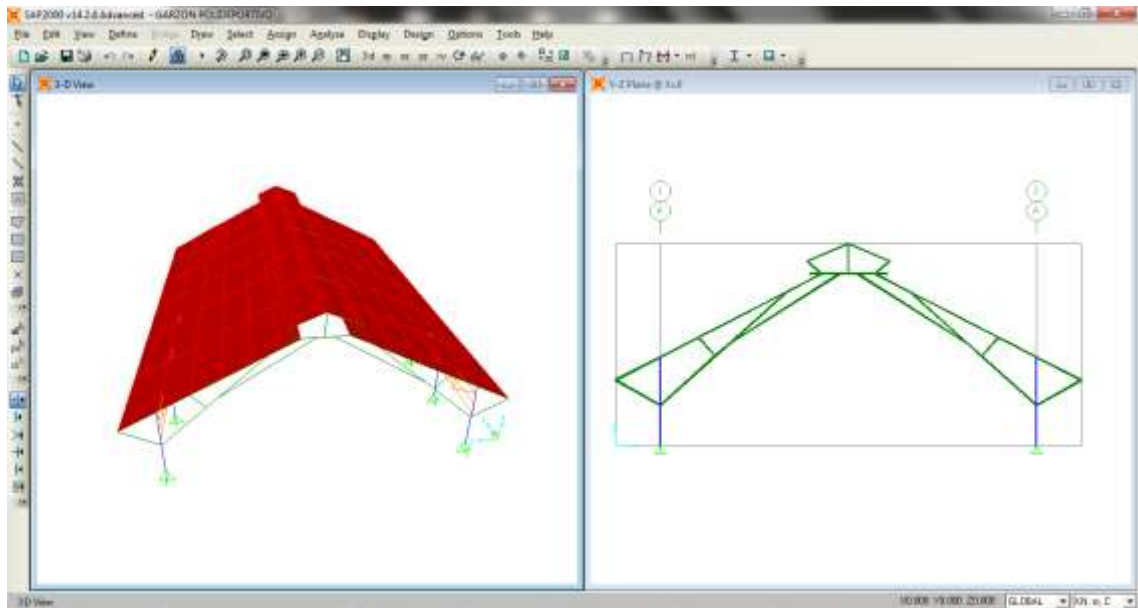


Figura 8. Modelo preliminar de la cubierta en el programa SAP 2000 ubicado en la vereda La Soledad.

Fuente: Autores

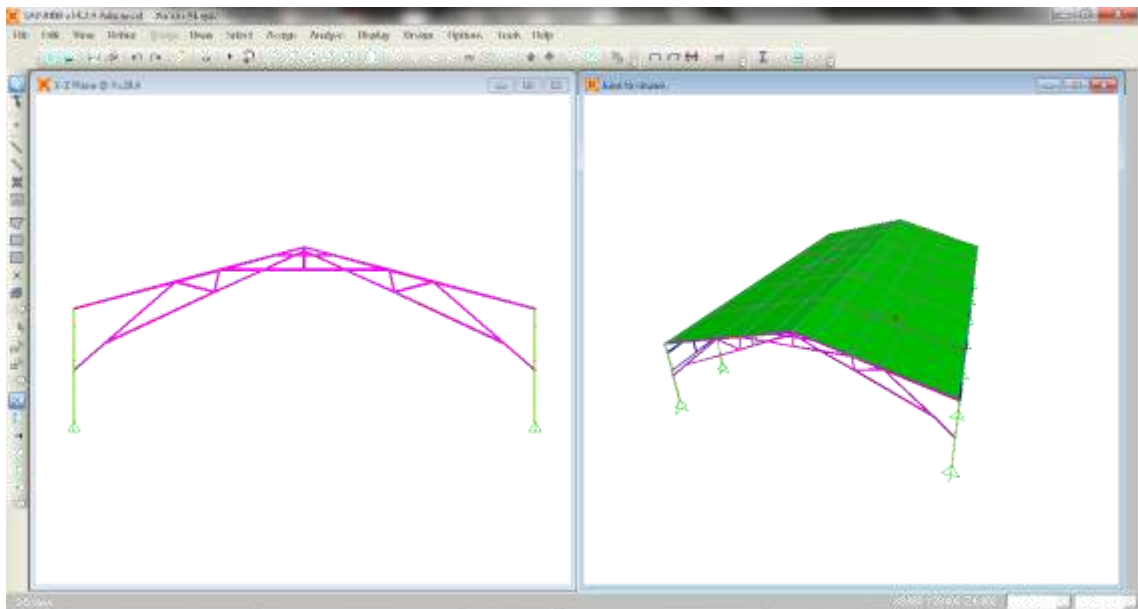


Figura 9. Modelo preliminar de la cubierta en el programa SAP 2000 ubicado en la vereda Puerto Alegría.

Fuente: Autores

Se realizó una modelación preliminar de la estructuras en su estado actual, realizando las asignaciones de las cargas muerta y viva, de tal forma que actuaran sobre un área pero que transmitieran su carga hacia las correas de la cubiertas, generando que estas transmitieran los esfuerzos a todos los demás elementos de la estructura.

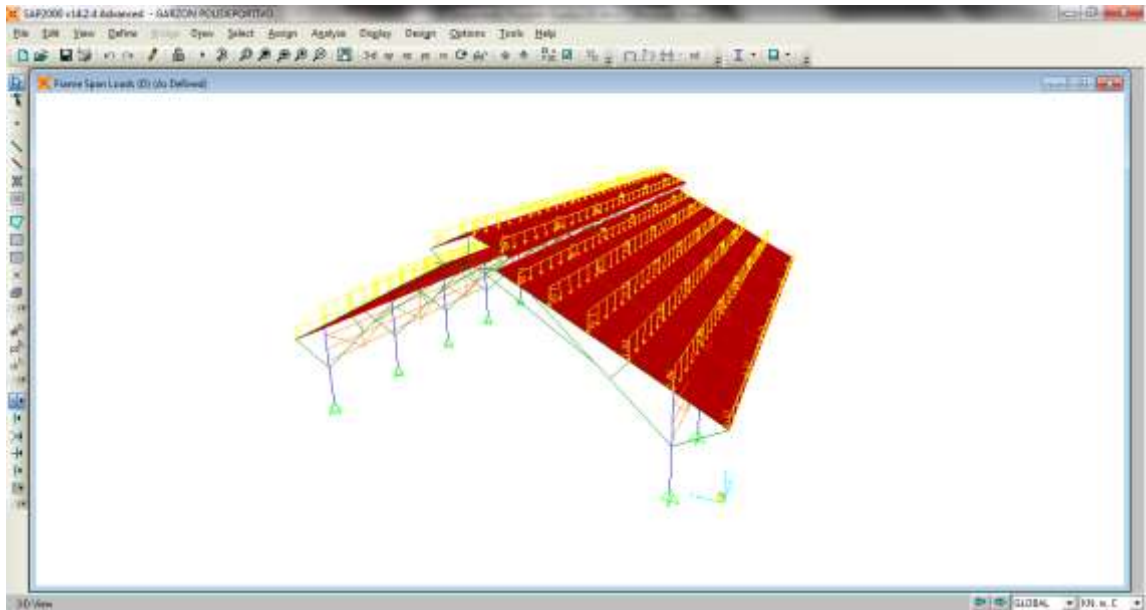


Figura 10. Modelo preliminar cubierta la Soledad asignación de cargas muerta y viva.

Fuente: Autores

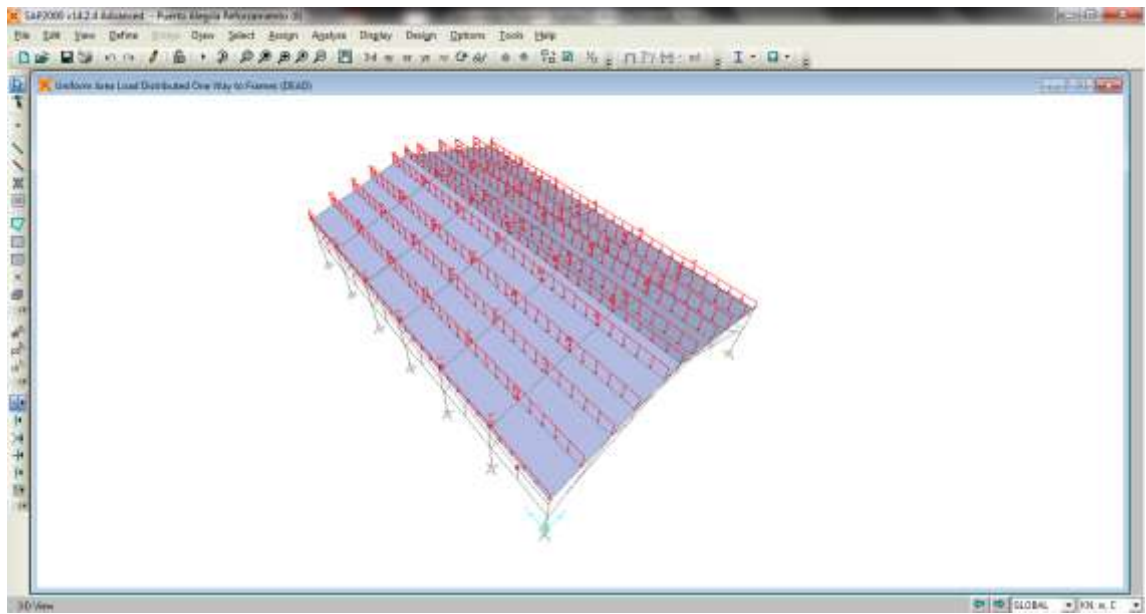


Figura 11. Modelo preliminar cubierta Puerto Alegre asignación de cargas muerta y viva.

Fuente: Autores

La carga de presión de viento se asignó sobre un área de tal forma que llegara perpendicular a la misma.

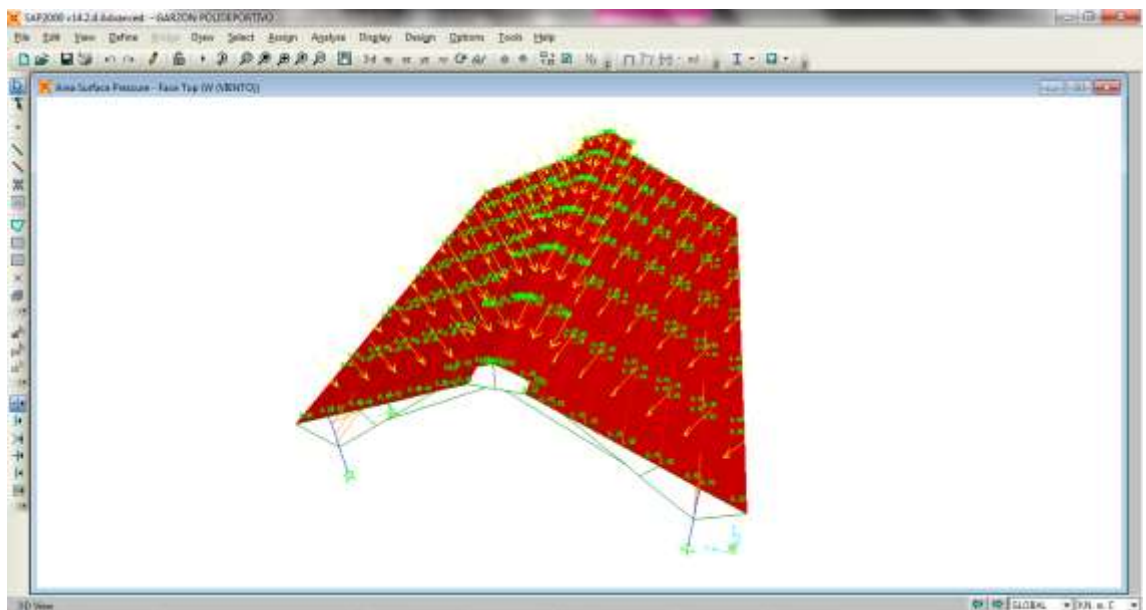


Figura 12. Modelo preliminar cubierta la Soledad asignación de cargas de presión de viento.

Fuente: Autores

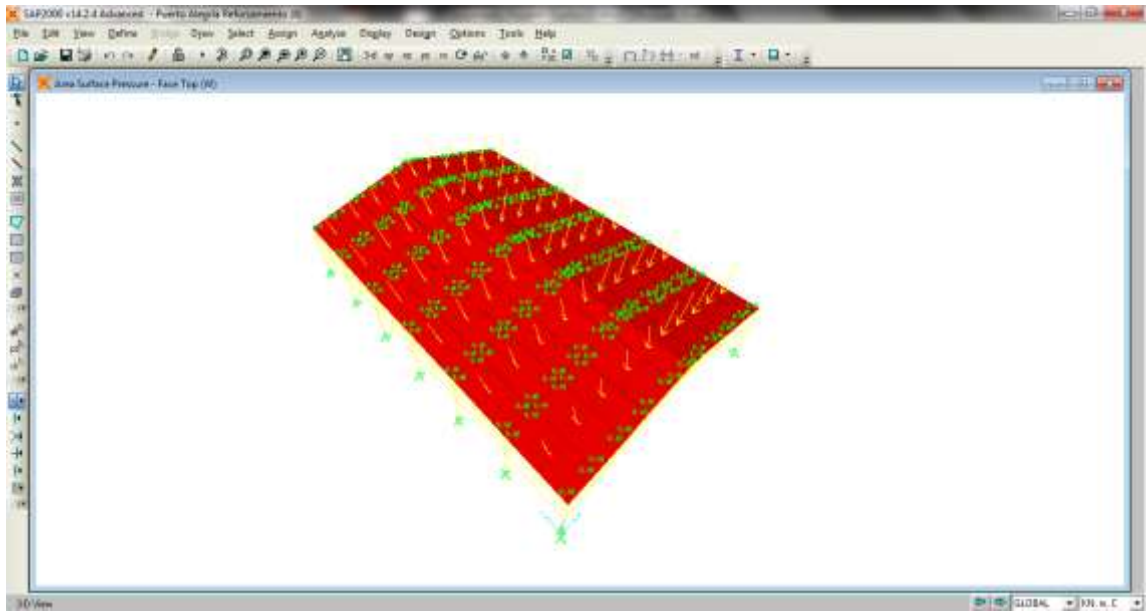


Figura 13. Modelo preliminar cubierta Puerto Alegre asignación de cargas de presión de viento.

Fuente: Autores

A su vez se cargó el espectro de diseño a los modelos para realizar la simulación del sismo actuante sobre la estructura con un coeficiente de amortiguamiento del cinco por ciento del crítico.

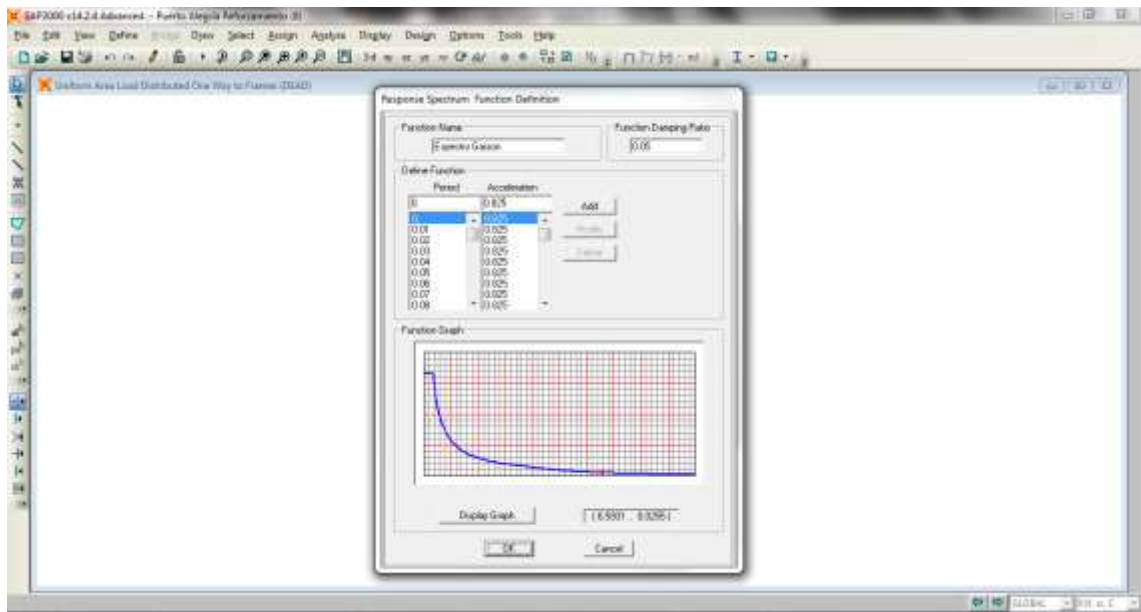


Figura 14. Modelo preliminar cubiertas la Soledad y Puerto Alegría, asignación del espectro de diseño.

Fuente: Autores

Ya con los parámetros de entrada asignados al modelo se realizó el análisis donde se evidenció que la estructura de la Soledad presentaba problemas de inestabilidad por su disposición geométrica, ya que el modelo se realizó de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) articulando los nodos de la cubierta, y a su vez la disposición de sus elementos, como las correas no llegaban a los nodos de la armadura quedando estos elementos sueltos, dando como resultado un aumento significativo del periodo en la estructura, lo cual puede evidenciarse en la Figura 15 en donde se observa que el desplazamiento de la estructura en el sentido Y corresponde a 746,32 metros, lo cual corresponde a un valor ilógico que está relacionado con la inestabilidad de la misma.

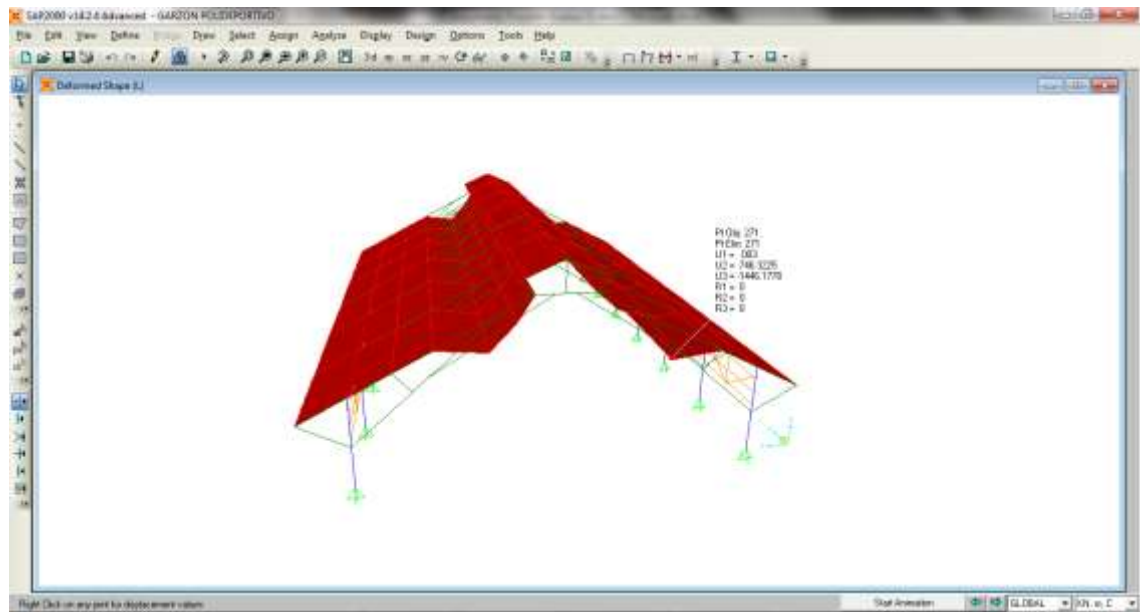


Figura 15. Modelo preliminar cubierta la Soledad, inestabilidad por correas sueltas.

Fuente: Autores

Así mismo los desplazamientos horizontales tanto en sentido S_x y en sentido S_y no cumplían con las derivas máximas permitidas de acuerdo a la tabla A.6.4-1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

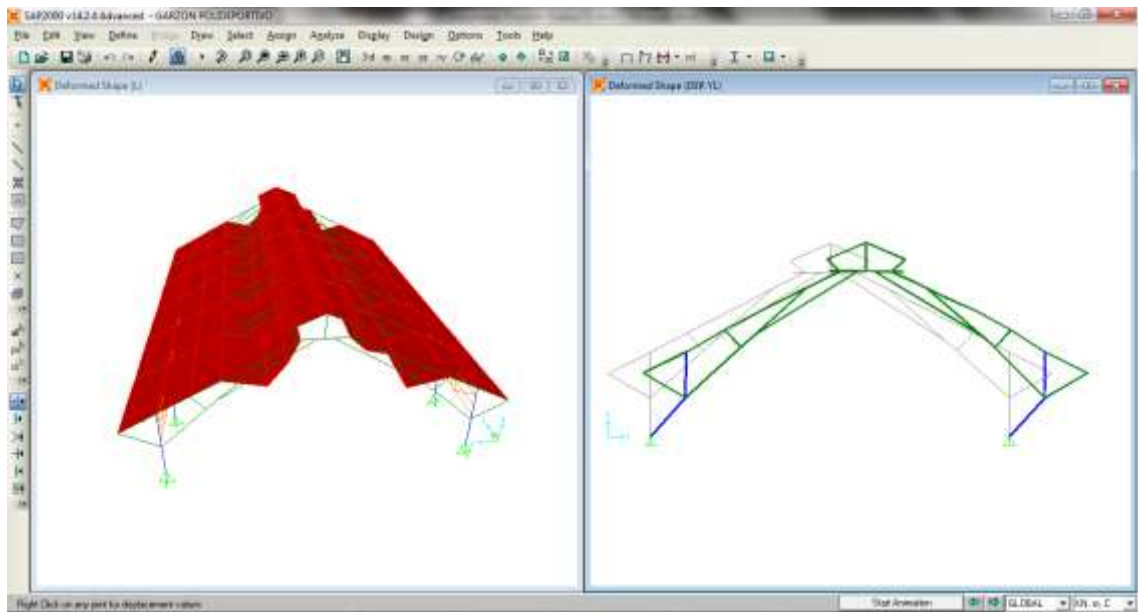


Figura 16. Modelo preliminar cubierta la Soledad chequeó de desplazamientos en sentido S_x y S_y .

Fuente: Autores

En cuanto a la armadura se evidencio la falta de elementos en su geometría, lo cual no permitió la trasmisión de las cargas axiales adecuadamente, mostrando incrementos de esfuerzos en la gran mayoría de los elementos y transmitiendo momentos considerables sobre la armadura, lo cual se pudo evidenciar a través de la visita de campo en donde se encontraron varios elementos de las columnas que habían fallado debido a cargas considerables de cortante y compresión perpendicular. Finalmente con relación a los apoyos de la cubierta se determinó, que están propensos al colapso debido a los desplazamientos horizontales, siendo estos apoyos inadecuados debido a que no están debidamente anclados entre el pedestal y los canutos de guadua de las columnas.

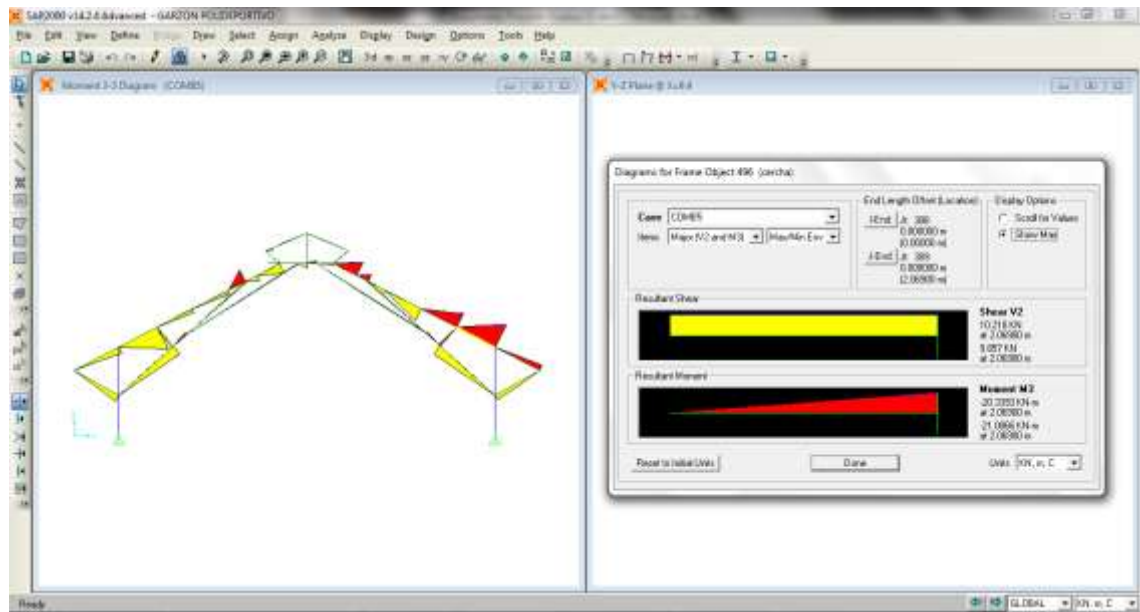


Figura 17. Modelo preliminar cubierta la Soledad chequeó de fuerzas axiales, cortantes y momentos.

Fuente: Autores

Con relación a la condición inicial de cubiertas de La soledad y de Puerto Alegre se comprobó por medio de este análisis que las cubiertas tienen una vulnerabilidad alta ante un evento sísmico debido a las condiciones ya establecidas con lo cual se procederá al planteamiento del reforzamiento de las cubiertas.

7.4 PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.

Para las cubiertas de La Soledad y de Puerto Alegre, se comenzó por adicionar los elementos en las armaduras necesarios para lograr su estabilidad geométrica y uniformidad estructural. Para garantizar la estabilidad de las estructuras reticuladas que deben ser totalmente articuladas en sus nodos se buscó generar formas triangulares tanto en el plano como en el espacio, tratando en lo posible de no modificar la geometría inicial.

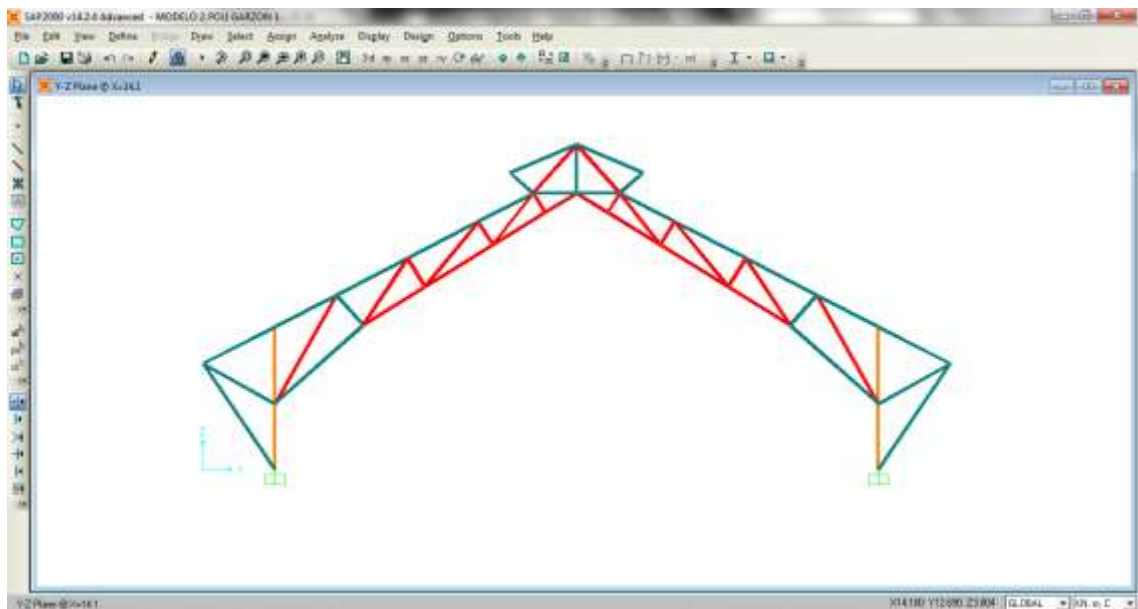


Figura 18. Planteamiento de reforzamiento en la armadura de la cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

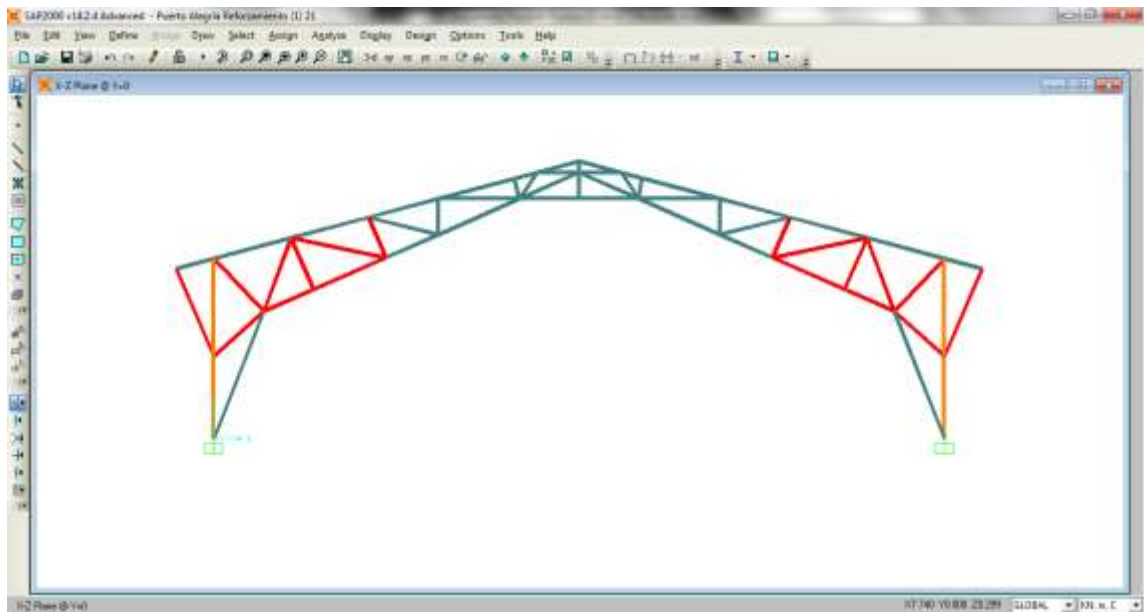


Figura 19. Planteamiento de reforzamiento en la armadura de la cubierta de Puerto Alegre.

Fuente: Autores

Con los refuerzos en las armaduras se procedió a reubicar las correas de las dos cubiertas, llevando estas a los nodos del cordón superior, con el fin de distribuir correctamente las cargas hacia los demás elementos de la armadura y así transmitir correctamente las fuerzas internas hacia a las columnas.

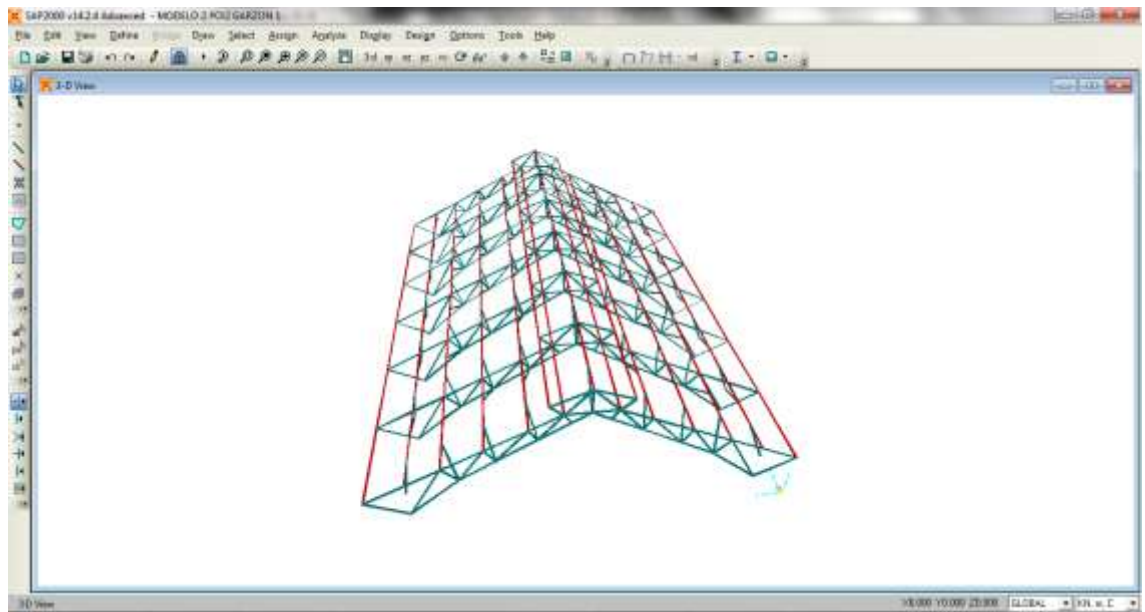


Figura 20. Reubicación de las correas en los nodos del cordón superior de la cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

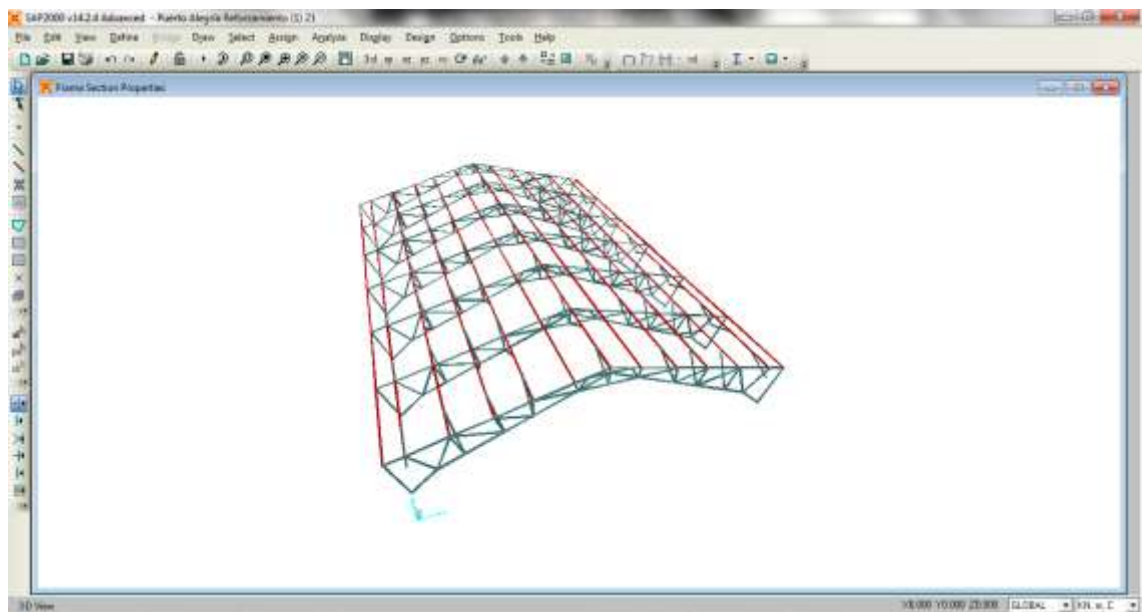


Figura 21. Reubicación de las correas en los nodos del cordón superior de la cubierta Puerto Alegre.

Fuente: Autores

Realizando los refuerzos ya planteados en las cubiertas se cambió la condición de los apoyos en las columnas de las cubiertas, siendo inicialmente apoyos simples por apoyos empotrados, en cuanto a las considerables carga axiales y momentos a la que estaban sometidos los elementos estructurales del análisis inicial, se decidió disminuir la carga muerta para la cual se habían chequeado inicialmente las cubiertas, puesto que el diseño definitivo de las mismas no contemplaría una carga muerta tan alta (Teja de arcilla tipo española). A partir de este análisis se realizó de nuevo el avalúo de cargas considerando una teja arquitectónica de uso estructural, reduciendo la carga muerta de 1.033 KN/m², a 0.33 KN/m², y se procedió a realizar de nuevo el análisis.

Avaluó de cargas muertas	
Componente	Carga KN/m ²
Entablillado en madera de pino	0.200
Aplicaciones y alumbrado interno	0.100
Peso de cubierta arquitectónica (espesor de 0,36 mm)	0.033
Peso total carga muerta	0.333

Tabla 6. Avaluó de carga muerta definitivo para modelación de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegria.

Fuente: Autores

Con el nuevo avalúo de cargas planteado dentro del reforzamiento, se verificaron los parámetros de participación de la masa de las diferentes combinaciones modales cumpliendo con el 90% de la participación de la masa. Así mismo se chequeo la corrección del cortante basal dinámico por la fuerza horizontal equivalente de las dos cubiertas, siendo el cortante basal por fuerza horizontal menor que el cortante basal dinámico, no se necesitó realizar ningún ajuste a las fuerzas sísmicas y sus demás consecuencias (Fuerzas internas, desplazamientos, derivas, etc.) Ver anexo N° 4.

Con el nuevo análisis, se encontró que las cubiertas en el sentido corto no cumplían con las derivas máximas admisibles con lo cual se colocaron diagonales en el sentido corto y arriostramientos concéntricos entre las columnas y las vigas en el sentido largo.

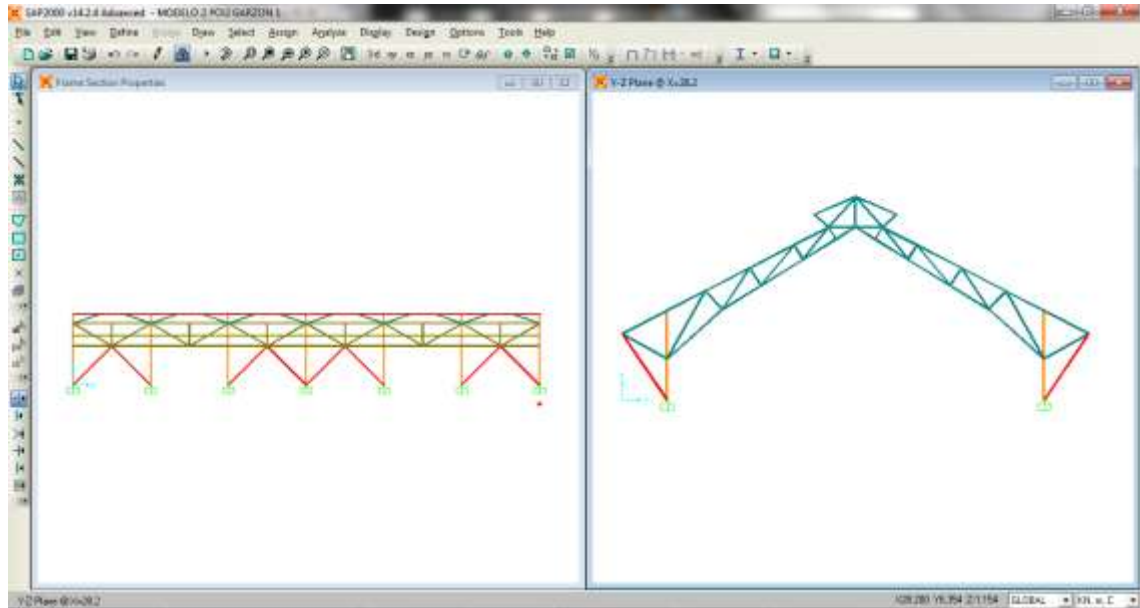


Figura 22. Refuerzo con diagonales y arriostramientos concéntricos de la cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

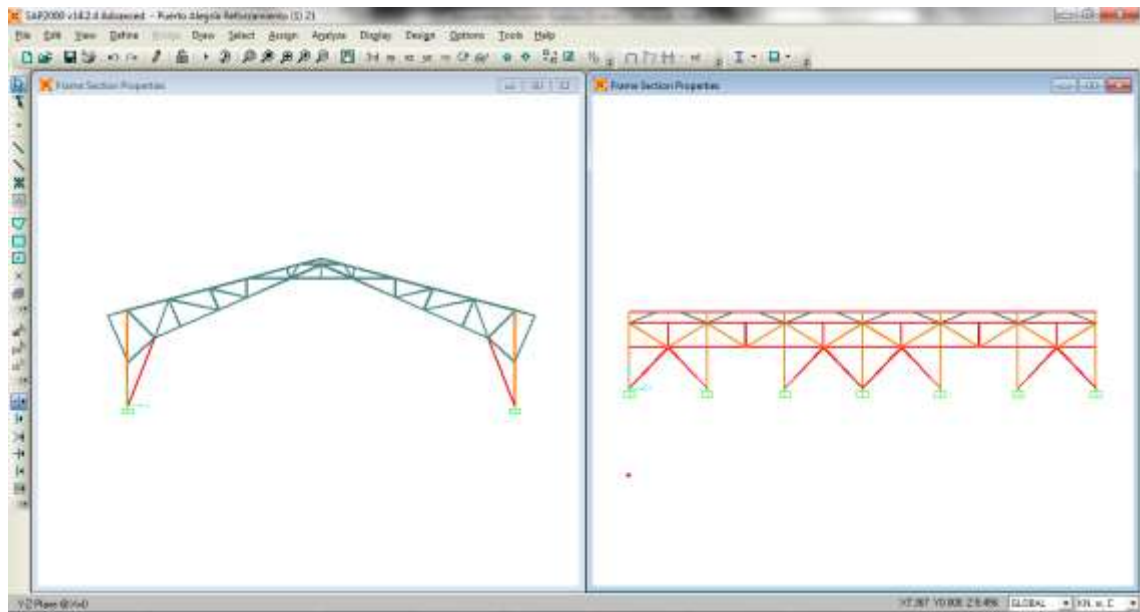


Figura 23. Refuerzo con diagonales y arriostramientos concéntricos de la cubierta Puerto Alegre.

Fuente: Autores

Con los planteamientos realizados de los refuerzos de las diagonales y arriostramientos para las dos cubiertas de La Soledad y de Puerto Alegre se realizó de nuevo el chequeo de las derivas en los extremos de la armadura de acuerdo a la tabla A.6.4-1 (Derivas Máximas) del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), las cuales cumplieron tanto como en la cubierta de la Soledad y la de Puerto Alegre.

CALCULO DE DERIVAS CUBIERTA LA SOLEDAD

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION X

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
5	Displacement X	0.000730	0.00809000	0.809	1.970	CUMPLE
5	Displacement Y	0.008057				
1	Displacement X	0.000000				
1	Displacement Y	0.000000				
7	Displacement X	0.000731	0.00810404	0.810	1.970	CUMPLE
7	Displacement Y	0.008071				
3	Displacement X	0.000000				
3	Displacement Y	0.000000				

161	Displacement X	0.000730	0.00809000	0.809	1.970	CUMPLE
161	Displacement Y	0.008057				
157	Displacement X	0.000000				
157	Displacement Y	0.000000				
163	Displacement X	0.000731	0.00810404	0.810	1.970	CUMPLE
163	Displacement Y	0.008071				
159	Displacement X	0.000000				
159	Displacement Y	0.000000				

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION Y

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
5	Displacement Y	0.014937	0.01494244	1.494	1.970	CUMPLE
5	Displacement X	0.000403				
1	Displacement Y	0.000000				
1	Displacement X	0.000000				
7	Displacement Y	0.014957	0.01496246	1.496	1.970	CUMPLE
7	Displacement X	0.000404				
3	Displacement Y	0.000000				
3	Displacement X	0.000000				
161	Displacement Y	0.014937	0.01494244	1.494	1.970	CUMPLE
161	Displacement X	0.000403				
157	Displacement Y	0.000000				
157	Displacement X	0.000000				
163	Displacement Y	0.014957	0.01496246	1.496	1.970	CUMPLE
163	Displacement X	0.000404				
159	Displacement Y	0.000000				
159	Displacement X	0.000000				

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION X

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
6	Displacement X	0.001619	0.01002164	1.002	3.170	CUMPLE
6	Displacement Y	0.009890				
1	Displacement X	0.000000				
1	Displacement Y	0.000000				
8	Displacement X	0.001613	0.01004337	1.004	3.170	CUMPLE
8	Displacement Y	0.009913				
3	Displacement X	0.000000				
3	Displacement Y	0.000000				

162	Displacement X	0.001619	0.01002164	1.002	3.170	CUMPLE
162	Displacement Y	0.009890				
157	Displacement X	0.000000				
157	Displacement Y	0.000000				
164	Displacement X	0.001613	0.01004337	1.004	3.170	CUMPLE
164	Displacement Y	0.009913				
159	Displacement X	0.000000				
159	Displacement Y	0.000000				

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION Y

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
6	Displacement Y	0.020014	0.02003418	2.003	3.170	CUMPLE
6	Displacement X	0.000899				
1	Displacement Y	0.000000				
1	Displacement X	0.000000				
8	Displacement Y	0.020043	0.02006311	2.006	3.170	CUMPLE
8	Displacement X	0.000898				
3	Displacement Y	0.000000				
3	Displacement X	0.000000				
162	Displacement Y	0.020014	0.02003418	2.003	3.170	CUMPLE
162	Displacement X	0.000899				
157	Displacement Y	0.000000				
157	Displacement X	0.000000				
164	Displacement Y	0.020043	0.02006311	2.006	3.170	CUMPLE
164	Displacement X	0.000898				
159	Displacement Y	0.000000				
159	Displacement X	0.000000				

Tabla 7. Calculo de derivas de la cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

**CALCULO DE DERIVAS CUBIERTA PUERTO ALEGRIA
SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION X**

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
26	Displacement X	0.007396	0.00740057	0.740	2.200	CUMPLE
26	Displacement Y	0.000260				
46	Displacement X	0.000000				
46	Displacement Y	0.000000				
28	Displacement X	0.007397	0.00740157	0.740	2.200	CUMPLE
28	Displacement Y	0.000260				
47	Displacement X	0.000000				
47	Displacement Y	0.000000				
177	Displacement X	0.007396	0.00740057	0.740	2.200	CUMPLE
177	Displacement Y	0.000260				
193	Displacement X	0.000000				
193	Displacement Y	0.000000				
179	Displacement X	0.007397	0.00740157	0.740	2.200	CUMPLE
179	Displacement Y	0.000260				
194	Displacement X	0.000000				
194	Displacement Y	0.000000				

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION Y

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
26	Displacement Y	0.000664	0.00341027	0.341	2.200	CUMPLE
26	Displacement X	0.003345				
46	Displacement Y	0.000000				
46	Displacement X	0.000000				
28	Displacement Y	0.000663	0.00340811	0.341	2.200	CUMPLE
28	Displacement X	0.003343				
47	Displacement Y	0.000000				
47	Displacement X	0.000000				
177	Displacement Y	0.000664	0.00341027	0.341	2.200	CUMPLE
177	Displacement X	0.003345				
193	Displacement Y	0.000000				
193	Displacement X	0.000000				
179	Displacement Y	0.000663	0.00340811	0.341	2.200	CUMPLE
179	Displacement X	0.003343				
194	Displacement Y	0.000000				
194	Displacement X	0.000000				

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION X

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
23	Displacement X	0.014818	0.01483607	1.484	4.800	CUMPLE
23	Displacement Y	0.000732				
46	Displacement X	0.000000				
46	Displacement Y	0.000000				
25	Displacement X	0.014819	0.01483702	1.484	4.800	CUMPLE
25	Displacement Y	0.000731				
47	Displacement X	0.000000				
47	Displacement Y	0.000000				
174	Displacement X	0.014818	0.01483607	1.484	4.800	CUMPLE
174	Displacement Y	0.000732				
193	Displacement X	0.000000				
193	Displacement Y	0.000000				
176	Displacement X	0.014819	0.01483702	1.484	4.800	CUMPLE
176	Displacement Y	0.000731				
194	Displacement X	0.000000				
194	Displacement Y	0.000000				

SISMO ACTUANDO EN LA DIRECCION Y

NODO	DESPLAZAMIENTO		Δ MAX	Δ (CM)	1 % H (CM)	CUMPLE
23	Displacement Y	0.002345	0.00639729	0.640	4.800	CUMPLE
23	Displacement X	0.005952				
46	Displacement Y	0.000000				
46	Displacement X	0.000000				
25	Displacement Y	0.002344	0.00639320	0.639	4.800	CUMPLE
25	Displacement X	0.005948				
47	Displacement Y	0.000000				
47	Displacement X	0.000000				
174	Displacement Y	0.002345	0.00639729	0.640	4.800	CUMPLE
174	Displacement X	0.005952				
193	Displacement Y	0.000000				
193	Displacement X	0.000000				
176	Displacement Y	0.002344	0.00639320	0.639	4.800	CUMPLE
176	Displacement X	0.005948				
194	Displacement Y	0.000000				
194	Displacement X	0.000000				

Tabla 8. Calculo de derivas la cubierta de Puerto Alegría.

Fuente: Autores

Ya calculadas las derivas en las dos cubiertas se realizó un chequeo preliminar de las deflexiones en las correas tomando la mayor carga sobre el elemento de acuerdo a la tabla G.12.8-1 (Calculo de deflexiones) del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), con la cual se comparó con la tabla G.12.8-2 (Deflexiones Admisibles). De acuerdo a este chequeo se determinó que las correas no cumplen con las deflexiones admisibles para las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría, realizado este análisis se planteó un arriostramiento excéntrico que partiera del cordón inferior de la armadura hasta el tercio de la correa para controlar las deflexiones en las correas.

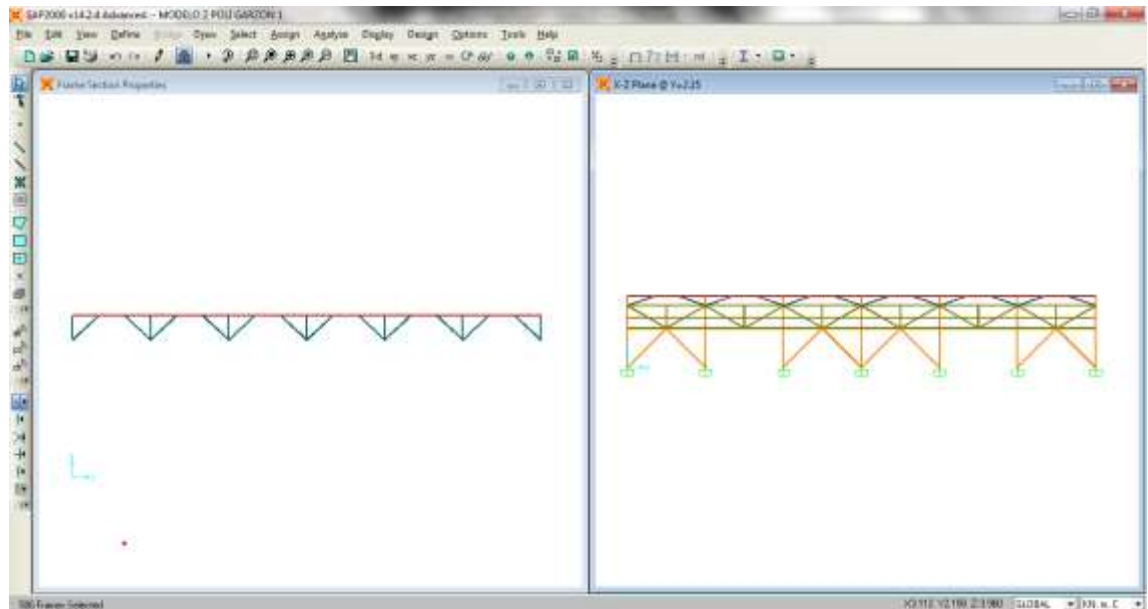


Figura 24. Refuerzo con arriostramientos excéntricos al tercio de las correas de la cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

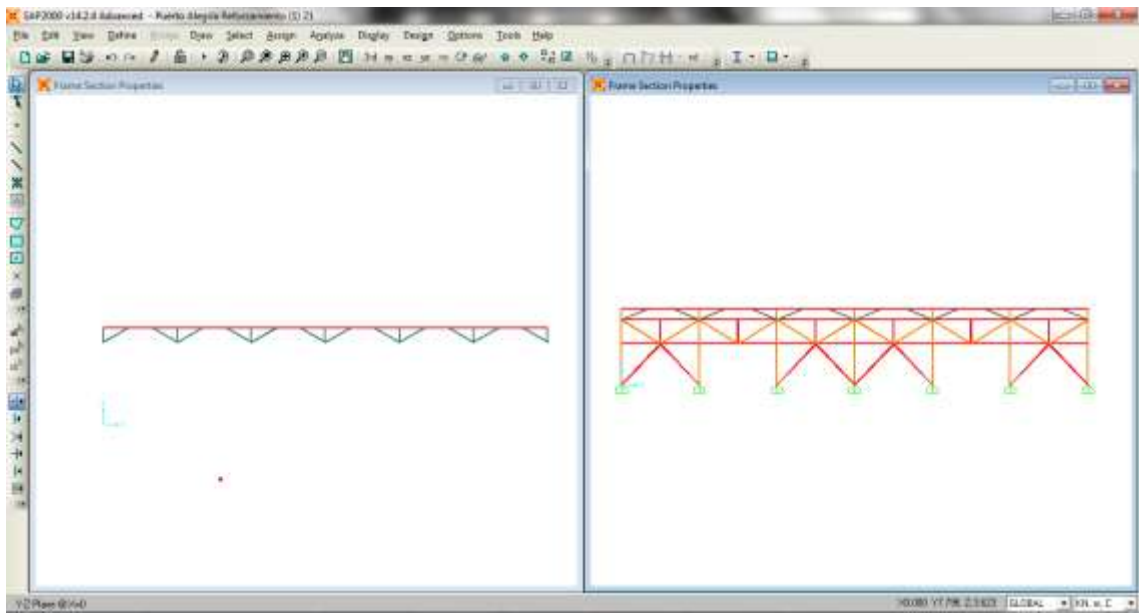


Figura 25. Refuerzo con arriostramientos excéntricos al tercio de las correas de la cubierta Puerto Alegría.

Fuente: Autores

7.5 DISEÑO DE REFUERZOS.

7.5.1 Diseño a flexión.

Teniendo en cuenta los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de acuerdo a la tabla G.12.7-1 (esfuerzos admisibles) y la tabla G.12.7-2 (módulos de elasticidad) del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), se calculó los coeficientes de modificación correspondientes de acuerdo a sus condiciones, para cada uno de los esfuerzos admisibles los cuales se detallaran el anexo N° 5.

Calculados los esfuerzos admisibles modificados se realizó el diseño a flexión de las correas donde se tomó la carga distribuida, momento y cortante sobre el elemento más desfavorable, en el cual el cálculo de las deflexiones cumplió debido a los refuerzos excéntricos colocados en las correas, en cuanto al esfuerzo a flexión actuante y el esfuerzo cortante paralelo a la fibra actuante, se determinó aumentar el módulo de la sección con una sección compuesta de dos guadas con el fin de aumentar la rigidez sobre el elemento ya que los pórticos de las dos cubiertas tenían luces de más de cuatro metros y así cumplir con los esfuerzos admisibles modificados a flexión y a cortante paralelo a las fibras. Ver anexo N° 6.

7.5.2 Diseño a tensión axial.

El diseño a tensión se realizó tomando la fuerza axial de cada elemento de las armaduras de la Soledad y de Puerto Alegre, donde se chequeo elemento por elemento, los cuales cumplieron con el esfuerzo admisible modificado a tensión. Ver anexo N° 7.

7.5.3 Diseño a compresión axial y flexo compresión.

El diseño a compresión axial se realizó para las columnas de las cubiertas de la soledad y de puerto alegría calculando su longitud efectiva, relación de esbeltez y

radio de giro de la sección. La cual de acuerdo a su relación de esbeltez se clasificaron como columnas largas para las dos cubiertas. Ya realizada la clasificación de columnas se procedió a calcular el esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante la cuales cumplieron con el esfuerzo admisible a compresión paralela. Para el diseño a flexo compresión se calculó inicialmente los coeficientes de magnificación de momentos y la carga crítica de Euler, tomando las cargas axiales a compresión paralela y los momentos máximos sobre el elemento, para posteriormente calcular los esfuerzos a flexión y a compresión paralela actuantes, los cuales cumplieron la condición ecuación G.12.10-2 de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Ver anexo N° 8.

7.5.4 Diseño a flexión y tensión axial.

Para el diseño a flexión y tensión axial de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría se tomó el momento y la fuerza axial a tensión de cada elemento de las armaduras para así calcular los esfuerzos actuantes de tensión y flexión actuante los cuales cumplieron la condición de la ecuación G.12.10-1 de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Ver anexo N° 9.

7.6 PLANOS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.

Los planos estructurales de refuerzo de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría se plantearon de acuerdo a las condiciones iniciales de las cubiertas, y al análisis de vulnerabilidad objeto de la investigación. Ver anexo N° 10.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES.

- Al realizar la visita técnica de campo de las cubiertas de La Soledad y de Puerto Alegría se evidenciaron las siguientes características.
En las cubiertas se encontraron diferentes variedades de guaduas, elementos fallados por aplastamiento perpendicular a las fibras, y pandeos en las columnas, condiciones de apoyo inadecuadas para la restricción al desplazamiento horizontal, irregularidad geométrica en la armadura, guaduas deterioradas por las condiciones ambientales, falta de mantenimiento de la cubiertas, y mala calidad en los procesos constructivos.
- Con relación al comportamiento estructural de las cubiertas iniciales de la Soledad y de Puerto Alegría ante las solicitaciones de carga: muerta, viva, presión de viento y las solicitaciones horizontales sísmicas, estas presentaron sobreesfuerzos en la gran mayoría de sus elementos, siendo estas inadecuadas para soportar y responder adecuadamente las solicitaciones.
- En cuanto a los desplazamientos horizontales de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría presentaron una flexibilidad excesiva, las cuales no cumplieron con las derivas máximas permitidas de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).
- Teniendo en cuenta las condiciones estructurales de las cubiertas y sus apoyos, se determinó que estos eran los más críticos en las dos cubiertas debido a que las guaduas externas al apoyo están al borde del mismo aumentando el riesgo al colapso, en caso de un evento sísmico.
- De acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y la modelación mediante el software SAP 2000, la Cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría presentaron problemas de inestabilidad los cuales no cumplieron con la reglamentación de acuerdo al título A (Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente) y al título G (Estructuras

de madera y de guadua). Comprobando así que las cubiertas tienen una vulnerabilidad alta ante un evento sísmico debido a sus condiciones estructurales y condición geográfica, ya que se encuentran ubicadas en una zona de amenaza sísmica alta. Debido a su vulnerabilidad se plantearon los reforzamientos estructurales garantizando su estabilidad.

- El reforzamiento de las cubiertas se realizó teniendo en cuenta de no modificar la geometría inicial de las mismas adicionando elementos puntuales necesarios para garantizar su estabilidad y uniformidad geométrica, reforzando la cubiertas con arriostramientos excéntricos, y concéntricos, diagonales, y elementos en la armadura para garantizar la adecuada transmisión de esfuerzos. Los cuales se revisaron y se diseñaron de acuerdo al título G. del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Para la condiciones de apoyo de las cubiertas se planteó un recalce del pedestal existente de 15 cm con anclajes en las cuatro caras del mismo, con el fin de ampliar el área de apoyo de las columnas existentes, diagonales y arriostramientos de refuerzo.
- La ausencia de los planos de las cubiertas dificultó el dimensionamiento preliminar, ya que en la visita técnica de campo se realizó las mediciones exactas de los elementos más accesibles y de los menos accesibles se escalaron y se dimensionaron por medio de fotografías tomadas en campo.

8.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que para el diseño y construcción de futuras estructuras las luces entre pórticos no superen los 3.5 metros de longitud esto con el fin de evitar deflexiones excesivas en las correas.
- Se recomienda mejorar los controles de calidad en la parte constructiva en cuanto a materiales de acuerdo a las especificaciones técnicas y procesos constructivos, los cuales deben garantizar las resistencias prescritas, diámetros mínimos de la guada, para la cual se diseñó la estructura ya que de estos depende en buen funcionamiento y comportamiento de las estructuras.
- Se recomienda para futuros proyectos a realizar generar planos estructurales, los cuales servirán de apoyo para garantizar los adecuados procesos constructivos en cuanto a especificaciones técnicas y dimensionamientos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Liscano Parra, H. (2013), Construcciones Sostenibles aplicadas a soluciones de vivienda de interés prioritario “Proyecto Centenario municipio de Timaná Huila 2011-2013”.
- Portafolio. Economía. La economía colombiana creció 4,3% en el 2013. [En línea] <<http://www.portafolio.co/economia/pib-colombia-2013>>. [Citado 05 de Septiembre de 2014].
- Ministerio de Vivienda. Guías de Asistencia Técnica para viviendas de interés Social. Los materiales en la construcción de vivienda de interés social. [En línea] <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_2.pdf> [Citado 05 de Septiembre de 2014].
- Villegas, M. (1989), Bambusa Guadua, La Guadua el Futuro de la Arquitectura. Con el agua también se hacen ciudades. Villegas Editores, Bogotá Colombia.
- Sociedad Colombiana del Bambú (2003). Comité Normalización No. 178. Recuperado de: <http://sociedadcolombianadelbambu.org/comite-normalizacion.php>
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Capítulo G. (Estructuras en guadua)
- Organización Panamericana de la Salud Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (1993). Mitigación de desastres en las instalaciones de la salud evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y estructural. Washington D.C: Organización Panamericana de la Salud Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud 1993.
- Guevara Pérez, T. & Bertero, V. (2009). Arquitectura moderna en zonas sísmicas. Barcelona: Gustavo Gili.
- Maldonado Rondón, E. & Chio Cho, G. (2008). Vulnerabilidad sísmica en centros urbanos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Civil Colciencias.

- Comisión nacional de riesgo de costa rica Recuperado de : <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc1789/doc1789-contenido.pdf>
- Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Recuperado: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6226/14CAPITULO5.pdf?sequence=14>
- Respuesta sísmica de Estructuras. Recuperado: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7009/Capitulo6.pdf>
- Acosta, Domingo. (2004) Arquitectura y Construcción Sostenible, conceptos problemas y estrategias. Recuperado de: http://dearq.uniandes.edu.co/sites/default/files/articles/attachments/DeArq_04_-_Acosta_0.pdf
- Marva, yovanna sandó (2011). Trabajo final master. Hacia la construcción de una Arquitectura sostenible en Venezuela. Arquitectura sostenible
- Universidad Nacional Autónoma de México (2011). Publicaciones Digitales e Impresas. Arquitectura Sustentable. Recuperado de: http://reine.arq.unam.mx/VersionEspañol/Recursos/01Principal/Archivos_PDF_to_HTTP_2011/ArqSust15pp.pdf
- Vega, J. L. A. (2009). Responsabilidad social y los principios del desarrollo sostenible como fundamentos teóricos de la información social de la empresa. Los principios del desarrollo sostenible. Madrid: ESIC Editorial.
- Gómez Orea, D. & Gómez Villarino, M. T. (2013).Evaluación de Impacto Ambiental. Tercera Edición, Madrid: Mundi-Prensa.
- Draibe, S. & Riesco, M. (2006). Estado de bienestar, desarrollo económico y ciudadanía. El tratamiento Integrado de la política económica y la policía social. México, D.F.: Naciones Unidas.

Anexo 1. Calculo de la presión de viento con software Corpasoft 3.0

Anexo 2. Combinaciones de carga.

COMBINACIONES DE CARGA		
COMBO 1	D	B.2.3-1
COMBO 2	D + L	B.2.3-2
COMBO 3	D + 0,75 L	B.2.3-4
COMBO 4	D + W	B.2.3-5
COMBO 5	D + 0,7 SISMO X	B.2.3-6
COMBO 6	D - 0,7 SISMO X	B.2.3-6
COMBO 7	D + 0,7 SISMO Y	B.2.3-6
COMBO 8	D - 0,7 SISMO Y	B.2.3-6
COMBO 9	D + 0,75 W + 0,75 L	B.2.3-7
COMBO 10	D + 0,75 (0,7 SISMO X) + 0,75 L	B.2.3-8
COMBO 11	D - 0,75 (0,7 SISMO X) + 0,75 L	B.2.3-8
COMBO 12	D + 0,75 (0,7 SISMO Y) + 0,75 L	B.2.3-8
COMBO 13	D - 0,75 (0,7 SISMO Y) + 0,75 L	B.2.3-8
COMBO 14	0,6 D + W	B.2.3-9
COMBO 15	0,6 D + 0,7 SISMO X	B.2.3-10
COMBO 16	0,6 D - 0,7 SISMO X	B.2.3-10
COMBO 17	0,6 D + 0,7 SISMO Y	B.2.3-10
COMBO 18	0,6 D - 0,7 SISMO Y	B.2.3-10
DER X1	SISMO X + 0,3 SISMO Y	DERIVAS
DER X2	SISMO X - 0,3 SISMO Y	
DER X3	(- SISMO X) - (0,3 SISMO Y)	
DER X4	(- SISMO X) + (0,3 SISMO Y)	
DER Y1	SISMO Y + 0,3 SISMO X	
DER Y2	SISMO Y - 0,3 SISMO X	
DER Y3	(- SISMO Y) - (0,3 SISMO X)	
DER Y4	(- SISMO Y) + (0,3 SISMO X)	

Tabla 9. Combinaciones de carga.

Fuente: Autores

Anexo 3. Valores de Tiempo (s) vs
Aceleración (g) del espectro de diseño.

T(Seg)	Sad	T(Seg)	Sad	T(Seg)	Sad
0.00	0.82500000	0.33	0.82500000	0.61	0.47213115
0.01	0.82500000	0.34	0.82500000	0.62	0.46451613
0.02	0.82500000	0.35	0.82285714	0.63	0.45714286
0.03	0.82500000	0.36	0.80000000	0.64	0.45000000
0.04	0.82500000	0.37	0.77837838	0.65	0.44307692
0.05	0.82500000	0.38	0.75789474	0.66	0.43636364
0.06	0.82500000	0.39	0.73846154	0.67	0.42985075
0.07	0.82500000	0.40	0.72000000	0.68	0.42352941
0.08	0.82500000	0.36	0.80000000	0.69	0.41739130
0.09	0.82500000	0.37	0.77837838	0.70	0.41142857
0.10	0.82500000	0.38	0.75789474	0.80	0.36000000
0.11	0.82500000	0.39	0.73846154	0.90	0.32000000
0.12	0.82500000	0.40	0.72000000	1.00	0.28800000
0.13	0.82500000	0.41	0.70243902	1.10	0.26181818
0.14	0.82500000	0.42	0.68571429	1.20	0.24000000
0.15	0.82500000	0.43	0.66976744	1.30	0.22153846
0.16	0.82500000	0.44	0.65454545	1.40	0.20571429
0.17	0.82500000	0.45	0.64000000	1.50	0.19200000
0.18	0.82500000	0.46	0.62608696	1.60	0.18000000
0.19	0.82500000	0.47	0.61276596	1.70	0.16941176
0.20	0.82500000	0.48	0.60000000	1.80	0.16000000
0.21	0.82500000	0.49	0.58775510	1.90	0.15157895
0.22	0.82500000	0.50	0.57600000	2.00	0.14400000
0.23	0.82500000	0.51	0.56470588	2.10	0.13714286
0.24	0.82500000	0.52	0.55384615	2.20	0.13090909
0.25	0.82500000	0.53	0.54339623	2.30	0.12521739
0.26	0.82500000	0.54	0.53333333	2.40	0.12000000
0.27	0.82500000	0.55	0.52363636	2.50	0.11520000
0.28	0.82500000	0.56	0.51428571	2.60	0.11076923
0.29	0.82500000	0.57	0.50526316	2.70	0.10666667
0.30	0.82500000	0.58	0.49655172	2.80	0.10285714
0.31	0.82500000	0.59	0.48813559	2.90	0.09931034
0.32	0.82500000	0.60	0.48000000	3.00	0.09600000

Tabla 10. Valores de Tiempo (s) vs Aceleración (g) del espectro de diseño.

Fuente: Autores

T(Seg)	Sad	T(Seg)	Sad
3.10	0.09290323	6.40	0.02700000
3.20	0.09000000	6.50	0.02617562
3.30	0.08727273	6.60	0.02538843
3.40	0.08470588	6.70	0.02463622
3.50	0.08228571	6.80	0.02391696
3.60	0.08000000	6.90	0.02322873
3.70	0.07783784	7.00	0.02256980
3.80	0.07578947	7.10	0.02193850
3.90	0.07271006	7.20	0.02133333
4.00	0.06912000	7.30	0.02075286
4.10	0.06578941	7.40	0.02019576
4.20	0.06269388	7.50	0.01966080
4.30	0.05981179	7.60	0.01914681
4.40	0.05712397	7.70	0.01865272
4.50	0.05461333	7.80	0.01817751
4.60	0.05226465	7.90	0.01772024
4.70	0.05006428	8.00	0.01728000
4.80	0.04800000	8.10	0.01685597
4.90	0.04606081	8.20	0.01644735
5.00	0.04423680	8.30	0.01605342
5.10	0.04251903	8.40	0.01567347
5.20	0.04089941	8.50	0.01530685
5.30	0.03937059	8.60	0.01495295
5.40	0.03792593	8.70	0.01461118
5.50	0.03655934	8.80	0.01428099
5.60	0.03526531	8.90	0.01396187
5.70	0.03403878	9.00	0.01365333
5.80	0.03287515	9.10	0.01335491
5.90	0.03177018	9.20	0.01306616
6.00	0.03072000	9.30	0.01278668
6.10	0.02972104	9.40	0.01251607
6.20	0.02877003	9.50	0.01225396
6.30	0.02786395		

Tabla 11. Valores de Tiempo (s) vs Aceleración (g) del espectro de diseño.

Fuente: Autores

Anexo 4. Chequeo corrección del
cortante basal dinámico por la fuerza
horizontal equivalente.

ANÁLISIS SÍSMICO - MÉTODO: ANÁLISIS DINÁMICO

Proyecto: Cubiertas la Soledad y Puerto Alegría GARZON HUILA

Se realizará el análisis estructural en el programa SAP 2000, para el cálculo de las derivas se usará el Espectro Elástico de Derivas (según la amenaza sísmica del departamento de Garzón Huila construido con los siguientes parámetros:

DATOS GENRALES	
Localización	Garzón/Huila
Tipo de suelo	C
Zona de amenaza sísmica	Alta
Aa	0.30
Av	0.15
I	1.00
Grupo de uso	I
Fa	1.10
Fv	1.60

TC	TL	To
0.349	3.840	0.073

Zona de Amenaza Sísmica :

ALTA

Sistema Estructural:

Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo

Fuerza Horizontal Equivalente Cubiertas la Soledad y Puerto Alegría:

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base.

Aa	0.30
Av	0.15
Fa	1.10
Fv	1.60
I	1.00

Peso de la Estructura (W) la Soledad.	819.05	KN
Altura de la Edificación (h)	9.74	m

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 - NSR - 10)

Cu	1.462	$C_u = 1.75 - 1.2A_v F_v$
C_t	0.073	
α	0.75	
Sa	0.72	

$T_a = C_t h^\alpha$	=	0.40	seg
$C_u * T_a$	=	0.59	seg

VS	589.71	KN
-----------	---------------	-----------

CASO DEL ESPECTRO DE RESPUESTA	x	SX	y	SY
Cortante basal Dinámico	Vx:	1124.5	Vy:	840.5
Regularidad		RREGULAR		RREGULAR
% de VS que debe cumplir		80%		80%
% FHE		191%		143%
Factor		0.42		0.56
Factor Amplificación Espectro		4.12		5.51

Peso de la Estructura (W) Puerto Alegría	715.53	KN
Altura de la Edificación (h)	7.40	m

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 - NSR - 10)

Cu	1.462	$C_u = 1.75 - 1.2A_v F_v$
C_t	0.073	
α	0.75	
Sa	0.83	

$T_a = C_t h^\alpha$	=	0.33	seg
$C_u * T_a$	=	0.48	seg

VS	590.31	KN
-----------	---------------	-----------

CASO DEL ESPECTRO DE RESPUESTA	x	SX	y	SY
Cortante basal Dinámico	Vx:	2595.9	Vy:	4992.7
Regularidad		RREGULAR		RREGULAR
% de VS que debe cumplir		80%		80%
% FHE		440%		846%
Factor		0.18		0.09
Factor Amplificación Espectro		1.78		0.93

Tabla 12. Chequeo corrección del cortante basal dinámico por la fuerza horizontal equivalente de las cubiertas de la Soledad y de Puerto Alegría.

Fuente: Autores

▪

Anexo 5. Calculo de los esfuerzos admisibles modificados.

Esfuerzos admisibles F_i (Mpa), CH=12 % TABLA G.12.7-1				
(Fb) Flexión	(Ft) Tracción	(Fc) Compresión 	(Fp) Compresión ⊥	(Fv) Corte
Flexión	Tracción	Compresión paralela	Compresión Perpendicular	Corte
15	18	14	1.4	1.2

Tabla 13. Esfuerzos admisibles (MPa).

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Pg. G-109

Módulos de elasticidad E_i (Mpa), CH=12 % TABLA G.12.7-2		
Módulo Promedio $E_{0,5}$	Módulo Percentil $E_{0,05}$	Módulo Mínimo E_{min}
9500	7500	4000

Tabla 14. Módulo de elasticidad (MPa).

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Pg. G-109

COEFICIENTES DE MODIFICACION
$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c$
C_D = coeficiente de modificación por duración de carga
C_m = coeficiente de modificación por contenido de humedad
C_t = coeficiente de modificación por temperatura
C_L = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
C_F = coeficiente de modificación por forma
C_r = coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta
C_p = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas
C_c = coeficiente de modificación por cortante

Tabla 15. Coeficientes de modificación de acuerdo a la formula G.12.7-3 de la (NSR10).

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Pg. G-111

Esfuerzos Admisibles Modificados en (MPa)	
Flexión (F_b)	9.076
tracción (F_t)	11.679
compresión \parallel (F_c)	8.471
compresión \perp (F_p)	0.908
Corte (F_v)	0.779

Tabla 16. Esfuerzos admisibles modificados.

Fuente: Autores

Anexo 6. Diseño a flexión correas.

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA SOLEDAD CONSTRUIDA CON
GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm
12.00	mm
3694.51	mm ²

D_e = diámetro exterior de la guadua
 t = espesor de la pared de la guadua
 A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)

Longitud Elemento

4700	mm
1567	mm

L = Longitud del elemento
 L = Longitud entre apoyos

Módulo de Elasticidad

9500	Mpa
------	-----

E = Modulo de elasticidad [TABLA G.12.7-2](#)

Momento de Inercia

4501764.0	mm ⁴
-----------	-----------------

I = Momento de Inercia

Coefficiente de Afectación

180.00	
26.11	mm

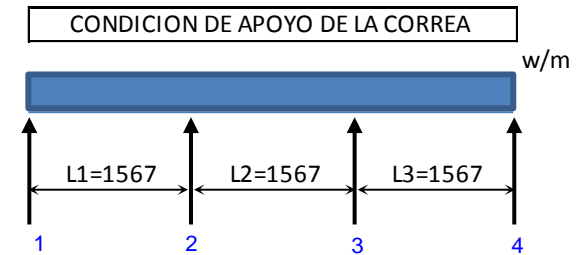
K = coeficiente de afectación en cálculo de deflexiones. [TABLA G12.8-2](#)
 δ = Deflexiones admisibles.

Carga Distribuida

1.64	kN/m
------	------

w = Carga distribuida

CORREAS



Momento de Inercia para dos elementos

31355331.5	mm ⁴
------------	-----------------

CALCULO DE LAS DEFLEXIONES TABLA G.12.8-1

Deflexión	Condición de Carga
0.23 mm	w = Carga distribuida Formula G12.8-3

CARGAS W PARA CALCULO DE SECCION Y DEFLEXIONES TABLA G.12.8-4

Para Clima Constante (CH<19% t<37° C)

0.80	kN	D = Carga Muerta
0.84	kN	L = Carga Viva
2.44		w = Calculo de Sección
1.64		W ₁ = Deflexiones inmediatas
3.33		W ₂ = Deflexiones Diferidas

CUMPLE Revisión deflexión calculada tabla G.12.8-4 con deflexión admisible G.12.8-2

CALCULO DE MOMENTO RESISTENTE

Calculo del Módulo de Sección (1 Culmo)

81850.26	mm ³	S = módulo de sección
----------	-----------------	-----------------------

Calculo del Módulo de Sección (2 Culmo) Formula G.12.8-5

285048.4682	mm ³	S = módulo de sección
-------------	-----------------	-----------------------

MOMENTO RESISTENTE G.12.8-4

1.65	kN*m	M = momento actuante sobre el elemento
1650000.00	N*mm	M = momento actuante sobre el elemento
285048.47	mm ³	S = módulo de sección
5.788E+00	Mpa	f _b = esfuerzo a flexión actuante
9.076	Mpa	F' _b = esfuerzo admisible modificado

CUMPLE

CALCULO DEL ESFUERZO CORTANTE PARALELO A LAS FIBRAS

2.43	kN	V = cortante actuante sobre el elemento
2430.000	N	V = cortante actuante sobre el elemento
7389.03	mm ²	A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)
0.711	Mpa	f_v = esfuerzo cortante paralelo a la fibra actuante
0.779	Mpa	F'_v = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras modificado

CUMPLE

Tabla 17. Diseño a Flexión correas cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA PUERTO ALEGRIA CONSTRUIDA CON
GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

ELEMENTOS SOMETIDOS A FELXION

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm
12.00	mm
3694.51	mm ²

D_e = diámetro exterior de la guadua
 t = espesor de la pared de la guadua
 A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)

Longitud Elemento

4900	mm
1633	mm

L = Longitud del elemento
 L = Longitud entre apoyos

Módulo de Elasticidad

9500	Mpa
------	-----

E = Modulo de elasticidad [TABLA G.12.7-2](#)

Momento de Inercia

4501764.0	mm ⁴
-----------	-----------------

I = Momento de Inercia

Coficiente de Afectación

180.00	
27.22	mm

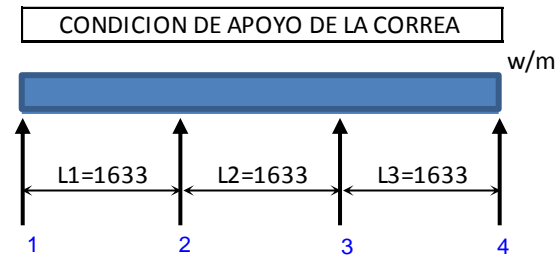
K = coeficiente de afectación en cálculo de deflexiones. [TABLA G12.8-2](#)
 δ = Deflexiones admisibles.

Carga Distribuida

1.78	kN/m
------	------

w = Carga distribuida

CORREAS



Momento de Inercia para dos elementos

31355331.5	mm ⁴
------------	-----------------

CALCULO DE LAS DEFLEXIONES TABLA G.12.8-1

Deflexión

Condición de Carga

0.29	mm
------	----

w = Carga distribuida Formula G12.8-3

CARGAS W PARA CALCULO DE SECCION Y DEFLEXIONES TABLA G.12.8-4

Para Clima Constante (CH<19% t<37° C)

0.78	kN
1.16	kN
2.72	
1.94	
3.69	

D = Carga Muerta

L = Carga Viva

w = Calculo de Sección

W_i = Deflexiones inmediatas

W_f = Deflexiones Diferidas

CUMPLE

Revisión deflexión calculada tabla G.12.8-4 con deflexión admisible G.12.8-2

CALCULO DE MOMENTO RESISTENTE

Calculo del Módulo de Sección (1 Culmo)

81850.26	mm ³
----------	-----------------

S = módulo de sección

Calculo del Módulo de Sección (2 Culmo) Formula G.12.8-5

285048.4682	mm ³
-------------	-----------------

S = módulo de sección

MOMENTO RESISTENTE G.12.8-4

1.19	kN*m
1190000.00	N*mm
285048.47	mm ³
4.175E+00	Mpa
9.076	Mpa

M = momento actuante sobre el elemento

M = momento actuante sobre el elemento

S = módulo de sección

f_b = esfuerzo a flexión actuante

F'_b = esfuerzo admisible modificado

CUMPLE

CALCULO DEL ESFUERZO CORTANTE PARALELO A LAS FIBRAS

2.35	kN	V = cortante actuante sobre el elemento
2350.000	N	V = cortante actuante sobre el elemento
7389.03	mm ²	A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)
0.687	Mpa	f_v = esfuerzo cortante paralelo a la fibra actuante
0.779	Mpa	F'_v = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras modificado

CUMPLE

Tabla 18. Diseño a Flexión correas cubierta Puerto Alegre.

Fuente: Autores

Anexo 7. Diseño a tensión axial.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA SOLEDAD CONSTRUIDA CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

ELEMENTOS SOMETIDOS A TENSION AXIAL

CERCHA

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm	D_e = diámetro exterior de la guadua
12.00	mm	t = espesor de la pared de la guadua
3694.51	mm ²	A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)
38.37	kN	T = fuerza de tensión actuante
38370	N	T = fuerza de tensión actuante
10.39	Mpa	$f't$ = esfuerzo de tensión actuante
11.68	Mpa	$F't$ = esfuerzo de tensión admisible modificado

CUMPLE

Tabla 19. Diseño a tensión axial cercha cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA PUERTO ALEGRIA CONSTRUIDA CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

ELEMENTOS SOMETIDOS A TENSION AXIAL

CERCHA

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm
12.00	mm
3694.51	mm ²

D_e = diámetro exterior de la guadua
 t = espesor de la pared de la guadua
 A = área neta de la sección transversal de guadua
(G.12.8.-1)

31.13	kN
31130	N
8.43	Mpa
11.68	Mpa

T = fuerza de tensión actuante
 T = fuerza de tensión actuante
 $f't$ = esfuerzo de tensión actuante
 $F't$ = esfuerzo de tensión admisible modificado

CUMPLE

Tabla 20. Diseño a tensión axial cercha cubierta Puerto Alegría.

Fuente: Autores

Anexo 8. Diseño a compresión axial y flexo compresión.

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA SOLEDAD CONSTRUIDA
CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESION AXIAL

COLUMNAS

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm	D_e = diámetro exterior de la guadua
12.00	mm	t = espesor de la pared de la guadua
3694.51	mm ²	A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)

Longitud Elemento

1970	mm	L = Longitud del elemento
1860	mm	L_u = Longitud no soportada lateralmente
3906	mm	L_e = Longitud efectiva

Radio de giro de la sección

34.91	mm	r = Radio de giro de la sección
-------	----	-----------------------------------

CONDICION DE LOS APOYOS	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elementos deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.1

Momento de Inercia

4501764.0425	mm ⁴	I = Momento de Inercia
--------------	-----------------	------------------------

111.9		λ = relación esbeltez del elemento
-------	--	--------------------------------------------

La esbeltez C_k es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

8.47	MPa	F'_c = esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa
7500	MPa	$E_{0.05}$ = módulo de elasticidad percentil 5
76.32		C_k = límite entre las columnas intermedias y las columnas largas Formula G.12.9-6

Clasificación de las Columnas por Esbeltez

Columna	Esbeltez	Limites
Corta	$\lambda < 30$	30.00
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$	76.32
Larga	$C_k < \lambda < 150$	150.00

COLUMNA	LARGA
---------	--------------

1.977	MPa	f_c = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante Formula G.12.9-7
-------	-----	----------------------------------------------------------------------------------------------

CUMPLE

Momento de Inercia para cuatro elementos

165787574.6	mm ⁴
-------------	-----------------

ELEMENTOS DISEÑADOS POR FLEXO COMPRESION

21841.339	N	N_{cr} = carga critica de euler, en N
81.430	kN	N_a = carga de compresión actuante en N
-0.536		κ_m = coeficiente de magnificación de momentos

Calculo del Módulo de Sección (1 Culmo) Formula G.12.8-5

81850.26	mm ³	S = módulo de sección
----------	-----------------	-------------------------

Calculo del Módulo de Sección (2 Culmo) Formula G.12.8-5

285048.4682	mm ³
-------------	-----------------

MOMENTO RESISTENTE G.12.8-4

0.13	kN*m	M = momento actuante sobre el elemento
130000.00	N*mm	M = momento actuante sobre el elemento
81850.26	mm ³	S = módulo de sección
1.588E+00	Mpa	f_b = esfuerzo a flexión actuante
9.076	Mpa	F'_b = esfuerzo admisible modificado

0.14
1.00

Ecuación
Condición

CUMPLE

Tabla 21. Diseño a compresión axial y flexo compresión cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA PUERTO ALEGRIA
CONSTRUIDA CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESION AXIAL

COLUMNAS

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm	D_e = diámetro exterior de la guadua
12.00	mm	t = espesor de la pared de la guadua
3694.51	mm ²	A = área neta de la sección transversal de guadua (G.12.8.-1)

Longitud Elemento

2200	mm	L = Longitud del elemento
2090	mm	L_u = Longitud no soportada lateralmente
4389	mm	L_e = Longitud efectiva

Radio de giro de la sección

34.91	mm	r = Radio de giro de la sección
-------	----	-----------------------------------

CONDICION DE LOS APOYOS	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elementos deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.1

Momento de Inercia

4501764.0425	mm ⁴
--------------	-----------------

 I = Momento de Inercia

125.7	
-------	--

 λ = relación esbeltez del elemento

La esbeltez C_k es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

8.47	MPa	F'_c = esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa
7500	MPa	$E_{0.05}$ = módulo de elasticidad percentil 5
76.32		C_k = límite entre las columnas intermedias y las columnas largas Formula G.12.9-6

Clasificación de las Columnas por Esbeltez

Columna	Esbeltez	Limites
Corta	$\lambda < 30$	30.00
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$	76.32
Larga	$C_k < \lambda < 150$	150.00

COLUMNA	LARGA
---------	--------------

1.566	MPa
-------	-----

 f_c = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante [Formula G.12.9-7](#)

CUMPLE

Momento de Inercia para cuatro elementos

165787574.6	mm ⁴
-------------	-----------------

ELEMENTOS DISEÑADOS POR FLEXO COMPRESION

17298.664	N	N_{cr} = carga critica de euler, en N
81.430	kN	Na = carga de compresión actuante en N
-0.425		k_m = coeficiente de magnificación de momentos

Calculo del Módulo de Sección (1 Culmo) Formula G.12.8-5

81850.26	mm ³	S = módulo de sección
----------	-----------------	-------------------------

Calculo del Módulo de Sección (2 Culmo) Formula G.12.8-5

285048.4682	mm ³	S = módulo de sección
-------------	-----------------	-------------------------

MOMENTO RESISTENTE G.12.8-4

0.18	kN*m	M = momento actuante sobre el elemento
180000.00	N*mm	M = momento actuante sobre el elemento
81850.26	mm ³	S = módulo de sección
2.199E+00	Mpa	f_b = esfuerzo a flexión actuante
9.076	Mpa	F'_b = esfuerzo admisible modificado

0.08
1.00

Ecuación
Condición

CUMPLE

Tabla 22. Diseño a compresión axial y flexo compresión cubierta Puerto Alegre.

Fuente: Autores

Anexo 9. Diseño a flexión y tensión axial.

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA SOLEDAD CONSTRUIDA CON GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH**

ELEMENTOS DISEÑADOS POR FLEXION Y CARGA AXIAL

CERCHA

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm
12.00	mm
3694.51	mm ²

D_e = diámetro exterior de la guadua
 t = espesor de la pared de la guadua
 A = área neta de la sección transversal de guadua **(G.12.8.-1)**

Longitud Elemento

4700	mm
------	----

L = Longitud del elemento

Módulo de Elasticidad

9500	Mpa
------	-----

E = Modulo de elasticidad **TABLA G.12.7-2**

Momento de Inercia

4501764.0	mm ⁴
-----------	-----------------

I = Momento de Inercia

Momento de Inercia para dos elementos

31355331.5	mm ⁴
------------	-----------------

CALCULO DE MOMENTO RESISTENTE

Calculo del Módulo de Sección (1 Culmo) Formula G.12.8-5

81850.26	mm ³	S = módulo de sección
----------	-----------------	-----------------------

Calculo del Módulo de Sección (2 Culmo) Formula G.12.8-5

285048.4682	mm ³	S = módulo de sección
-------------	-----------------	-----------------------

MOMENTO RESISTENTE G.12.8-4

0.34	kN*m	M = momento actuante sobre el elemento
340000.00	N*mm	M = momento actuante sobre el elemento
285048.47	mm ³	S = módulo de sección
1.193E+00	Mpa	f _b = esfuerzo a flexión actuante
9.076	Mpa	F' _b = esfuerzo admisible modificado

24.62	kN	T = fuerza de tensión actuante
24620	N	T = fuerza de tensión actuante
6.66	Mpa	f' _t = esfuerzo de tensión actuante
11.68	Mpa	F' _t = esfuerzo de tensión admisible modificado

0.70	Ecuación condición
1.00	

CUMPLE

Tabla 23. Diseño a flexión y tención axial cubierta la Soledad.

Fuente: Autores

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA PUERO ALEGRIA CONSTRUIDA CON GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH**

ELEMENTOS DISEÑADOS POR FLEXION Y CARGA AXIAL

CERCHA

área Neta (G.12.8.7)

110.00	mm
12.00	mm
3694.51	mm ²

D_e = diámetro exterior de la guadua
 t = espesor de la pared de la guadua
 A = área neta de la sección transversal de guadua **(G.12.8.-1)**

Longitud Elemento

4900	mm
------	----

L = Longitud del elemento

Módulo de Elasticidad

9500	Mpa
------	-----

E = Modulo de elasticidad **TABLA G.12.7-2**

Momento de Inercia

4501764.0	mm ⁴
-----------	-----------------

I = Momento de Inercia

Momento de Inercia para dos elementos

31355331.5	mm ⁴
------------	-----------------

CALCULO DE MOMENTO RESISTENTE

Calculo del Módulo de Sección (1 Culmo) Formula G.12.8-5

81850.26	mm ³	S = módulo de sección
----------	-----------------	------------------------------

Calculo del Módulo de Sección (2 Culmo) Formula G.12.8-5

285048.4682	mm ³	S = módulo de sección
-------------	-----------------	------------------------------

MOMENTO RESISTENTE G.12.8-4

0.36	kN*m	M = momento actuante sobre el elemento
360000.00	N*mm	M = momento actuante sobre el elemento
285048.47	mm ³	S = módulo de sección
1.263E+00	Mpa	f_b = esfuerzo a flexión actuante
9.076	Mpa	F'_b = esfuerzo admisible modificado

31.13	kN	T = fuerza de tensión actuante
31130	N	T = fuerza de tensión actuante
8.43	Mpa	f'_t = esfuerzo de tensión actuante
11.68	Mpa	F'_t = esfuerzo de tensión admisible modificado

0.86	Ecuación condición
1.00	

CUMPLE

Tabla 24. Diseño a flexión y tención axial cubierta Puerto Alegría.

Fuente: Autores

Anexo 10. Planos de reforzamiento estructural.