

# **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**

## **STRUCTURAL VULNERABILITY OF BAMBOO ROOFS BUILT FOR MULTIPLE PURPOSE FIELD IN THE LOCALITIES OF “LA SOLEDAD” AND “PUERTO ALEGRÍA” FROM MUNICIPALITY OF GARZÓN – HUILA**

Mateo Gutiérrez Gonzalez<sup>1</sup>, John Edgar Paz Bedoya<sup>2</sup>, Elkin Francisco Ovalle García<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Profesor Facultad de Ingeniería Civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, mateo.gutierrez@ugc.edu.co

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, jhonedgar.paz@ulagrancolombia.edu.co elkinfrancisco.ovalle@ulagrancolombia.edu.co

**Resumen**– *La Guadua es un material comúnmente utilizado para la construcción de estructuras en Colombia, debido a que se encuentra fácilmente en varias regiones del país, su uso es de bajo costo, es de fácil manejo, tiene alta resistencia mecánica y genera un bajo impacto ambiental. Sin embargo, muchas de las construcciones en guadua que se realizan en el país son hechas mediante la aplicación de conocimientos y técnicas adquiridas a través de la experiencia, sin la aplicación de fundamentos teóricos y normativas de construcción necesarios para garantizar la estabilidad y seguridad de estas estructuras. Con el fin de generar un impacto positivo sobre una comunidad local, se realizó una evaluación de la vulnerabilidad estructural a dos estructuras de cubierta en guadua construidas en las canchas múltiples de las veredas de la Soledad y Puerto Alegría en el municipio de Garzón-Huila, las cuales fueron construidas por las comunidades locales y supervisadas por instructores del SENA de este Municipio. En primer lugar se realizó una visita a campo donde se hizo una evaluación cuantitativa y cualitativa de las estructuras. Luego simuló el comportamiento de la estructuras ante las solicitaciones de carga requeridas, por medio de su modelación en el programa SAP2000, evidenciando algunos problemas de inestabilidad, los cuales comprometían considerablemente el desempeño de la estructura ante un evento sísmico. Posteriormente se propusieron algunas alternativas de reforzamiento, mejorando la geometría de las armaduras, las condiciones de apoyo y las conexiones entre los elementos con el fin de que cumplieran las consideraciones para una construcción en guadua, según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Por último se elaboraron los planos de reforzamiento estructural de acuerdo a los análisis desarrollados previamente, los cuales fueron entregados a los formadores y constructores de las cubiertas, junto con unas recomendaciones constructivas para el mejoramiento de las estructuras existentes y futuras, esperando contribuir a garantizar la seguridad de las comunidades vulnerables que usan estas canchas múltiples.*

**Palabras clave**– *NSR-10, Garzón-Huila, Guadua, Vulnerabilidad estructural, Reforzamiento estructural.*

***Abstract**– Bamboo in Colombia is commonly used for construction of structures, because they can be found in several regions of the country and is a strong, durable, economic and easy to handle material. However, many of the constructions carried out in the country are made by untrained teachers which you do not have the necessary expertise to ensure the safety of these structures. Therefore, an assessment of structural vulnerability was performed for two structural types covered in bamboo, for multiple purpose located in the municipality of “La Soledad” and “Puerto Alegria” Township Garzón Huila, made by trainers of “SENA Huila” and resident communities. First a quantitative and qualitative evaluation was performed with a visit to the field, where it was shown that these two covers, had insecure conditions, with wrong configuration of elements in the armor, unfavorable support and negative exposure of elements to environmental conditions. The behavior of the structure was identified, the stresses were found by modeling in SAP2000 program, showing that although met by the weight of the structure, showed instability problems and were not prepared to support a seismic event, considering that the region Garzón is in a threat zone, therefore, is proceeded with the determination of alternative reinforcement, improve the geometry of the reinforcement, support and checking conditions for satisfying the drifts considerations for a bamboo construction, according to the Colombian Earthquake Resistant Building Regulations NSR-10. Following this flat structural reinforcement according to the analysis previously developed, which were delivered to the trainers who conducted these covers, along with constructive recommendations for improving existing and future structures are developed, waiting to help ensure the security of vulnerable communities using these multiple fields.*

***Keywords**-- NSR-10, Garzón-Huila, Bamboo, structural reinforcement, Vulnerability.*

## I. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la *Guadua angustifolia* Kunth es un material utilizado como una opción ecológica para la construcción de puentes, acueductos, embarcaciones y edificaciones sustentables, principalmente por su excelente desempeño mecánico, durabilidad, bajo costo, rápido crecimiento, alta tasa de renovación y fácil manejo. Debido a estas características es utilizada en proyectos de viviendas campestres, restauración y conservación de taludes, cubiertas deportivas y en vivienda de interés prioritario para diferentes condiciones climáticas.

Tal es el caso de las cubiertas multifuncionales, promovidas por instructores del SENA en el municipio de Garzón Huila, donde se capacitan a los pobladores en el cultivo y manejo del material, con el cual posteriormente se realiza la construcción de cubiertas en guadua, las cuales permiten adecuar espacios que la comunidad utiliza en el desarrollo de diferentes actividades, como reuniones, eventos deportivos, celebraciones religiosas, entre otros. Sin embargo, durante muchos años, la mayor parte de las estructuras en guadua se han construido de manera empírica, sin tener en cuenta ningún tipo de diseño arquitectónico y estructural, sin planos de construcción ni tampoco se ha realizado un control a la calidad de los procesos constructivos, por lo que estas cubiertas no cumplen con lo propuesto en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Esta situación conlleva a que estas estructuras se encuentren expuestas a una alta vulnerabilidad puesto que el municipio de Garzón está en una zona de amenaza sísmica alta, y dichas edificaciones fueron construidas sin tener en cuenta las recomendaciones que garantizan la seguridad de la estructura [2].

Particularmente en las cubiertas ubicadas en las veredas de La Soledad y Puerto Alegría, se evidenciaron dos tipologías de cubiertas que presentaban condiciones especiales de riesgo de colapso en cuanto a estabilidad geométrica de las armaduras, condiciones de apoyo, exposición a condiciones medioambientales y deterioro de los elementos por falta de mantenimiento y diseño. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue el encontrar las condiciones de vulnerabilidad estructural y proponer alternativas de reforzamiento para las cubiertas de guadua de las canchas múltiples, construidas en las veredas de La Soledad y Puerto Alegría en el municipio de Garzón – Huila.

## II. METODOLOGÍA

### A. *Análisis Preliminar y Recopilación de Información*

Se realizó una primera evaluación cualitativa y cuantitativa de las cubiertas por medio de visita a campo con el fin de escoger las cubiertas que presentaban mayor vulnerabilidad estructural, con la recolección de: planos, toma de medidas, caracterización geométrica, estado actual de los materiales, fotografías, geografía de la zona y condiciones ambientales, identificando que las cubiertas de La Soledad y Puerto Alegría presentaban mayor riesgo al colapso, por presentar irregularidades geométricas en sus armadura, guaduas deterioradas y no inmunizadas, algunos elementos ya presentaban pandeos y aplastamientos, y también se evidenciaron condiciones de apoyo inestables.



Fuente: Autores

Posteriormente se realizó el dimensionamiento de las estructuras, determinando diámetros tanto internos como externos de las guaduas, longitud entre los apoyos, geometría de las armaduras y un registro fotográfico detallando los tipos de uniones y los detalles encontrados.

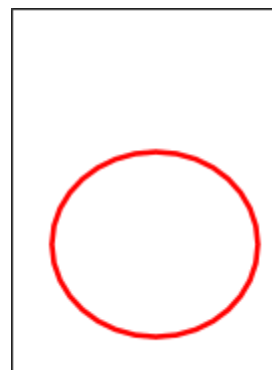
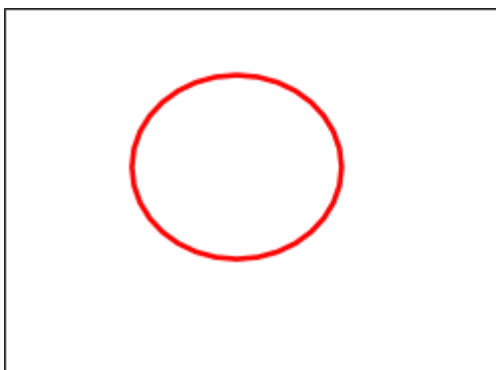


Ilustración . Condiciones de apoyo de la cubierta, Puerto Alegre

Fuente: Autores

En la cubierta de la Soledad se encontró que muchos elementos se encontraban sometidos flexión, generado fuerzas internas de cortante y momento flector lo cual se ve reflejado en esfuerzos de cortante y compresión perpendicular, que no pueden ser soportado adecuadamente por el material tal como se puede observar en la ilustración 3. En la cubierta de Puerto Alegre se encontró una estructura más regular desde el punto de vista geométrico, evidenciando formas triangulares, y con muchas de las correas llegando a los nodos de la cercha, transmitiendo en su mayoría esfuerzos axiales sobre los elementos de la misma. Sin embargo, como se ve en la Ilustración 4, está cubierta presentaba una condición de apoyo inadecuada sobre el pedestal. Se evidenció el deterioro de las guaduas por la falta de mantenimiento y protección. Estas condiciones de inestabilidad, se suman a la amenaza de sismicidad alta que presenta la vereda en donde se construyeron las cubiertas, lo cual aumenta el riesgo de colapso debido a los posibles desplazamientos horizontales que pueden ser causados por el sismo.

## *B. Modelación Estructural*

### *a. Geometría de los pórticos*

Al no contar con planos de diseño de las cubiertas, el primer paso que se realizó fue dibujar las armaduras utilizando el programa AutoCAD.

### *b. Avalúo de cargas gravitacionales y de viento*

Para el avalúo de cargas de La Soledad y de Puerto Alegre, se utilizó una carga muerta de 0.333 KN/m<sup>2</sup>, generado por el peso de una cubierta arquitectónica termo acústica, sugiriendo en primera instancia una modificación a la cubierta existente por una de mejores características.

Las cargas vivas mínimas requeridas se determinaron de acuerdo a las pendientes de las cubiertas, según la tabla B.4.2.1-2 de la NSR-10 [3].

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.

*c. Cálculo del espectro de diseño*

Para realizar el análisis sísmico de la estructura, se utilizaron los parámetros indicados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) correspondientes al municipio de Garzón-Huila. Dicho espectro de aceleraciones fue utilizado como parámetro de entrada en la modelación de la estructura en el programa SAP 2000

*d. Análisis Estructural En El Programa SAP 2000*

Se realizó una modelación preliminar de las 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. La carga de presión de viento se asignó sobre un área de tal forma que llegara perpendicular a la misma. 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.

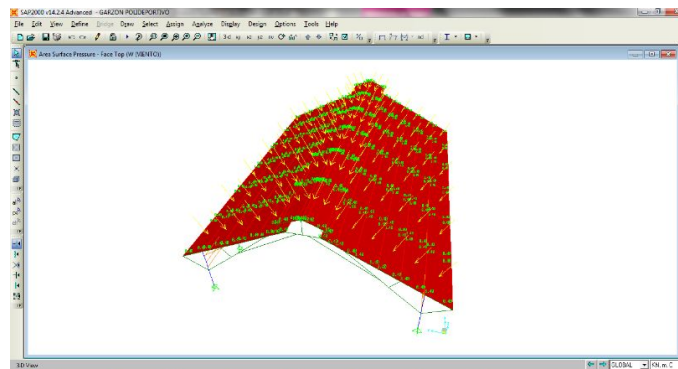
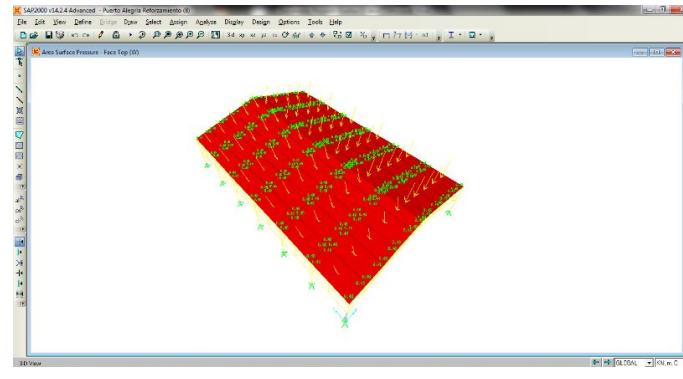


Figura . Modelo preliminar cubierta La Soledad asignación de cargas



Fuente: Autores

Con los parámetros de entrada asignados al modelo se realizó el análisis estructural, donde se evidenció que ambas cubiertas presentaban problemas de inestabilidad por su disposición geométrica, ya que de acuerdo a lo contemplado en la NSR-10, todos los nodos en guadua deberán ser modelados como conexiones articuladas lo cual generó periodos de vibración infinitos en la estructura.

En cuanto a la armadura se evidencio la falta de elementos en su geometría, lo cual no permitió la transmisión 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.

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.

### *C. Propuesta de Reforzamiento Estructural*

En primera instancia, se adicionaron 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. Además, con los refuerzos en las armaduras se reubicaron 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 3. Reforzamiento planteado y reubicación de las correas de las cubiertas de La Soledad y de Puerto Alegre.

Fuente: Autores

Con el nuevo análisis, se encontró que las cubiertas en el sentido corto no cumplían con las derivas máximas admisibles, razón por la cual se colocaron diagonales en el sentido corto y arriostramientos concéntricos entre las columnas y las vigas en el sentido largo, logrando así el cumplimiento de los desplazamientos debido a cargas horizontales contemplados en el reglamento.

Por último se realizó un chequeo preliminar de las deflexiones en las correas tomando la mayor carga sobre el elemento y se encontró que como las correas no cumplían con las deflexiones admisibles, se planteó un arriostramiento excéntrico que partiera del cordón inferior de la armadura hasta el tercio de la correa con el fin de controlar las deflexiones en las mismas.

#### *D. Diseño de refuerzos*

##### *a. Diseño a flexión*

Se calcularon los coeficientes de modificación de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad. Luego se realizó el diseño a flexión de las correas partiendo del hecho de que las deflexiones ya habían sido controladas gracias a los refuerzos excéntricos colocados en las correas. Para el cumplimiento de los esfuerzos, se determinó aumentar el módulo de la sección con una sección compuesta de dos guadas con el fin de aumentar la inercia del elemento, ya que los pórticos de las dos cubiertas tenían luces de más de cuatro metros y de esta manera se estaban superando los esfuerzos admisibles modificados a flexión y a cortante paralelo a las fibras.

*b. Diseño a tensión y compresión axial*

El diseño a tensión y compresión paralelo, se realizó tomando la fuerza axial de cada elemento de las armaduras donde se chequeo cada elemento, garantizando que el esfuerzo actuante era menor, al esfuerzo admisible modificado a tensión y compresión.

*c. Diseño a compresión axial y flexo compresión*

El diseño a compresión axial de las columnas de las cubiertas, se realizó calculando la longitud efectiva, radio de giro y relación de esbeltez de la sección, encontrando que estos elementos se clasificaron como columnas largas para las dos cubiertas. Se procedió a calcular el esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante, los cuales fueron menores al 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)

*d. 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).

*E. Planos de Reforzamiento Estructural y difusión*

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.



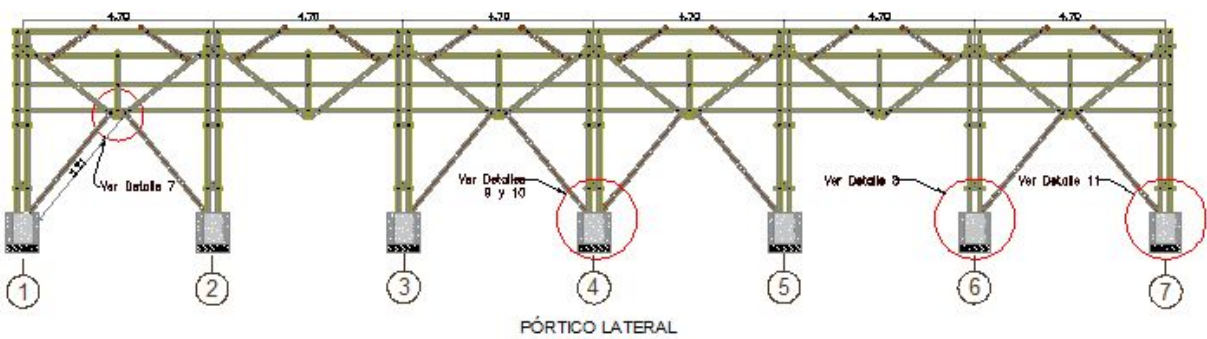
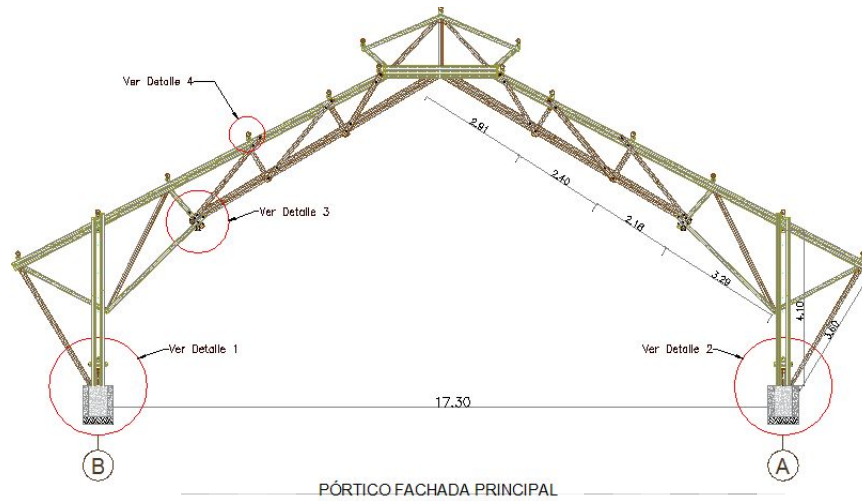
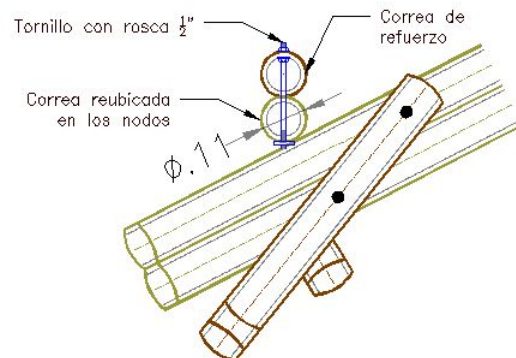
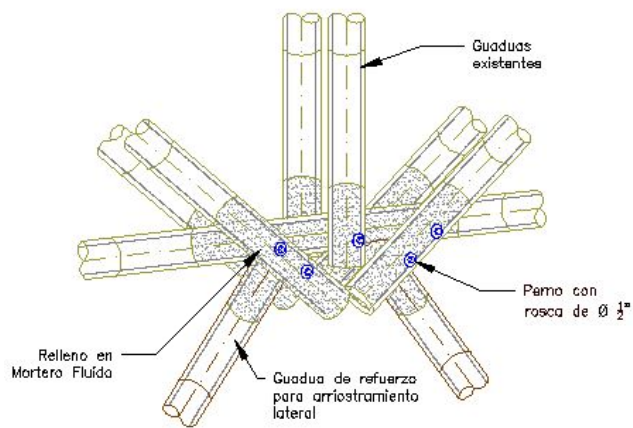


Figura .Fachada lateral con refuerzos cubierta la Soledad.



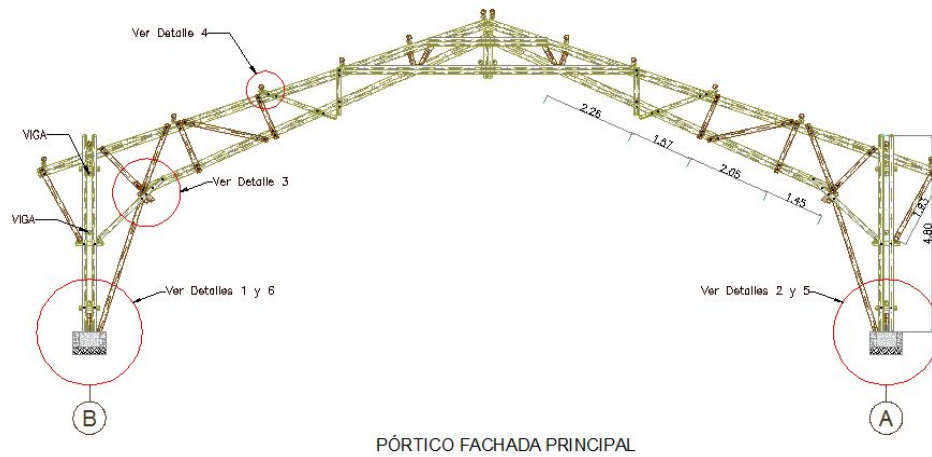


Figura .Fachada principal con refuerzos cubierta Puerto Alegre.

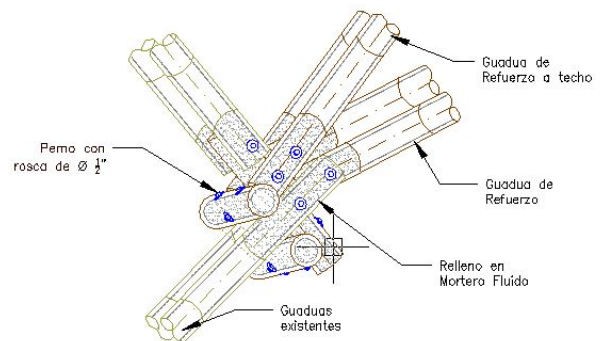
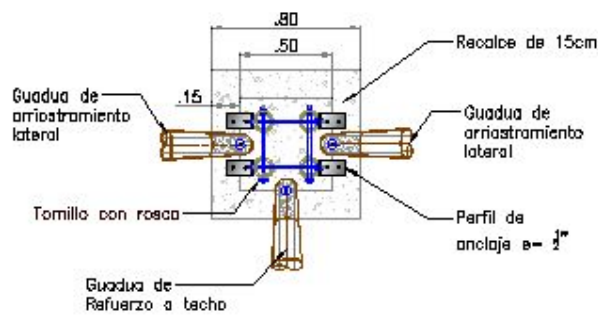


Figura . Detalle de conexión cordón inferior de la armadura, cubierta Puerto Alegre.

Luego estos planos fueron entregados a los formadores del SENA del Huila, junto con unas recomendaciones constructivas, para que sirvieran de apoyo para disminuir la vulnerabilidad de las construcciones actuales y su vez las bases para las futuras cubiertas.

### III. 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 solicitaciones sísmicas, estas presentaron sobreesfuerzos en la gran mayoría de sus elementos, siendo estas inadecuadas para soportar y responder adecuadamente antes las solicitaciones actuales. Además, se presentó una flexibilidad excesiva, lo cual genera inestabilidad o incumplimiento de las derivas máximas permitidas de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

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 alta vulnerabilidad se plantearon reforzamientos estructurales para garantizar su estabilidad.

El reforzamiento de las cubiertas se realizó tratando de no modificar la geometría inicial de las mismas, adicionando elementos necesarios para garantizar su estabilidad y uniformidad geométrica, reforzando las cubiertas con arriostramientos excéntricos, 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.

### IV. REFERENCIAS

- [1] «El Colombiano,» Construcción jalona la economía, 24 06 (2015). [En línea]. Available: <http://www.elcolombiano.com/construccion-jalona-la-economia-MI2192248>. [Último acceso: 2015].
- [2] Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, «Título A - Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismoresistente,» de *Reglamento Colombiano de*

*Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*, Bogotá D.C., Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, p. 166.

- [3] Ministerio\_de\_Ambiente, \_Vivienda\_y\_desarrollo\_territorial, «Título B - Cargas,» de *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente (NSR-10)*, Bogotá D.C., Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.
- [4] Ministerio\_de\_Ambiente, \_Vivienda\_y\_desarrollo\_territorial, «Título G - Construcciones de Madera y Guadua,» de *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*, Bogotá D.C., Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.