



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Licenciatura en Ingeniería Civil

Proyecto de Graduación

## **DISEÑO DE MARCOS ESTRUCTURALES EN MADERA LAMINADA, CADEIA**

Aisen Francisco Matus Güell

Heredia, agosto 2016

## **COMITÉ ASESOR**

**ING. OLMAN ELIZONDO EZQUIVEL**

**TUTOR**

**ING. ANDRÉS ZELEDÓN QUIRÓZ**

**LECTOR**

**ING. ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

TRIBUNAL EXAMINADOR



ING. OLMAN ELIZONDO ESQUIVEL  
TUTOR



ING. ANDRÉS ZELEDON QUIROS  
LECTOR



ING. ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA  
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

## DEDICATORIA

A Dios, por ser el guía en cada etapa de mi vida, estando siempre a mi lado, permitiéndome en cada reto que me pone de frente, a redescubrirme como ser humano que soy.

A mis papás, Ghiselle y Gerardo, acompañándome y apoyándome en cada sueño que me propongo. Educándome con el amor, que solo los padres pueden brindar a un hijo. Les debo a ellos, el hombre y el profesional que soy ahora. Los amo.

A mis hermanos, Álvaro y María, y obviamente a mi amada sobrina, Pía. Por siempre estar apoyándome y sacando siempre una gran sonrisa en todo momento de mi vida.

A mis abuelos, María Luisa García, Francisco Matus, Vera Camacho y Manuel Güell, que siempre estuvieron apoyándome durante este proceso tan grande. Aunque Tito Manuel, que en paz descanse, no logró verme con mi título, siempre me acompaña y orgullosamente siempre estará a mi lado.

A mis amigos y compañeros, por la comprensión en todos esos días que no podía verlos por estudiar. Pero siempre estuvieron ahí, apoyándome, alentándome a salir adelante.

A VIA (Voluntariado de Ingeniería y Arquitectura ONG). Como también a la Fundación Resplandecer ONG, junto a mi compañero y amigo Eduardo Castillo, que me brindaron la oportunidad, confiando en mí, para ser parte de este, tan ambicioso proyecto.

A todas esas personas, que, de algún modo, han significado un apoyo fundamental en todo este proceso de enseñanza, confiando en mí y alentándome a salir adelante, siempre con la cabeza en alto y con los mejores deseos de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Conforme han pasado los años de estudio, y no solo de estudio, sino de la existencia misma, he comprendido que nada en esta vida se debe dar por terminado o por sentado, a pesar de cualquier dificultad a la que nos enfrentamos. Siempre el esfuerzo, debe ser el pilar fundamental. Nunca debemos dejar de luchar por lo que se desea; al final, todo sueño que nos proponamos, será la puerta al éxito de nuestras vidas.

Dios y mi familia, han sido ese apoyo fundamental, que en mi vida no me ha faltado. Por ellos, soy el ser humano que demuestro ser en cada reto que me enfrento cada día de mi vida, porque al final, vivir es el reto más grande. Finalizando este proceso, les devuelvo todo lo brindado, culminando con éxito, e iniciando una etapa nueva de mi vida.

Cada profesor que estuvo en todo mi proceso, enseñando, explicando y contando anécdotas, reforzando esas ganas de ser un profesional en el campo de la Ingeniería Civil, como también de la misma vida. Confiando en mi proceso como Presidente del Consejo Estudiantil de la Escuela de Ingeniería Civil, apoyándome y aconsejándome. Todos contribuyeron a mi formación.

Igualmente, a mis amigos y compañeros de clase, que me brindaron el apoyo necesario para lograr superar situaciones difíciles de la vida y de la Universidad. Esas mañanas, tardes y noches largas de estudio.

***Aisen***

## **EPIGRAFE**

“Las dificultades en la vida, preparan a la persona normal,  
para un destino extraordinario”

Clive Staples Lewis

## RESUMEN

La educación académica constituye uno de los ejes principales de las sociedades antiguas y modernas. Es un sinónimo de prosperidad, para aquellos que tienen la gran oportunidad de asistir a un kínder, a una escuela, a un colegio o hasta la universidad. Lastimosamente, en el mundo, se marcada claramente una franja que se ha vuelto cada vez más amplia, de las personas que puede acceder a dicho privilegio y las que no.

Los países de América Latina están catalogados como una zona de bajo rendimiento escolar. Esta condición se ha incrementado por la desigualdad económica y social que se presentan en estos países vecinos.

La situación de Costa Rica, a pesar de los estándares que caracterizan al resto de los países de la zona, presenta una situación, que si bien, no es alarmante, pues el país ostenta los promedios más altos de la región en la accesibilidad a la educación, sí está arrastrando problemas que si no se llega a actuar, de manera pronta y oportuna, pueden provocar que el sistema educativo decline, lo que puede afectar la competitividad de la nación a nivel mundial.

En la comunidad de San Jorge de los Chiles, Alajuela, se observan dos claros ejemplos de problemas con respecto a la accesibilidad a la educación. El Cantón de Los Chiles, siempre ha contado con bajos índices de desarrollo humano. Tal es así, que, en los últimos años, se ha catalogado como el cantón con mayores problemas de pobreza y de falta de inversión directa en educación.

Existen soluciones para este tipo de problemas. Es por eso que la Fundación Resplandecer ONG y este proyecto, uniendo esfuerzos, proponen el diseño de los marcos estructurales, con base a madera laminada, de un edificio de dos niveles, que servirá como un Centro de Atención y Desarrollo Integral de Adolescentes (CADEIA). En tales instalaciones se pretende impartir educación técnica para los jóvenes de escasos recursos de la zona.

Se plantea como primer objetivo, el diseño con material principalmente estructural: la madera Laminada. Esto, para poder tener una base teórica para fundamentar lo práctico.

Así, se realizó el diseño estructural, detallado, de acuerdo con las especificaciones mecánicas de la madera laminada Pino Radiata. Como apoyo a este diseño, se adaptó un

manual colombiano de diseño en madera, tomando en cuenta las consideraciones de diseño a nivel nacional. Esto, gracias al sustento legal y teórico del *Código Sísmico de Costa Rica*, en su versión 2010 y del libro *Madera, diseño y construcción*, del Ingeniero costarricense Juan Tuk Durán.

**Palabras claves:** Educación - Desigualdad - Solución - Diseño -Estructural - Estudio - Madera laminada - Consideraciones de diseño.



# ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>13</b>
1.1. Antecedentes .....	13
1.2. Justificación .....	14
1.2.1. Problemática en Costa Rica sobre la desigualdad social, así como la deficiencia en la parte estructural en las instancias educativas.....	14
1.2.2. Problemática de desigualdad social en el cantón de Los Chiles, Alajuela, Costa Rica y deficiencia en la parte estructural de sus instancias educativas .....	15
1.2.3. Importancia, a nivel cantonal, nacional e internacional, del CADEIA.....	16
1.3. Objetivos .....	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. Delimitación del problema .....	17
1.4.1. Alcance .....	17
1.4.2. Limitaciones .....	17
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>18</b>
2.1. Código Sísmico de Costa Rica .....	18
2.2. Diseño mediante el método ASD .....	19
2.3. Reglamento de Construcciones.....	19
2.4. Reglamento Colombiano de la Construcción Sismorresistente.....	19
<b>3. Marco metodológico.....</b>	<b>20</b>
3.1. Descripción del cantón de Los Chiles .....	20
3.3. Procedimiento metodológico para la realización del estudio diagnóstico.....	21

3.2. Procedimiento metodológico.....	22
<b>4. Análisis y diseño del marco estructural, CADEIA .....</b>	<b>24</b>
4.1. Consideraciones iniciales .....	24
4.2. Descripción de la estructura por diseñar .....	25
4.3. Determinación de las cargas de diseño .....	29
4.3.1. Cargas permanentes .....	29
4.3.2. Cargas temporales .....	30
4.3.3. Cargas de sismo .....	30
4.3.4. Cargas de viento.....	33
4.4. Diseño del elemento tipo viga .....	36
4.4.1. Diseño a flexión.....	36
4.4.2. Diseño a cortante.....	38
4.4.3. Comprobación de deformación .....	40
4.4.4. Comprobación por aplastamiento .....	42
4.5. Diseño del elemento tipo columna .....	44
4.6. Diseño de conexiones sismorresistente.....	47
4.6.1. Consideraciones para el diseño de la conexión sismorresistente .....	48
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>54</b>
<b>6. Recomendaciones.....</b>	<b>55</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>56</b>
<b>Anexo 1: Determinación de cargas para el análisis estructural del marco principal de la estructura.....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo 2: Dimensionamiento de demás elementos estructurales .....</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema metodológico de trabajo.....	22
Figura 2: Ubicación del proyecto .....	24
Figura 3: Estructura de la edificación.....	25
Figura 4: Distribución arquitectónica.....	26
Figura 5: Dimensionamiento de la Estructura 1 .....	26
Figura 6: Dimensionamiento de la Estructura 2 .....	27
Figura 7: Elementos tipo viga (centro de estructura).....	27
Figura 8: Elementos tipo columna (centro de estructura) .....	28
Figura 9: Elementos tipo viga (extremos de estructura) .....	29
Figura 10: Elementos tipo columna (extremos de estructura) .....	29
Figura 11: Segmentación de la estructura.....	34
Figura 12: Diagrama de cortante .....	36
Figura 13: Diagrama de momento .....	36
Figura 14: Viga-Columna en “L” o “T” o cualquier ángulo.....	48
Figura 15: Transmisión del momento a través de los pernos en la conexión.....	49
Figura 16: Posibles modos de falla para una conexión apernada en cortante doble.....	50
Figura 17: Parámetros D, Ls y Lm.....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cargas permanentes .....	30
Tabla 2: Resumen del cálculo del coeficiente sísmico “C”. .....	31
Tabla 3: Pesos de la estructura para efectos sísmicos de pino radiata .....	32
Tabla 4: Cortante en la base de la estructura.....	32
Tabla 5: Fuerza de sismo por nivel.....	33
Tabla 6: Presiones sobre la edificación, según su altura .....	33
Tabla 7: Presiones obtenidas .....	35
Tabla 8: Dimensiones de los segmentos .....	35
Tabla 9: Presiones finales.....	35
Tabla 10: Factores de diseño a flexión .....	37
Tabla 11: Resumen de resultados, para el diseño de flexión de la viga .....	38
Tabla 12: Factores de diseño a cortante .....	39
Tabla 13: Resumen de resultados, para el diseño a cortante de la viga. ....	40
Tabla 14: Resumen de resultados para la comprobación de deformación de la viga .....	42
Tabla 15: Factores de comprobación por aplastamiento .....	43
Tabla 16: Resumen de resultados para la comprobación por aplastamiento de la viga .....	44
Tabla 17: Factores de diseño de columna .....	45
Tabla 18: Resumen de resultados del diseño de la columna.....	47
Tabla 19: Requerimientos de espaciamientos mínimos .....	49
Tabla 20: Cantidad de pernos, a partir de sus espaciamientos. ....	50
Tabla 21: Resumen de resultados obtenidos para la conexión .....	53

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

Como se tiene previsto, la orientación de este proyecto es social-estructural, específicamente en lo que respecta al diseño de los marcos estructurales presentes en la estructura que, posteriormente, se expondrá.

De acuerdo con lo mencionado, se tienen investigaciones referentes al tema de la madera laminada, pero el número de ellas es limitado; de ahí que existe falta de conocimiento del tema en el mercado nacional, para este tipo de sistema estructural.

Uno de los primeros estudios a nivel de país en este tema, data de hace ya algunas décadas: Cordero (1970) realiza una investigación en la cual contempla los materiales, los métodos de fabricación, así como su diseño de elementos encolados.

Asimismo, se consultan sobre el tema, obras de Lizano (1982) y de Elizondo (1983) en las que se exponen los trabajos de investigación llamados “Elementos Estructurales de Madera Laminada en Costa Rica” (Lizano, 1982) y “Estructuras de Madera Laminada en Costa Rica” (Elizondo, 1983), el cual, es continuación de lo realizado un año atrás, cuyos autores son Jorge Eduardo Lizano Murillo y Marcos Elizondo Breedy. Estos trabajos presentan la viabilidad del uso de este tipo de madera para Costa Rica. Los autores citados exponen las ventajas del uso de este material, su definición, así como su comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga, los tipos de conexiones por utilizar y detalles importantes de las generalidades de la madera laminada.

Luego de 20 años, Sindy Por su parte, Rivas Camacho (2004), ha escrito uno de los más importantes proyectos de graduación hasta la fecha llamado “Determinación de las Propiedades Mecánicas de Elementos Laminados de Madera de la Especie *Gmelina arborea* (melina)” (Rivas, 2004). En este expone los resultados de los ensayos realizados como son las propiedades de la capacidad de cortante, esfuerzos máximos, flexión estática, los módulos de elasticidad y la ruptura de elementos laminados fabricados en melina.

En el año 2009, Francisco Villalobos Ramírez (2009) presenta un el trabajo de investigación “Comportamiento Estructural de Conexiones Sismorresistente de Elementos de Madera Laminada en Sistemas Viga-Columna (Ductilidad Local)” (Villalobos, 2009). trabajo sobre el tema, en el que determina el comportamiento del material expuesto en una estructura, en lo que respecta a la ductilidad local. La investigación comprende aspectos básicos a tomar en cuenta en un diseño estructural, como su comportamiento a diferentes pruebas que se realizaron en un laboratorio, de acuerdo con la ductilidad estudiada.

Más recientemente, Chacón Rodríguez (2010), escribe un trabajo final de graduación llamado “Comportamiento Estructural de Conexiones de Madera, con Configuración Circular en Elementos de Madera en Sistema Viga – Columna” (Rodríguez M. J., 2010) donde nos en el que detalla el comportamiento de una conexión sismorresistente con configuración circular en elemento de madera laminada. Esto, para comprobar si dicha estructura, desarrolla una ductilidad local óptima de seis.

## **1.2. Justificación**

Se tiene como problemática inicial, la deficiencia de instancias donde se pueda brindar una educación formadora, pues en el país este tipo de educación se encuentra muy rezagado fuera de la Gran Área Metropolitana (GAM).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se planeó realizar un diseño estructural de una edificación, el cual contempla el marco estructural en madera laminada, tipo Pino Radiata. La ONG Fundación Resplandecer es el ente interesado en el proyecto, al cual se hace referencia posteriormente.

### **1.2.1. Problemática en Costa Rica sobre la desigualdad social, así como la deficiencia en la parte estructural en las instancias educativas**

Según La Nación (2013), en un reportaje sobre la desigualdad en Costa Rica, señala que esta problemática es una de las más altas a nivel latinoamericano, ello, con base en el índice Gini. Este tiene como valor entre 0 y 1; el país se sitúa con índice de 0,520. Para Costa Rica, según se comenta en este artículo, el mayor problema es la desigualdad de los salarios de los

trabajadores calificados y no calificados en las poblaciones rurales con respecto a las conglomeraciones urbanas.

Siempre se ha hablado sobre la alta calidad de la educación del país en las aulas costarricenses. Esa idea no es errónea, porque en comparación con los países latinoamericanos, Costa Rica apuesta una cantidad muy significativa de los ingresos del Estado para dar educación a la mayor parte de la población, mediante becas y diferentes beneficios, a fin de motivar a los estudiantes a permanecer en las aulas.

Pero a pesar de la situación planteada anteriormente, en distintas partes de la república, la lejanía, la pobreza y la falta de inversión estructural han ocasionado una deserción importante en las aulas costarricenses.

Existen cantones los cuales, por los problemas anteriores, no dejan que los índices de crecimiento humano se incrementen.

El país, para el presupuesto del Ministerio de Educación Pública del año 2016, destina solo el 1,7% del total, para inversión de infraestructura de centros educativos. Ello significa un total de más de cuarenta y un mil millones de colones para este rubro. Si se determina bien, es un monto muy inferior al total presupuestado para este Ministerio, el cual equivale a más de dos billones de colones (Ministerio de Hacienda, 2016)

### **1.2.2. Problemática de desigualdad social en el cantón de Los Chiles, Alajuela, Costa Rica y deficiencia en la parte estructural de sus instancias educativas**

De acuerdo con el documento elaborado por un periódico nacional, el índice de desarrollo humano para el cantón de Los Chiles, se encuentra entre los más bajos a nivel nacional (Rodríguez A. , 2016).

Es de vital importancia, poder lograr una equidad en la educación. Pero muchos niños, jóvenes y adultos del país son personas sin un grado de escolaridad. Asimismo, la diversidad de trabajo se reduce a la actividad agropecuaria y ganadera. Tal condición hace pensar que la desigualdad social está muy marcada. Si es así, se debe de realizar una fuerte inversión en el tema de la educación, para así motivar a la economía del cantón de Los Chiles y crear una variedad más amplia de empleos.

### **1.2.3. Importancia, a nivel cantonal, nacional e internacional, del CADEIA**

Se debe de tener en consideración, la envergadura del proyecto CADEIA, tanto a nivel nacional, como internacional. CADEIA (Centro de Atención y Desarrollo Integral para los Adolescentes) (indique lo que significan estas siglas) es un proyecto del Arq. Luis de la O, dedicado a mejorar la educación en la zona, incentivando a los jóvenes participar activamente en el ámbito del aprendizaje. Ha llegado a ser un proyecto influyente dentro del ámbito arquitectónico, pero también y más importante, lo es en el marco social. El factor social es un eje fundamental de este proyecto, pero también lo es desde el punto de vista estructural, por su materia prima: la madera. Esto ha generado repercusiones positivas, dentro del país y fuera de él.

Para el año 2015, dicho proyecto logró participar en la Bienal de los mejores proyectos fin de carrera mundial, denominado Archiprix Imterational, realizado en Madrid, España en el 2015. Se exhibió el proyecto durante un mes en el Colegio de Arquitectos de Madrid, COAM. A nivel nacional, para inicios del año 2016, fue galardonado en la Bienal Internacional de Arquitectura Costa Rica, BIACR. Obtuvo el primer lugar en dos categorías: como mejor diseño arquitectónico y como proyecto más sostenible no construido.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el diseño de los marcos estructurales para el Centro de Atención y Desarrollo Integral para los Adolescentes (CADEIA), con el uso del método de esfuerzos permisibles (conocido como el ASD)

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Desarrollar una base teórica de diseño estructural en madera, para futuras investigaciones.
- Realizar una base práctica de diseño estructural en madera, para futuras investigaciones.



## **1.4. Delimitación del problema**

### **1.4.1. Alcance**

Para el presente proyecto se elabora un diseño estructural, el cual se presenta el diseño completo del marco estructural más crítico, debido a las cargas de diseño. Posteriormente, se adjuntan los restantes resultados de los dimensionamientos de los demás marcos, a los cuales se les aplican los respectivos análisis, presente en la estructura del CADEIA.

El diseño se realizó, según los lineamientos del Código Sísmico de Costa Rica (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010) y empleando el método ASD. Se contempló, de esta manera, un diseño tridimensional, tomando en cuenta las cargas de viento y de sismo.

Asimismo, las conexiones de las estructuras se realizaron con pernos de acero, con una configuración circular para unir así las secciones de madera.

### **1.4.2. Limitaciones**

Una única limitante importante, a la hora de la realizar este proyecto, lo constituye la falta de teoría nacional, respecto al diseño estructural en madera, ya que es muy escasa. Se debió recurrir a manuales de diseños internacionales, los cuales, se adaptaron a las limitaciones y lineamientos de Costa Rica.

## **2. Marco teórico**

De acuerdo con los fines de dicha obra, se deben contemplar una serie de códigos y reglamentos, los cuales, a la hora de la puesta en práctica, el diseño que se realizó, se deben respetar. Son consideraciones importantes, especialmente las especificaciones estructurales de relevancia en la estructura.

### **2.1. Código Sísmico de Costa Rica**

Desde hace muchos años, cualquier construcción realizada en Costa Rica, se deben de cumplir una serie de lineamientos, los cuales garanticen de una manera global, la integridad de una edificación. En el caso de su estructura, se deben cumplir los requisitos, de acuerdo con el tipo de instalación que se va a realizar.

Para ello se deben establecer los lineamientos establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010). Este código busca orientar al profesional responsable para poder realizar un diseño estructural de manera segura y garante. Se debe cumplir lo estipulado en tal cuerpo legal, para lograr la integridad estructural en eventos sísmicos u otros eventos en la que la estructura se vea expuesta.

Este trabajo se rige por el Capítulo 11 de dicho Código, titulado “Requisitos para madera estructural”. Se señalan aquí las generalidades del uso de la madera como elemento estructural sismorresistente. Por eso se detallan los estándares que se deben tener en cuenta y el material por utilizar, que en este caso es la madera. De acuerdo con lo que se estipula en el texto señalado, existen tres tipos de madera para el uso estructural: madera aserrada, madera contrachapada y madera laminada. Esta última es la que se pretende emplear para el diseño estructural sismorresistente.

En cuanto a madera laminada, es importante esta referencia:

Un producto, clasificado estructuralmente, de una planta laminadora, el cual consiste en un ensamble de láminas de madera, seleccionadas y preparadas especialmente y unidas con adhesivo rígidos. El grano de las láminas es aproximadamente paralelo a la longitud del elemento (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010).

El uso de este material se considera necesario en un diseño estructural, por ser un material flexible. Esto garantiza que sea sismorresistente y a su vez, confiable, pues el material presenta características estructurales ya predeterminadas. Tal condición permite un diseño más seguro, en comparación con la madera aserrada, la cual requiere estudios previos para determinar su resistencia y otros detalles de interés para el diseñador.

## **2.2. Diseño mediante el método ASD**

Cuando se habla de diseño mediante el método ASD, se comenta que, a la hora de realizar el análisis estructural, se busca conseguir que los esfuerzos unitarios que actúan en la estructura, sean menores que los esfuerzos unitarios permisibles. Para efectos de este proyecto, se utilizó la norma AISC–ASD (diseño por esfuerzos permisibles).

## **2.3. Reglamento de Construcciones**

El Reglamento de Construcciones es una ley, promulgada el 17 de marzo de 1983 en el diario oficial La Gaceta. Contiene especificaciones técnicas y datos de interés para realizar un diseño bajo las cargas de viento, el cual dependerá de la altura de la estructura, así como, la ubicación del mismo.

## **2.4. Reglamento Colombiano de la Construcción Sismorresistente**

Este reglamento, se basa en los estudios realizados por la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismorresistente, así como estudios internacionales.

De acuerdo a la información que se maneja respecto a la madera en dicho reglamento, se debe de tomar en cuenta a la hora de realizar el diseño estructural, esto para fines de este proyecto, por el motivo, que se estará basando el diseño, en un manual colombiano de diseño estructural llamado, Madera Estructural: Método de los Esfuerzos Permisibles (Curbelo, 2011). Esto, para poder comprender de una manera más atenta las referencias que se utilizan en el anteriormente mencionado manual.

### **3. Marco metodológico**

#### **3.1. Descripción del cantón de Los Chiles**

El sitio para el cual se desarrolló este diseño fue en el cantón de Los Chiles de Alajuela, el cual limita al norte con la frontera de Nicaragua, al oeste con Upala, al este con San Carlos y al sur con Guatuso, todos cantones de la provincia de Alajuela. Su extensión territorial es de 1358,67  $km^2$  y se encuentra dividido en cuatro distritos: Los Chiles, Caño Negro, El Amparo y San Jorge. Es una región con una población de 20.678 habitantes y según datos de Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), en el año 2013, presentaba una alfabetización de 96.5%.

En lo que respecta al proyecto, se realizó en el distrito cuatro, llamado San Jorge, en la comunidad de Coquitales. Esta zona carece de una educación formadora y no existe infraestructura óptima para el desarrollo y el aprendizaje de los niños, jóvenes y adultos de la comunidad. Este sitio presenta una economía agropecuaria, la cual se basa en la siembra de granos básicos y ganadería de engorde.

Como referencia histórica, dicho Cantón se creó el 17 de marzo de 1970, durante en la administración de José Joaquín Trejos Fernández, mediante la Ley No. 454.

#### **3.2 Organización no Gubernamental Resplandecer – Voluntariado de Ingeniería y Arquitectura (VIA) – Arquitecto Luis de La O**

Desde hace años, varias organizaciones no gubernamentales, conocidas como ONG, en el país, se han preocupado por el crecimiento de las zonas de bajo crecimiento socioeconómico. Para ello, han puesto especial atención al tema de la niñez y la adolescencia, específicamente en su educación, ya sea primaria o secundaria. Una de estas organizaciones es la llamada Fundación Resplandecer, que legalmente se constituyó en el año 2003. Hay otras organizaciones involucradas en el voluntariado, como es Voluntariado de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Latina de Costa Rica, la cual surge gracias a la iniciativa de la Arquitecta Alejandra López. Tal entidad busca fomentar una cultura de voluntariado y experiencias reales y sociales durante la formación profesional.

Precisamente, su función constituye en atender y formar integralmente a niños, niñas y adolescentes en riesgo social y en condición de vulnerabilidad. De ahí que su misión plantea: “Consolidar una institución efectiva en donde las personas que atendemos se desarrollen integralmente y se incorporen a la sociedad como jóvenes de bien” (Fundación Resplandecer, 2015). La Fundación ha venido trabajando de una manera muy positiva a nivel nacional, específicamente en el cantón de Los Chiles, donde tiene su centro de trabajo en el poblado de Coquiales.

Cuenta con una estructura provisoria que varios de sus miembros han ayudado a formar con el principal objetivo formar valores y apoyar el crecimiento socioeconómico de la región. En este campo es donde se centra este proyecto, el cual contempla el análisis estructural para una obra en madera laminada, llamada Centro de Atención y Desarrollo Integral para los Adolescentes (CADEIA). La organización tiene planes concretos para la construcción de dicho centro.

El proyecto se ha ido desarrollando gracias al arquitecto Luis de La O, egresado de la Universidad Latina y encargado del diseño arquitectónico. Este trabajo fue parte de su proyecto de graduación y junto con la oficina ArvivecoStudio (Fundada por la Arq. Estefanía Saborío y el Arq. Luis De la O), se logró la culminación exitosa de los diseños. El trabajo también implicó un estudio socioeconómico para la elaboración de este centro de desarrollo, a fin de suplir diversas necesidades de la comunidad de Coquiales, en los Chiles de Alajuela. Precisamente, la Fundación Resplandecer es el ente interesado en la realización de este proyecto.

Se debe tener en consideración, la participación de la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR, la cual se encarga en forma *ad honorem* de los estudios de suelos para la estructura CADEIA.

### **3.3 Procedimiento metodológico para la realización del estudio diagnóstico**

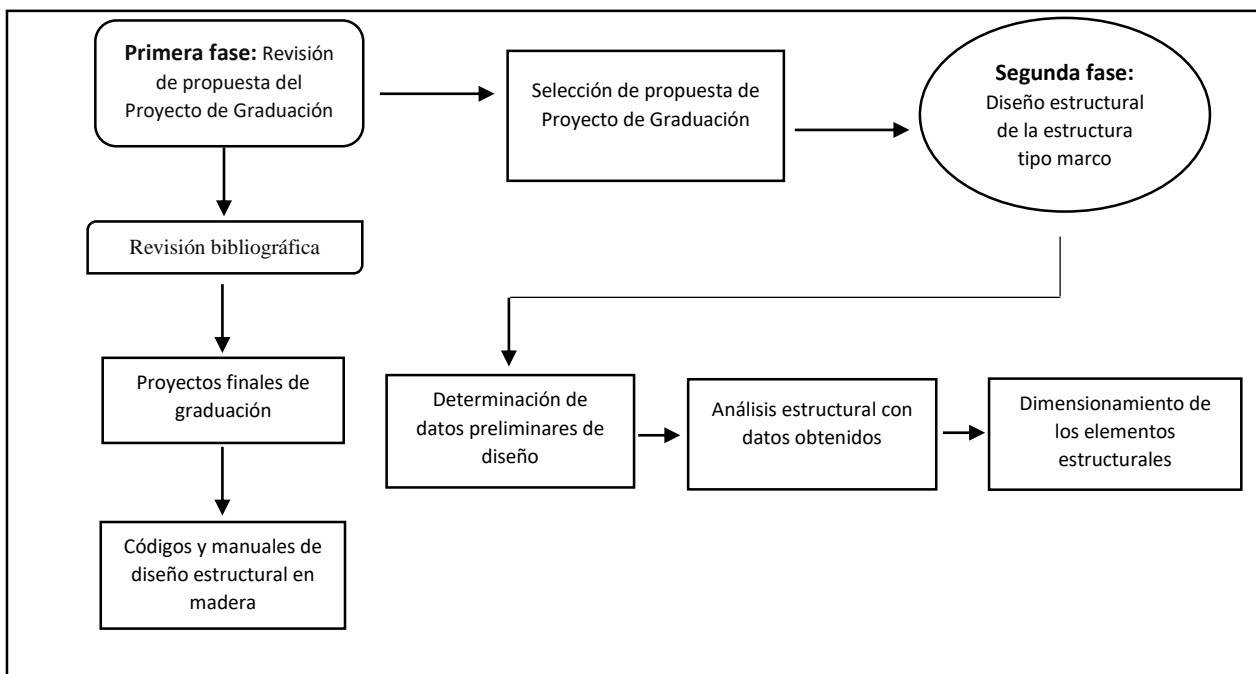
Este proyecto es de carácter cuantitativo, pues se basa en la obtención de resultados a la hora de la realización del diseño estructural.

Para los estudios, se apoya en la obtención de información relacionada con el tema de la madera laminada como agente estructural para una edificación. Para ello se indaga en diferentes fuentes y canales de comunicación que permitan una base sustancial a la elaboración de dicho proyecto. Asimismo, se consultó material escrito como: libros, proyectos de graduación, tesis, vínculos en internet y la opinión de un experto en el tema estructural.

### 3.2. Procedimiento metodológico

A continuación, se presentará en la Figura 11, la metodología seguida para el presente trabajo:

Figura 1: Esquema metodológico de trabajo



**Fuente:** Elaboración propia (2016)

En la etapa preliminar se realiza una revisión profunda del estado de la cuestión, donde se buscaron y se estudiaron artículos, investigaciones previas, libros de texto, normas y códigos. El objetivo es obtener un conocimiento previo de los elementos teóricos, para poder concretar lo propuesto para este Proyecto de Graduación.

Con la propuesta concreta y aprobada, se inicia la determinación de los datos de entrada y se planifica una memoria de cálculo, junto con todas las especificaciones técnicas

de la madera y de diseño. Esto, para poder obtener concretamente el dimensionamiento de los elementos y concluir con el diseño expuesto anteriormente.

## 4. Análisis y diseño del marco estructural, CADEIA

### 4.1. Consideraciones iniciales

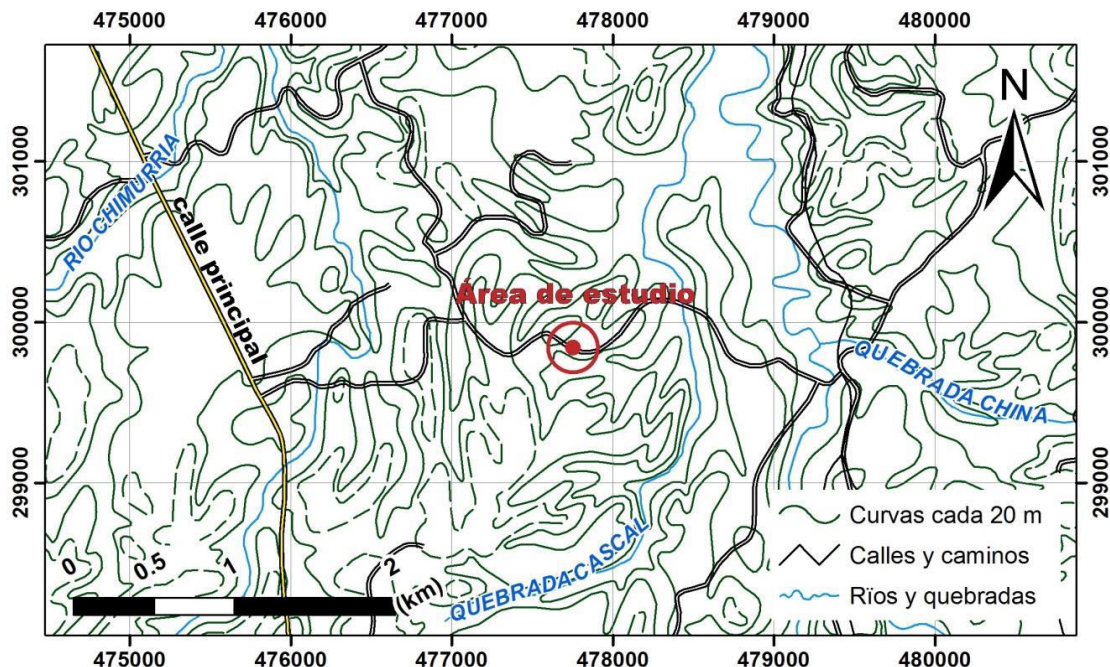
Este diseño se basa en una estructura tipo marco sismorresistente. Se realiza mediante el método de diseño estático, el cual viene expuesto en el CSCR-2010 (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010), explícitamente en el capítulo siete de tal documento.

La estructura que se desarrolla se pretende ubicar en Coquitales, Los Chiles, en la provincia de Alajuela. Sirve como referente la Figura 2, donde se presenta la ubicación del terreno.

**Figura 2: Ubicación del proyecto**

Comunidad San Jorge, Los Chiles

Alajuela



**Fuente:** Informe CADEIA (2016).

Teniendo en cuenta un estudio de suelo, se determina que es un terreno con características de limos arcillosos, arcillas y arcillas limosas, moderadamente consistentes. El



material alcanza un espesor de 5,5 m y tiene una capacidad soportante de baja a moderada. Según lo anterior, se decide usar un tipo S3 de suelo para la zona.

Durante el diseño, se consideraron todos los efectos de las cargas gravitacionales, temporales y de sismo, que se muestran en el capítulo 6 del Código Sísmico de C. R. (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010)

#### **4.2. Descripción de la estructura por diseñar**

De acuerdo con lo presentado por el arquitecto Luis De la O, se tiene una estructura con una configuración tipo marco, la cual presenta dos plantas, para un Centro de Atención y Desarrollo Integral de Adolescentes (CADEIA). La edificación, presenta el uso de la madera estructural. Esto, como principal material de construcción, con cierres, pisos, estructura de techo, liviano, como se presenta en la Figura 3.

**Figura 3: Estructura de la edificación**

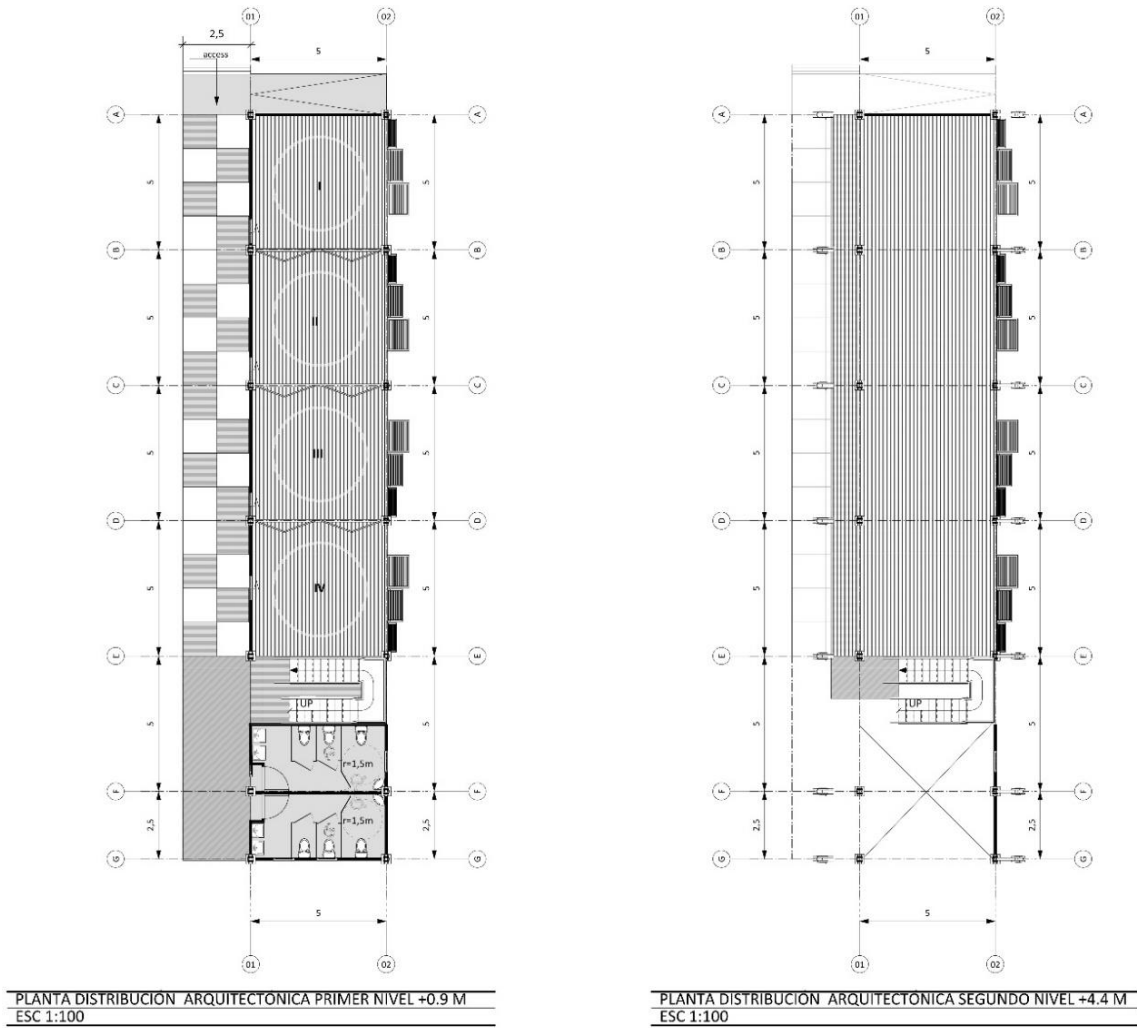


**Fuente:** ARVIVECO-VIA (2016).

Todo el sistema de cierres de la estructura se debe realizar con madera aserrada; por otra parte, los entrepisos y contrapisos se diseñan como tableros de madera. Se pretende utilizar para los marcos estructurales, madera laminada, así como pernos en sus uniones. Se toman en cuenta las siguientes dimensiones de la estructura, como lo muestran las Figuras 4, 5 y 6.

**Figura 4: Distribución arquitectónica**

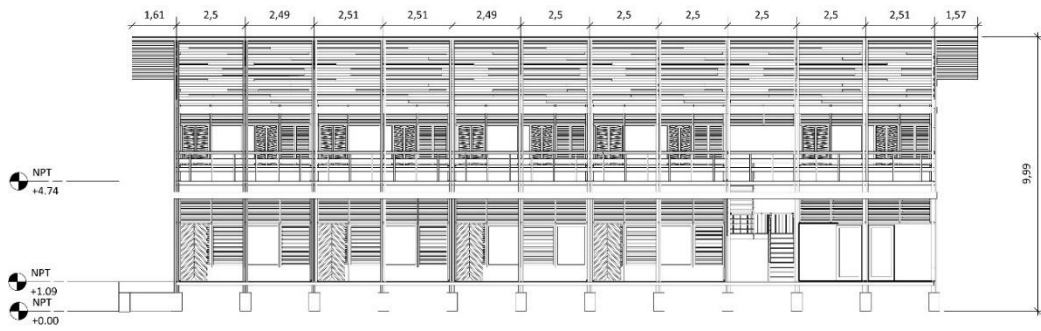
(Dimensionamiento en m).



**Fuente:** ARVIVECO-VIA (2016).

**Figura 5: Dimensionamiento de la Estructura 1**

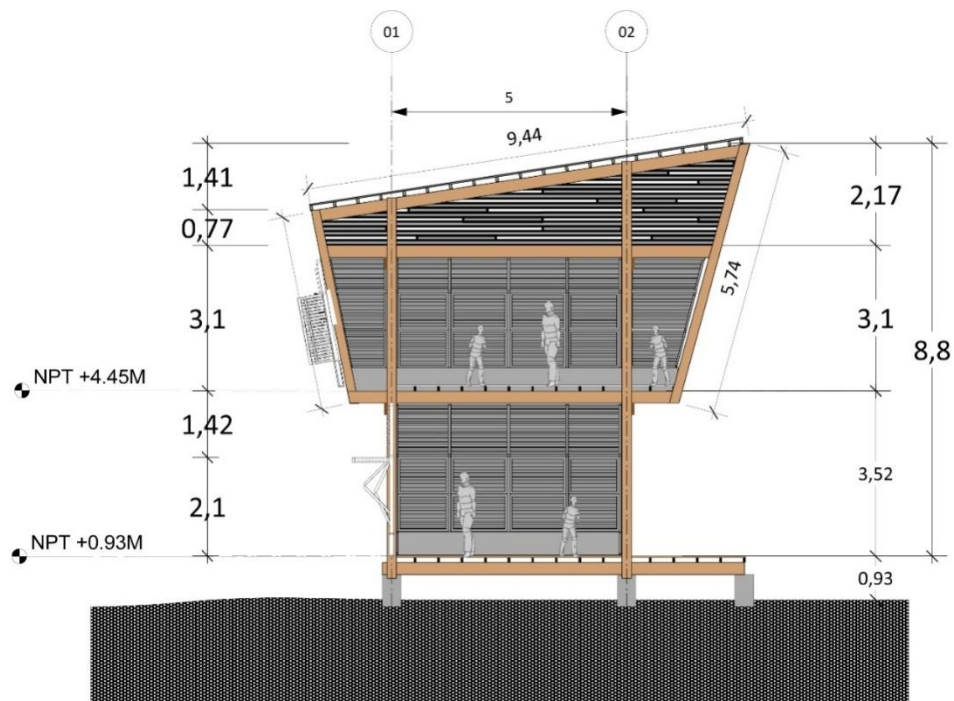
(Dimensionamiento en m)



Fuente: ARVIVECO-VIA (2016).

**Figura 6: Dimensionamiento de la Estructura 2**

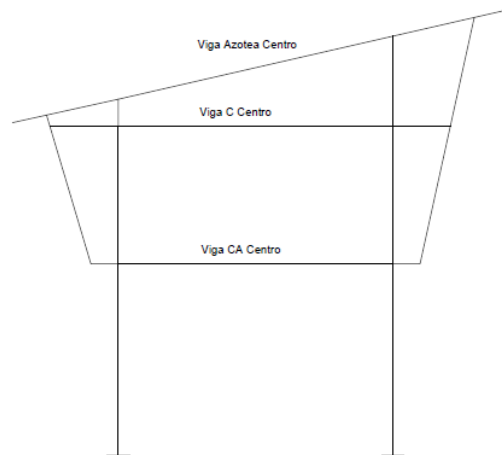
(Dimensionamiento en m).



Fuente: ARVIVECO-VIA (2016).

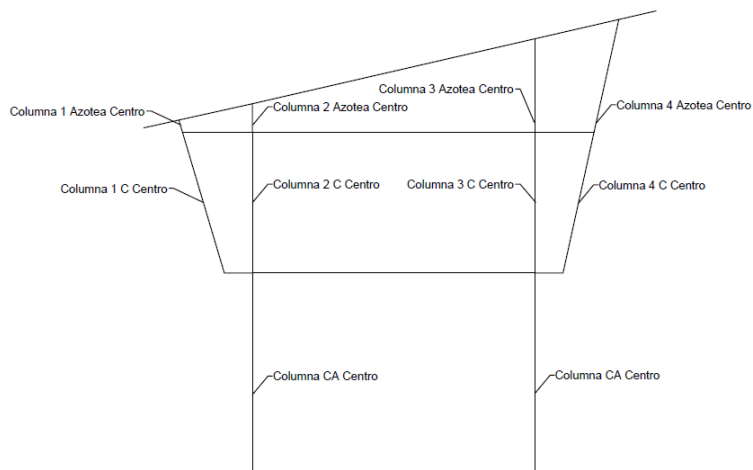
Seguidamente, se presenta en las figuras 7, 8, 9 y 10, detalles por considerar sobre el diseño de los elementos. Se toma en cuenta que existe una diferencia de elementos estructurales muy marcados. Por ejemplo, las áreas tributarias se segmentaron en dos grupos principales: centro de estructura y extremos de estructuras

**Figura 7: Elementos tipo viga (centro de estructura)**



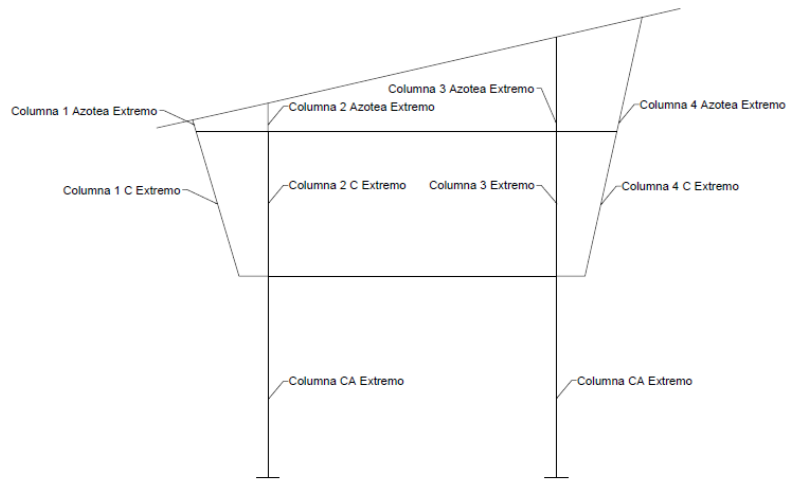
Fuente: Elaboración propia (2016).

**Figura 8: Elementos tipo columna (centro de estructura)**



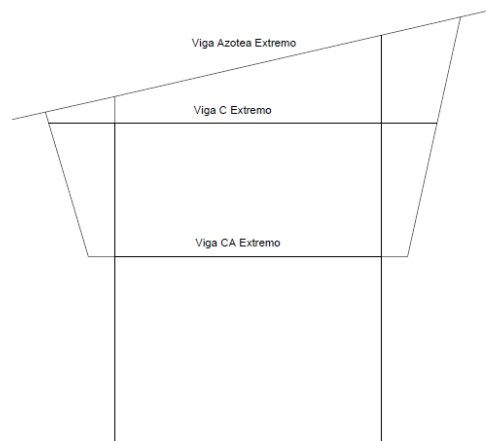
Fuente: Elaboración propia (2016).

**Figura 9: Elementos tipo viga (extremos de estructura)**



**Fuente:** Elaboración propia (2016)

**Figura 10: Elementos tipo columna (extremos de estructura)**



**Fuente:** Elaboración propia (2016)

### **4.3. Determinación de las cargas de diseño**

#### **4.3.1. Cargas permanentes**

De acuerdo con las consideraciones que presenta la estructura, las cargas permanentes llegarán a variar para cada marco estructural. Esto, por las cargas propias de los elementos. Por otro lado, se tiene que otras cargas, como cubierta o instalaciones eléctricas, sí se llegaron a considerar como fijas, como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 1: Cargas permanentes

Cargas	CP (kN/m <sup>2</sup> )
W Cubierta	0,003
W Inst. Eléctricas	0,004
W Cierres	0,004

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### 4.3.2. Cargas temporales

En el diseño de la estructura se utilizó una carga temporal para el techo de  $0,40 \text{ kN/m}^2$ . En lo que respecta a la estructura en general, se consideró una carga de  $4,90 \text{ kN/m}^2$ . Ello, debido a que el edificio se presenta como un lugar de reunión y se encuentra desprovisto de asientos fijos.

#### 4.3.3. Cargas de sismo

Para el diseño que se realizó, se tomó en cuenta el método estático, descrito en el capítulo 7 del Código Sísmico de Costa Rica – 2010 (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010). Este método se escogió por la regularidad en planta y su altura. Tal aplicación se realiza debido a las especificaciones que ofrece dicho código.

Como resumen, el método consiste en la aplicación de fuerzas horizontales sobre la estructura. Si se tiene en cuenta el coeficiente sísmico y el  $W$  del peso total de la estructura, se obtiene de la siguiente manera:

$$V = CW \quad (1)$$

Donde:

$C$ : Coeficiente sísmico

$W$ : Peso total de la estructura

Para el coeficiente sísmico se tiene que:

$$C = \frac{a_{ef}IFED}{SR} \quad (2)$$

Donde:

$a_{ef}$ : Aceleración pico efectiva de diseño (Tabla 2.2. CSCR – 2010)

I: Factor de importancia de la edificación (Tabla 4.1. CSCR – 2010)

FED: Factor espectral dinámico (Tabla E.3. CSCR – 2010)

SR: Factor de Sobrerresistencia según tipo de estructura (2 para el caso de marcos)

En lo que respecta al factor espectral dinámico, se debe, primeramente, conocer el periodo y la ductilidad de la estructura. Como el CSCR – 2010 (Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2010), no presenta mayor especificación para marcos de madera, se puede utilizar la siguiente ecuación para obtener el periodo:

$$T = 0,15N \text{ (3)}$$

Donde:

N: es el número de niveles de la estructura.

En la asignación de la ductilidad de la estructura, se seleccionó, de acuerdo con las recomendaciones presentes en el CSCR – 2010. Con este cálculo se obtiene una ductilidad de 3.

A continuación, se presenta la Tabla 3 resumen del cálculo de coeficiente sísmico.

**Tabla 2: Resumen del cálculo del coeficiente sísmico “C”.**

Dato	Valor
$a_{ef}$	0,28
I	1
T (s)	0,30
Sr	2
Fed	1,118
C	0,16

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

El peso  $W$  de la estructura se define como el peso propio de los elementos y de la estructura en general, tomando en cuenta las cargas permanentes y temporales. Esto, para efectos del sismo. Para el cálculo de este se utilizó una densidad de  $4,90\text{kN}/\text{m}^3$ , de acuerdo con las características de la madera laminada, tipo pino radiata. En la Tabla 4 se tienen los pesos sísmicos por nivel.

**Tabla 3: Pesos de la estructura para efectos sísmicos de pino radiata**

Nivel	CP (kN)	CT (kN)	$\Sigma\text{CP+CT}$ (kN)
1	327,64	1026,19	1353,83
2	384,07	945,17	1329,24

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Obtenidos los valores de los pesos de la estructura, se obtiene el valor del cortante de la base en la Tabla 5.

**Tabla 4: Cortante en la base de la estructura**

Cortante en la base (kN)	449.49
--------------------------	--------

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

De acuerdo con el cortante en la base, se procedió a calcular la fuerza sísmica por cada nivel de la estructura; para eso se utilizó la siguiente ecuación:

$$F_i = V \frac{W_i H_i}{\sum_{k=1}^N W_k h_k} \quad (4)$$

Donde:

$F_i$ : fuerza horizontal, debida al sismo en el nivel  $i$

$W_i$ : peso del nivel  $i$

$H_i$ : altura del nivel  $i$  sobre la base

$W_k$ : peso del nivel  $k$

$h_k$ : altura del nivel  $k$  sobre la base



V: cortante en la base

El cálculo de la fuerza sísmica contempla la totalidad del peso del nivel en donde se está ejerciendo la fuerza. Los valores que se obtuvieron se presentan en el Tabla 6, a continuación:

**Tabla 5: Fuerza de sismo por nivel**

Nivel	CP (kN)	CT (kN)	$\Sigma$ CP+CT (kN)	Fuerza Sísmica (kN)
1	327,64	1026,19	1353,83	77,82
2	384,07	945,17	1329,24	222,68

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### 4.3.4. Cargas de viento

Para el diseño se requirió un análisis de las fuerzas del viento. Estas afectan de dos modos la estructura: del lado de barlovento (presión) como referencia al lado de la estructura que está siendo expuesta directamente a la acción del viento; y de sotavento (succión), en referencia al lado contrario de la estructura que está recibiendo dichas fuerzas. Este cálculo se realizó según el Reglamento de Construcciones de Costa Rica (Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, 1983)

Las presiones que se utilizaron para conocer las cargas de viento sobre la estructura, van de acuerdo con la altura de la edificación. Teniendo en cuenta que la altura máxima del edificio es de 8,80 m, y que la estructura está ubicada en una zona abierta, se tomaron los siguientes valores de presiones

**Tabla 6: Presiones sobre la edificación, según su altura**

Altura (m)	kN/m <sup>2</sup>
0	0.69
10	1,03

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

El cálculo final de las presiones finales de la estructura, se realizó bajo las siguientes fórmulas

$$C(\text{pared}) = 0,8 * \text{presión de viento}(5)$$

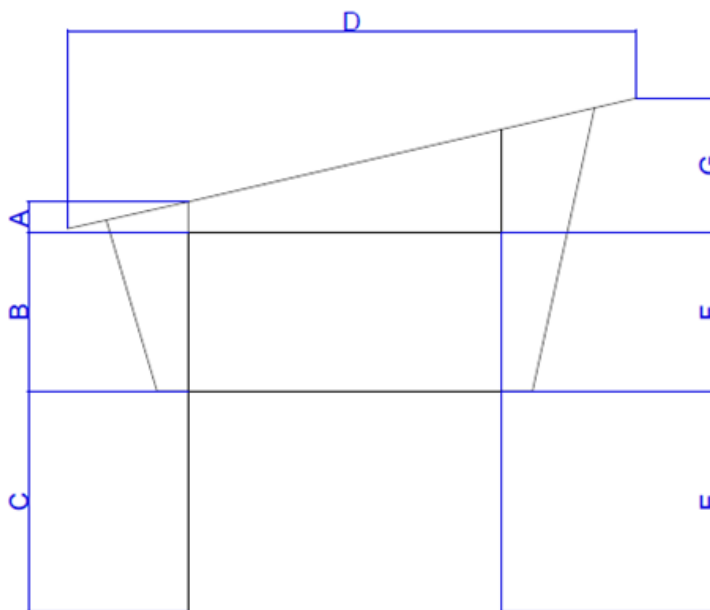
$$C(\text{pared}) = -0,4 * \text{presión del viento}(6)$$

$$C(\text{techo}) = 1,2\text{sen}(\alpha) - 0,4 * \text{presión del viento}(7)$$

Donde C es la presión final.

Como la edificación presenta una estructura irregular en la fachada, se debió separar la estructura en varios segmentos, para así, obtener los esfuerzos a los que la estructura, está siendo expuesta. Así se muestra en la Figura 11.

**Figura 11: Segmentación de la estructura**



**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Para obtener los siguientes valores, se tomando en cuenta el ángulo de inclinación de "B"  $\alpha = 123^\circ$ , de "D"  $\alpha = 12^\circ$  y de "F"  $\alpha = 37^\circ$ . Así se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 7: Presiones obtenidas**

Segmentos	Presión (kn/m <sup>2</sup> )	Tipo de esfuerzo
PA-B	0,60	COMPRESIÓN
PC	0,64	COMPRESIÓN
PD	0,25	COMPRESIÓN
PF-G	0,40	SUCCIÓN
PE	0,32	SUCCIÓN

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Posteriormente se realizó, de acuerdo con las dimensiones y alturas totales de cada segmento, el análisis final de las presiones a las que se está viendo afectada la estructura. Este cálculo se muestra a continuación en la Tabla 9. Asimismo, en la Tabla 10, se presentan las presiones finales.

**Tabla 8: Dimensiones de los segmentos**

Segmentos	Dimensiones (m)
A	0,80
B	3,10
C	3,50
D	9,45
E	3,50
F	3,10
G	2,20

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

**Tabla 9: Presiones finales**

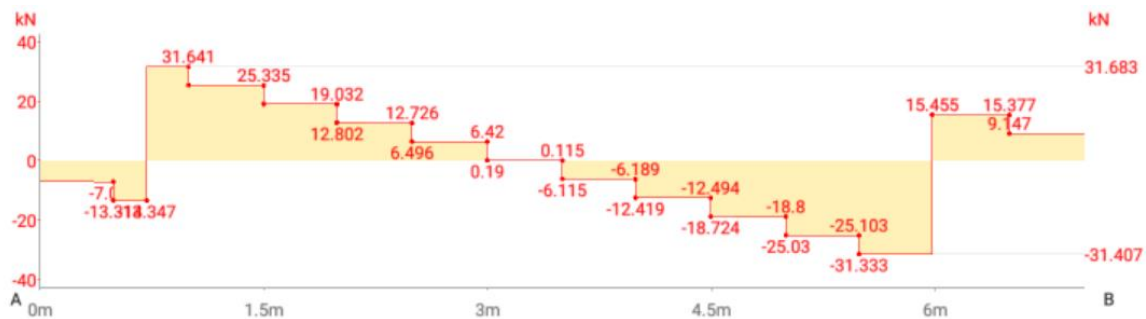
Segmentos	Presiones (kN)	Total (kN)
Pared frente al viento PA-B	67,67	129,77
Pared frente al viento PC	62,10	
Techo	14,67	14,67
Pared Fondo PF-G	57,67	88,72
Pared Fondo PE	31,05	

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### 4.4. Diseño del elemento tipo viga

En las figuras 12 y 13, se presentan los esfuerzos finales, para el diseño del elemento tipo viga.

Figura 12: Diagrama de cortante



Fuente: ForceEffect, programa de cálculo de fuerzas (2016).

Figura 13: Diagrama de momento



Fuente: ForceEffect, programa de cálculo de fuerzas (2016).

##### 4.4.1. Diseño a flexión

De acuerdo con Curbelo (2011), se debe de cumplir la siguiente relación:

$$Fb' \geq Fb \quad (8)$$

Donde:

$Fb'$ : Esfuerzo máximo a flexión resistente del elemento

$F_b$ : Esfuerzo máximo a flexión de las cargas originadas

Para el cálculo de  $F_b'$ , según Tuk (2010) se especifica que, dicho valor, debe ser obtenido mediante la multiplicación simultánea de los siguientes términos, como se ejemplifica en la siguiente fórmula:

$$F_b' = F_b C_f C_h C_i C_{sr} C_t \quad (9)$$

Donde:

$F_b$ : Esfuerzo a flexión paralelo al grano, a 18% de humedad

$C_f$ : Factor de forma

$C_h$ : Factor de humedad

$C_i$ : Factor de esbeltez de viga

$C_{sr}$ : Factor de sistema repetitivo

$C_t$ : Factor de duración de carga

Teniendo como base de conocimiento, los anteriores factores, según la selección del elemento, se procedió al análisis y a la elección de los valores representados en la Tabla 11.

**Tabla 10: Factores de diseño a flexión**

Factores	Valor	Fuente
$F_b$	0,88 kN/cm <sup>2</sup>	T. Juan (2010), cuadro 7.1
$C_f$	1,40	T. Juan (2010), pag. 113
$C_h$	0,86	T. Juan (2010), cuadro 7.4
$C_i$	1,00	T. Juan (2010), pag. 115
$C_{sr}$	1,15	T. Juan (2010), pag. 107
$C_t$	0,90	T. Juan (2010), cuadro 7.6

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Los factores de diseño que se seleccionaron, dependen de la geometría del elemento, condiciones de carga, de humedad, tipo de método utilizado de diseño y el tipo de madera a

utilizar. Como en este caso, se trabajó con madera laminada, a partir de ese dato, se seleccionó cada uno de los factores, tomando en cuenta, las variantes que anteriormente se mencionaron.

Posteriormente, se realizó el cálculo del momento máximo, al que está siendo ejercido el elemento. Esto, para obtener el valor de  $Fb$  y así realizar la relación de esfuerzos:

$$Fb = \frac{M}{S}(10)$$

Donde:

$M$ : momento máximo

$S$ : factor de forma

En la Tabla 12, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis.

**Tabla 11: Resumen de resultados, para el diseño de flexión de la viga**

$Fb`$ (kN/m <sup>2</sup> )	10 998,41
$M$ (kN-m)	122,01
$Fb$ (kN/m <sup>2</sup> )	32,30

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### 4.4.2. Diseño a cortante

De acuerdo con Curbello (2011), se debe de cumplir la siguiente relación:

$$Fv' \geq Fv \quad (11)$$

Donde:

$Fv`$ : Esfuerzo máximo resistente a cortante del elemento

$Fv$ : Esfuerzo máximo a cortante de las cargas originadas

Para el cálculo de  $Fv'$ , según Tuk (2010) y (Durán, 2010), especifican que dicho valor debe ser obtenido mediante la multiplicación simultánea de los siguientes términos, como se ejemplifica en la siguiente fórmula:

$$Fv' = F_v C_f C_h C_i C_{sr} C_t \quad (12)$$

Donde:

$F_v$ : Esfuerzo a flexión paralelo al grano, a 18% de humedad

$C_f$ : Factor de forma

$C_h$ : Factor de humedad

$C_i$ : Factor de esbeltez de viga

$C_{sr}$ : Factor de sistema repetitivo

$C_t$ : Factor de duración de carga

Teniendo como base de conocimiento los anteriores factores, según la selección del elemento, se procedió al análisis y a la elección de dichos valores, representados en la Tabla 13.

**Tabla 12: Factores de diseño a cortante**

Factores	Valor	Fuente
$F_b$	0,88 kN/cm <sup>2</sup>	Tuk (2010), cuadro 7.1
$C_f$	1,40	Tuk (2010), pag. 113
$C_h$	0,86	Tuk (2010), cuadro 7.4
$C_i$	1,00	Tuk (2010), pag. 115
$C_{sr}$	1,15	Tuk (2010), pag. 107
$C_t$	0,90	Tuk (2010), cuadro 7.6

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Los factores de diseño que se seleccionaron, como también se menciona para el diseño a flexión, dependen de la geometría del elemento, condiciones de carga, de humedad, tipo de método utilizado de diseño y el tipo de madera por utilizar. Como en este caso, se trabajó con

madera laminada, a partir de ese dato, se seleccionó cada uno de los factores, tomando en cuenta las variantes que anteriormente se mencionaron.

Posteriormente, se realizó el cálculo del cortante máximo, al que está siendo ejercido el elemento. Esto para, lograr obtener el valor de  $Fv$  y así realizar la relación de esfuerzos.

$$Fv = \frac{3Vu}{2db} \quad (13)$$

Donde:

$v$ : Cortante máximo

$d$ : Peralte del elemento

$b$ : Base del elemento

En la Tabla 14, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis.

**Tabla 13: Resumen de resultados, para el diseño a cortante de la viga.**

$Fv$ (kN/m <sup>2</sup> )	2 664,34
$V$ (kN)	100,05
$Fv$ (kN/m <sup>2</sup> )	2 317,92

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### 4.4.3. Comprobación de deformación

Para el cálculo de las deformaciones admisibles, se debió realizar el cálculo de la longitud total de la viga, tomando en cuenta, la luz libre y el peralte de ella. De acuerdo con la siguiente fórmula, se obtuvo dicha longitud.

$$Distancia\ total = luz\ libre + 2d \quad (14)$$

Donde, " $d$ " es el peralte de la viga



Subsiguientemente, se realizó el cálculo de las deformaciones admisibles y máximas del elemento. Esto, para poder realizar una relación, la cual es representada a continuación.

$$\text{Deformación máxima del elemento} \leq \text{Deformación admisible} \quad (15)$$

Las deformaciones admisibles se analizaron, tanto para la carga temporal, como permanente, usando las siguientes fórmulas:

$$\text{Deformación admisible CT} = \frac{\text{Distancia total}}{180} \quad (16)$$

$$\text{Deformación admisible CP + CT} = \frac{\text{Distancia total}}{120} \quad (17)$$

Donde "L", es la distancia total, la cual se obtuvo anteriormente.

Posteriormente, se efectuó el cálculo de las deformaciones máximas, con lo cual se obtuvo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Deformación máxima} = \frac{5W_{CT}L^4}{384EI} \quad (18)$$

Donde:

$W_{CT}$ : Valor de la carga temporal que se ejerce en el elemento

$L$ : Valor de la distancia total obtenida anteriormente

$E$ : Módulo de elasticidad del material

$I$ : Inercia del elemento.

Para el cálculo de las deformaciones máximas para CP+CT, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Deformación máxima} = \frac{5W_{CT+CT}L^4}{384EI} \quad (19)$$

Donde:

$W_{CP+CT}$ : valor de la carga permanente, más la carga temporal que se ejerce en el elemento:

$L$ : Valor de la distancia total obtenida anteriormente

$E$ : Módulo de elasticidad del material

$I$ : Inercia del elemento

En la Tabla 15 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis.

**Tabla 14: Resumen de resultados para la comprobación de deformación de la viga**

Luz lib + 2d (m)	0,08
Ctdeformación (m)	0,04
CP+Ctdeformación (m)	0,06
Deformación Adm. CT (m)	0,0001
Deformación Adm. CP+CT (m)	0,0001

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### 4.4.4. Comprobación por aplastamiento

De acuerdo con las especificaciones estructurales de la madera laminada, para la comprobación del aplastamiento, se realizó el cálculo de  $Fp'$ . Se tiene en cuenta la siguiente fórmula:

$$Fp' = F_p C_h C_t C_i \quad (20)$$

Donde:

$F_p$ : Esfuerzo permisible de la madera

$C_h$ : Factor de humedad

$C_i$ : Factor de esbeltez de viga

$C_t$ : Factor de duración de carga.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a la selección de los factores de diseño, para la comprobación por aplastamiento, lo cuales, se representan a continuación en la Tabla 16.

**Tabla 15: Factores de comprobación por aplastamiento**

Factores	Valor	Fuente
$F_p$	0,23 kN/cm <sup>2</sup>	Maderotek
$C_h$	0,75	Tuk (2010), cuadro 7.4
$C_i$	1,00	Tuk (2010), pag. 115
$C_t$	0,90	Tuk (2010), cuadro 7.6

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Para la longitud de apoyo final del elemento en la columna, se debió realizar el ejercicio matemático, teniendo en cuenta el cortante máximo de diseño, así como el  $F_p$ , obtenido anteriormente. El resultado será el área necesaria de apoyo del elemento:

$$A = \frac{N}{F_p} \quad (21)$$

Donde:

$A$ : Área necesaria de apoyo del elemento en la columna

$N$ : Cortante máximo de diseño

$F_p$ : Esfuerzo permisible del elemento

Culminando con la comprobación por aplastamiento, se prosiguió con el análisis final, para obtener la longitud de apoyo necesaria del elemento, en la columna. Para este caso, se realizó la siguiente operación matemática:

$$\text{Longitud de apoyo} = \frac{A}{d} \quad (22)$$

Donde:

$A$ : Área necesaria de apoyo del elemento en la columna

$d$ : Peralte del elemento viga

En la Tabla 17 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis.

**Tabla 16: Resumen de resultados para la comprobación por aplastamiento de la viga**

Fp' (kN/m <sup>2</sup> )	1 419,21
N (kN)	100,05
A (m <sup>2</sup> )	0,07
Long. de apoyo (m)	0,21

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

#### **4.5. Diseño del elemento tipo columna**

Para el diseño de la columna, se debió realizar la comprobación de esbeltez. Esta comprobación, se realizó con la siguiente fórmula y relación:

$$\lambda = \frac{L}{d} \quad (23)$$

$$\lambda < 50 \quad (24)$$

Donde:

$\lambda$ : Parámetro de esbeltez de columnas

$L$ : Altura del elemento

$d$ : Peralte del elemento

Siguiendo con la normativa de diseño de Tuk (2010), se debió realizar un análisis para la selección de los factores de reducción, los cuales, de acuerdo con su geometría, generaron los siguientes datos, representados en la Tabla 18.

**Tabla 17: Factores de diseño de columna**

Factores	Valor	Fuente
$F_c$	0,24 kN/cm <sup>2</sup>	Tuk (2010), cuadro 7.1
$C_f$	1,40	Tuk (2010), pag. 113
$C_h$	0,67	Tuk (2010), cuadro 7.4
$C_i$	1,00	Tuk (2010), pag. 115
$C_t$	0,90	Tuk (2010), cuadro 7.6

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

La capacidad admisible de esfuerzos a compresión de un elemento, está dada por la multiplicación de los factores de reducción, como también por el valor de diseño de la especie específica de madera. En este caso, madera laminada: pino radiata. Cabe destacar, que el factor de reducción  $C_d$ , no se tomó en cuenta, por la existencia de una restricción, la cual explica que si el elemento es menor a los 30 cm, no se utilizará dicho factor:

$$F_c^* = F_c C_f C_h C_i C_t \quad (25)$$

Donde:

$F_c^*$ : Capacidad admisible de esfuerzo a compresión de un elemento

$F_c$ : Capacidad admisible de esfuerzo a compresión de la madera

$C_h$ : Factor de humedad

$C_f$ : Factor de forma

$C_i$ : Factor de esbeltez de viga

$C_t$ : Factor de duración de carga

Para el diseño de una columna, se debe de conocer el coeficiente de estabilidad de la esta. En este caso, se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$C_p = 1 + \frac{F_{ce}/F_c^*}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1+F_{ce}/F_c^*}{2c}\right)^2 - \frac{F_{ce}/F_c^*}{c}} \quad (26)$$

Donde:

$C_p$ : Coeficiente de estabilidad en columnas

$F_{ce}$ : Esfuerzo crítico de pandeo para miembros a compresión

$F_c$  \*: Capacidad admisible de esfuerzo a compresión de un elemento

$C$ : Constante en esfuerzo radial

$$F_{ce} = \frac{0,822E_{min}}{\lambda}(27)$$

$$C = 0,88 \quad (28)$$

Donde:

$E_{min}$ : Módulo de elasticidad mínimo longitudinal

Para poder calcular la fuerza axial de compresión paralela, la cual, debe ser menor que la carga máxima que trasmite la viga en la columna, se realizó el cálculo del área neta de la columna, la cual es el área total del elemento, así como la obtención del esfuerzo admisible a compresión paralela, modificado:

$$P_a = F_c' A_n(29)$$

Donde:

$F_c'$ : Esfuerzo admisible a compresión paralela, modificado

$A_n$ : Área neta de la columna

$$F_c' = F_c * C_p \quad (30)$$

$$A_n = b * d(31)$$

Donde:

$F_c$  \*: Capacidad admisible de esfuerzo a compresión de un elemento

$C_p$ : Coeficiente de estabilidad en columnas

$b$ : base de la columna

$d$ : peralte de la columna

En la Tabla 19, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis:

**Tabla 18: Resumen de resultados del diseño de la columna**

Fc (kN/m <sup>2</sup> )	1 713, 70
Emin (kN/m <sup>2</sup> )	3 224 132,32
Cp	0,99
Pa (kN/m <sup>2</sup> )	110,77

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

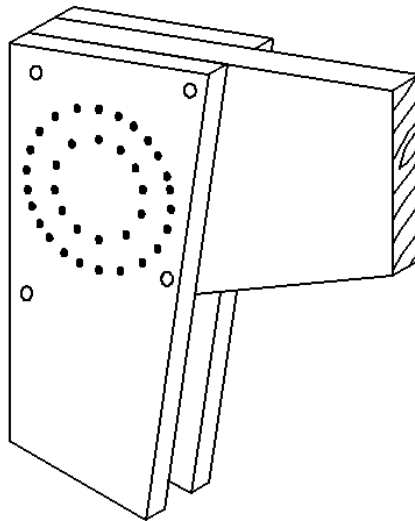
#### **4.6. Diseño de conexiones sismorresistente**

De acuerdo con el CSCR-2010, existen varios tipos de conexiones para el uso de la madera, entre las cuales se tienen las conexiones semirrígidas, las cuales se utilizaron para el presente trabajo.

Según el CSCR-2010 (Capítulo 11): “Las conexiones *semirrígidas* son aquellas conexiones que son capaces de transmitir fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores entre elementos. Además, estas conexiones deben deformarse después de alcanzar su capacidad elástica (ejemplo: conexiones con pernos o clavijas)”.

En la Figura 12 se muestra la conexión semirrígida que se utilizó para la estructura:

**Figura 14: Viga-Columna en "L" o "T" o cualquier ángulo**



**Fuente:** Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2010)

Se debe de tomar en cuenta que, para dicho diseño, se utilizaron pernos de acero dúctil A307, con diámetro de 9,5 mm.

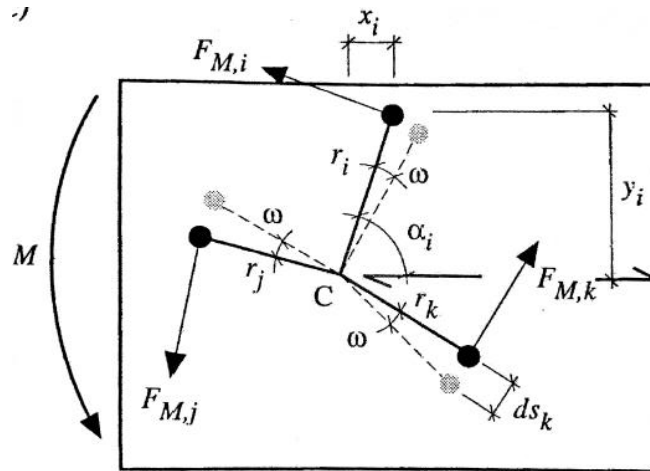
#### **4.6.1. Consideraciones para el diseño de la conexión sismorresistente**

De seguido se presentan algunas consideraciones para el diseño de la conexión sismorresistente:

Según Chacón (citado por Rodríguez, 2010), cuando se trabaja con conexiones, específicamente con las configuraciones circulares, los elementos actúan sobre ellas y se transmiten a cada perno como una fuerza cortante, como se muestra en la Figura 13.



**Figura 15: Transmisión del momento a través de los pernos en la conexión**



**Fuente: Rodríguez, 2010**

De acuerdo con la teoría, las fuerzas en los elementos de unión, en este caso los pernos, son constantes. Teniendo en cuenta que se trabajó con una conexión, con configuración circular, se debe tener especial cuidado en el patrón más alejado del punto de rotación, ya que es el momento más crítico de la conexión.

Para conocer el número de pernos en el sistema y espaciamientos mínimos, se debió realizar el cálculo, de acuerdo con la geometría de las secciones de los elementos. Para dichos espaciamientos se tienen requerimientos mínimos, los cuales se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 19: Requerimientos de espaciamientos mínimos**

Requerimientos	Valor para D = 9,5 mm
Espaciamiento mínimo del borde del elemento: 4D	38 mm
Espaciamiento mínimo entre patrones: 5D	47,5 mm
Espaciamiento mínimo dentre pernos en el círculo: 6D	57 mm

**Fuente: Rodríguez, 2010**

A partir de la Tabla 20, se tienen como resultado, los siguientes espaciamientos y cantidad de pernos en la conexión, como se aprecia en la Tabla 21.

**Tabla 20: Cantidad de pernos, a partir de sus espaciamentos.**

Patrón	ri (mm)	ni
1	137	16
2	90	10
3	43	5

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

Para el cumplimiento del diseño de la conexión, se debe de cumplir la siguiente relación:

$$\lambda\phi_z Z'_I \geq Z_{u,i} \quad (32)$$

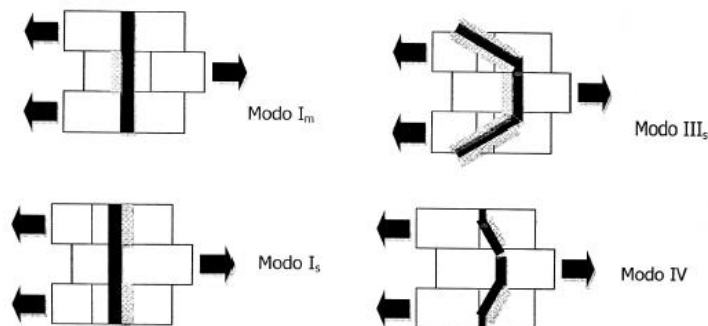
Donde:

$Z'_I$ : Capacidad de la conexión ara el modo de falla i

$\phi_z$ : Factor de reducción de la resistencia para conexiones

Cuando se habla del cortante, explícitamente, se debe tener especial cuidado en los modos de fallas, los cuales se tiene la fluencia de los pernos y aplastamiento del material; en este caso, de la madera. Los modos de falla posibles para conexiones apernadas, se presentan en la siguiente Figura 16.

**Figura 16: Posibles modos de falla para una conexión apernada en cortante doble**



**Fuente:** Rodríguez, 2010

Se tienen así, las ecuaciones para el cálculo de cada modo de falla:

$$Z_{Im} = D l_m F_{em} \quad (33)$$

$$Z_{Is} = 2 D l_s F_{es} \quad (34)$$

$$Z_{III s} = \frac{2 k_3 D l_s F_{em}}{(2 + R_c)} \quad (35)$$

$$Z_{iv} = 2 D^2 \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}} \quad (36)$$

Donde:

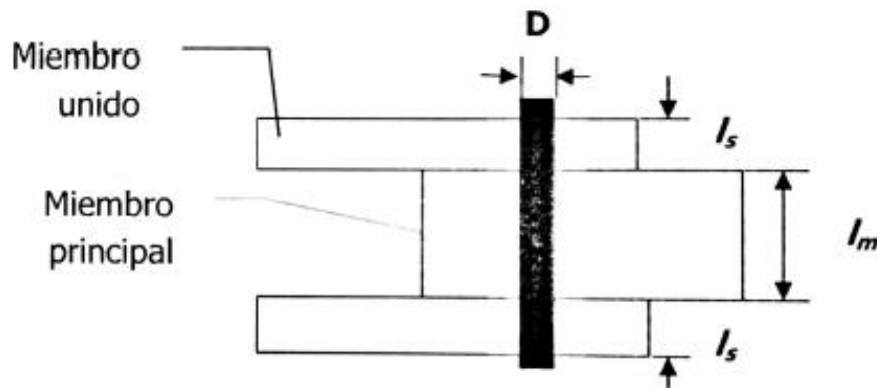
$D$ ,  $l_m$  y  $l_s$  se encuentran en la figura 15

$F_{yb}$ : Esfuerzo de fluencia en flexión de los pernos

$F_{em}$ : Esfuerzo de aplastamiento en la madera para el miembro principal de la conexión

$F_{es}$ : Esfuerzo de aplastamiento en la madera para el miembro unido en la conexión (véase figura 17)

Figura 17: Parámetros  $D$ ,  $l_s$  y  $l_m$ .



Fuente: Rodríguez, 2010

Por último, se tiene la comprobación de cortante. Esta debe de cumplir la siguiente relación:

$$F_W \leq V_{col}(37)$$

Teniendo que:

$$F_W = V_M \frac{V_u}{2} (38)$$

Donde:

$V_M$ : Cortante máximo

$V_u$ : Cortante último

En la Tabla 22, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis.

**Tabla 21: Resumen de resultados obtenidos para la conexión**

Fvcol (kN)	3,52
Fncol (kN)	2,11
Zucol (kN)	9,62
Fvvinga (kN)	2,11
Fnviga (kN)	3,52
Zuviga (kN)	15,42
$\theta_{1col}$ (grados)	77,31
$\theta_{2col}$ (grados)	12,69
Fes $\theta$ (Mpa)	19,93
Fem $\theta$ (Mpa)	31,43
k $\theta_{col}$	1,21
Zim (kN)	80,61
Zis (kN)	51,13
k3 (kN)	0,88
ZIII <sub>s</sub> (kN)	19,79
ZIV (kN)	13,50
Z (kN)	16,80
Z* $\theta_z$ (kN)	10,92
$\theta_{2vig}$ (grados)	71,94
$\theta_{1vig}$ (grados)	18,06
Fes $\theta$ (Mpa)	30,50
Fem $\theta$ (Mpa)	20,33
k $\theta_{vig}$	1,05
ZIm (kN)	52,14
Zis (kN)	78,22
k3 (kN)	1,30
ZIII <sub>s</sub> (kN)	25,45
ZIV (kN)	13,50
Z (kN)	25,00
Z* $\theta_z$ (kN)	16,25
Vm (kN)	50,88
Fw (kN)	35,03
Vcol (kN)	55,13
Vvig (kN)	55,13

**Fuente:** Elaboración propia (2016).

## 5. Conclusiones

Desde un inicio de esta investigación, se ha direccionado al factor social que presenta este documento. Una de las principales características de dicho proyecto, es la combinación de este con la ingeniería civil. La propuesta que se está brindando en este proyecto, busca beneficiar, tanto al lector, con los conocimientos teóricos-prácticos de diseño con madera estructural, como a la organización principal que tiene a cargo dicho proyecto, y en este caso, a la niñez y juventud de la comunidad de San Jorge de los Chiles, Alajuela.

De acuerdo con lo propuesto a un inicio de este escrito, se cumplieron a cabalidad los objetivos del presente proyecto. El trabajo da como resultado los dimensionamientos de los elementos estructurales de la edificación. Esto, gracias a la investigación que se pudo generar para la elaboración de los diseños necesarios.

Dado que los diseños se iniciaron desde cero, se le está brindando al lector una base fundamental de diseño mediante la AISC-ASD (diseño por esfuerzos permisibles), con el uso de la madera. Cabe destacar que el diseño que se presentó en este proyecto, se puede usar para cualquier otro tipo de madera, no específicamente madera laminada. Se debe prestar atención a los factores de carga o de resistencia de las diferentes especies de maderas estructurales.

Se concluye que, en el ámbito de diseño estructural, en lo que respecta al uso de la madera como medio estructural y a lineamientos nacionales, existe una deficiencia de normas y leyes que regulen esta práctica. Para efectos de este documento, se generó bajo normas colombianas, las cuales, a la hora de la realización del diseño, se adaptaron a las condiciones sobre del diseño estructural con madera.

Se espera que el presente proyecto, sea el inicio de una línea de investigación, para fortalecer el uso de la madera, como agente estructural y así sentar una base sólida para el futuro de la construcción en madera.

## 6. Recomendaciones

De acuerdo con los diseños que se realizaron, se recomienda para efectos constructivos de la estructura CADEIA, la uniformidad de la estructura, a fin de facilitar el montaje y otros factores como el tiempo de construcción. Los usos de elementos continuos pueden bien ser un aumento en el costo de la estructura. Se puede lograr un beneficio en tiempo y manejo en el montaje de la estructura principal, que, a su vez, genera un beneficio económico por tiempos de construcción, más reducidos. Los elementos deberán ser de 13.50 x 25.00 cm tanto para las columnas, como para las vigas.

Como otro punto importante, para efecto de vigas de amarre, se pueden usar elementos 4.00 x 6.00 para la azotea, 6.00 x 10.00 cm para el segundo nivel, y para el primer nivel, vigas de 9.00 x 15.00 cm. Estas vigas no presentan mayores esfuerzos ocasionados por la edificación, ya que las cargas se distribuyeron de manera uniforme en las vigas de carga.

## Referencias bibliográficas

- Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Cordero, L. L. (1970). *Madera laminada encolada*. San José, Costa Rica.
- Curbelo, I. B. (2011). *Madera estructural*. Colombia.
- Díaz-Rubio, M. (2001). *Enfermedades por reflujo gastroesofágico*. España: ARÁM-Publicaciones Médicas.
- Durán, J. T. (1979). *Madera laminada encolada*. San José, Costa Rica.
- Durán, J. T. (2010). *Madera: Diseño y construcción*. San José: Ediciones Sanabria, S.A.
- EL MUNDO. (2014).  
<http://www.elmundo.es/solidaridad/2014/07/17/53c74f45e2704e7b038b456b.html>
- Fundación Resplandecer (2015).  
<http://www.resplandecer.com/>
- Inspiration (2016). *Inspiration: Por un mundo libre de pobreza*. <https://www.inspiration.org/justicia-economica/desigualdad-social/causas-de-la-desigualdad-social>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2012). *Ccipacdh*.  
[http://www.cipacdh.org/pdf/Resultados\\_Generales\\_Censo\\_2011.pdf](http://www.cipacdh.org/pdf/Resultados_Generales_Censo_2011.pdf)
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (1983). Reglamento de Construcciones.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (1983). *Trámites de Construcción*.  
<http://www.tramitesconstruccion.go.cr/docs/reglamento%20construcciones.pdf>
- Jiménez, A. A. (2009). *Comportamiento estructural de marcos de madera laminada con uniones momento-resistencia - columna (ductilidad global)*. San José, Costa Rica.
- LA NACIÓN. (2013).  
[http://www.nacion.com/nacional/Desigualdad-tica-altas-Latinoamerica\\_0\\_1378262170.html](http://www.nacion.com/nacional/Desigualdad-tica-altas-Latinoamerica_0_1378262170.html).
- Ministerio de Hacienda (2016). *Presupuesto*.  
[http://www.hacienda.go.cr/docs/55e4b154eb2f4\\_ProyLey210\\_2016.pdf](http://www.hacienda.go.cr/docs/55e4b154eb2f4_ProyLey210_2016.pdf)
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2016). *MIDEPLAN*.  
<https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/ab677d6c-fafd-4128-86df-a6aa04ab70ef/IDS%202013%20resumen.pdf?guest=true>



Organización de las Naciones Unidad para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2007). *Universidad Especializada de las Américas*.

<http://www.udelas.ac.pa/biblioteca/librospdf/inversion-educativaenlcaribe.pdf>

Ramírez, F. V. (2009). *Comportamiento estructural de conexiones sismorresistentes de elementos de madera laminada en sistema viga - columna (ductilidad local)*. San José, Costa Rica.

Rodríguez, A. (2016). *Santa Ana es el cantón con el mayor desarrollo humano, Los Chiles el último*.  
[http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/Santa-Ana-desarrollo-humano-chiles\\_0\\_985101483.html](http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/Santa-Ana-desarrollo-humano-chiles_0_985101483.html)

Rodríguez, M. J. (2010). *Comportamiento estructural de conexiones con configuración circular en elementos de madera en sistema viga - columna*. San José, Costa Rica.

Solís, J. E. (2010). *Caracterización de propiedades de aplastamiento y esfuerzos a flexión, necesarias para el diseño de conexiones de elementos de madera con materiales existentes en el mercado costarricense*. San José, Costa Rica.

Ureña, A. G. (2013). *Comportamiento estructural de conexiones semirrígidas en marcos sismorresistente de madera laminada*. San José, Costa Rica.

## Anexo 1: Determinación de cargas para el análisis estructural del marco principal de la estructura

### Cargas de sismo

#### Datos generales

Tipo de suelo = S3

SR = 2.00

Zona sísmica = II

T = 0.30

A<sub>ef</sub> = 0.28 g

FED = 1,118

I = D (Edificaciones de ocupación normal)

Ductilidad = Moderada y regular

D = 1.00

μ = 3.00

#### Coefficiente sísmico

$$C = \frac{a_{ef} FED}{SR} = 0.16$$

#### Consideraciones para el cálculo de las cargas permanentes

Área de techo: 290.00 m<sup>2</sup>

Área de cierres: 687.00m<sup>2</sup>

Área de construcción: 401.05 m<sup>2</sup>

mL de elementos: 630 mL

#### Cargas permanentes

Instalaciones eléctricas: 0.30  $\frac{kN}{m^2}$

Estructura de techo: 0.40  $\frac{kN}{m^2}$

#### Cargas temporales

CT = 4.91  $\frac{kN}{m^2}$

$$\text{Cierres:} \quad 0.40 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Estructura (elementos):} \quad 4.91 \frac{kN}{m^3}$$

### **Cargas permanentes totales**

$$\text{CP\_Inst. eléctricas} = \text{Instalaciones eléctricas} * \text{Área de Construcción} = 120.62 \text{ kN}$$

$$\text{CP\_Estruc. de techo} = \text{Estructura de tTecho} * \text{Área de tTechos} = 116.00 \text{ kN}$$

$$\text{CP\_Cierres} = \text{Cierres} * \text{Área de cierres} = 274.80 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Cp\_Estruc. (elementos)} &= \text{Estructura (elementos)} * \text{Área de elementos máximos} * \text{mL de} \\ \text{Elementos} &= 200.29 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Sigma CP = 711.71 \text{ kN}$$

### **Cargas permanentes por nivel**

$$\text{CPpiso1} = (\text{CP\_Inst. eEléctricas} + \text{CP\_Estruc. de techo} + \text{CP\_ Cierres} + \text{CP\_Estruc. (elementos)}) * \% \text{ del Área de nivel 1} = 327.64 \text{ kN}$$

$$\text{CPpiso2} = (\text{CP\_Inst. eléctricas} + \text{CP\_ Cierres} + \text{CP\_Estruc. (Elementos)}) * \% \text{ del Área de nivel 2} = 384,07 \text{ kN}$$

### **Cargas temporales por nivel**

$$\text{CTpiso1} = \text{CT} * \text{Área construcción nivel 1} = 1026.19 \text{ kN}$$

$$\text{CTpiso2} = \text{CT} * \text{Área construcción nivel 2} = 945.17 \text{ kN}$$

### **Peso sísmico por nivel**

$$\text{CT+CPpiso1} = \text{CPpiso2} + \text{CTpiso2} = 1353.83 \text{ kN}$$

$$\text{CT+CPpiso2} = \text{CPpiso2} + \text{CTpiso2} = 1329.24 \text{ kN}$$

### **Cortante en la base**

$$V = (CT+CPpiso1 + CT+CPpiso2) * C = 449.49 \text{ kN}$$

### **Fuerza sísmica por nivel**

$$F1 = V \frac{(CT+CPpiso1) h_{nivel 1}}{(CT+CPtotal) h_{max}} = 77.82 \text{ kN}$$

$$F2 = V \frac{(CT+CPpiso2) h_{nivel 2}}{(CT+CPtotal) h_{max}} = 222.68 \text{ kN}$$

## **Cargas de viento**

### **Datos generales**

Del Reglamento de Construcciones, se tiene que:

Altura (m)	kN/m <sup>2</sup>
0	0.69
10	1,03

Interpolación a diferentes alturas de la estructura:

Altura (m)	kN/m <sup>2</sup>
3.50	0.91
7,40	0.95
8.80	0.99

### **Análisis de cargas**

$$C(\text{pared}) = 0,8 * \text{presión de viento}$$

$$PA-B = 0.6 \frac{kN}{m^2}$$

$$PC = 0.64 \frac{kN}{m^2}$$

$$C(\text{pared}) = -0,4 * \text{presión del viento}$$

$$PD = 0.25 \frac{kN}{m^2}$$

$$C(\text{techo}) = 1,2\text{sen}(\alpha) - 0,4 * \text{presión del viento}$$

$$PF = 0.40 \frac{kN}{m^2}$$

$$PE = 0.32 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Pared frente al viento (PA-B)} = PA-B * \text{Longitud total de estructura (ancho)} * (\text{altura del elemento}) = 67.67kN$$

$$\text{Pared Frente al Viento (PC)} = PC * \text{Longitud total de estructura (ancho)} * (\text{altura del elemento}) = 62.10 kN$$

$$\text{Techo (PD)} = PD * \text{Longitud total de estructura (ancho)} * (\text{altura del elemento}) = 14.67kN$$

$$\text{Pared Fondo (PF-G)} = PF-G * \text{Longitud total de estructura (ancho)} * (\text{altura del elemento}) = 57.67 kN$$

$$\text{Pared frente al viento (PE)} = PE * \text{Longitud total de estructura (ancho)} * (\text{altura del elemento}) = 31.05kN$$

# Memoria de cálculo del diseño de elementos

## Diseño de elemento tipo viga de madera laminada de pino radiata

### 1) Datos generales

a) Geometría:

$$b = 0.185 \text{ m}$$

$$d = 0.35 \text{ m}$$

$$PEB = 4.90 \frac{kN}{m^2}$$

$$E = 8826000 \frac{kN}{m^2}$$

$$A = 0.06m^2$$

$$S = 3.77m^3$$

$$I = 6.60m^4$$

b) Generales:

$$\alpha \text{ techo} = 12^\circ$$

$$\text{Largueros @} = 0.80m$$

$$\text{Largueros} = 2.50 \text{ m}$$

$$\# \text{ de largueros} = 6.00 \text{ und}$$

$$L.viga = 5.00 \text{ m}$$

$$\text{Área tributaria} = 14 \text{ m}^2$$

$$CT = 4.91 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Peso entrepiso} = 1.22 \text{ kN}$$

c) Fuerzas de diseño para el elemento:

$$M_u = 122.02 \text{ kN} - m$$

$$V_u = 100.05 \text{ kN}$$

$$P_u = 100.05 \text{ kN}$$

### Carga permanente y carga temporal

$$CP_{viga} = PEB * b * d * L_{viga} = 0.32 \text{ kN}$$

$$CT_{viga} = \text{Área tributaria} * CT = 9.80 \text{ kN}$$

$$\text{Cargas totales} = CP_{viga} + CT_{viga} + \text{Peso entrepiso} = 11.34 \text{ kN}$$

## **2) Diseño a flexión**

$$Fb' = F_b C_f C_h C_i C_{sr} C_t = 10\,998.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$Fb = \frac{M}{S} = 122.02 \frac{kN}{m^2}$$

$$Fb' \geq Fb = \underline{\underline{\text{“CUMPLE”}}}$$

## **3) Diseño a cortante**

$$Fv' = F_v C_f C_h C_i C_{sr} C_t = 2\,664.34 \frac{kN}{m^2}$$

$$Fv = \frac{3Vu}{2db} = 2\,317.91 \frac{kN}{m^2}$$

$$Fv' \geq Fv = \underline{\underline{\text{“CUMPLE”}}}$$

## **4) Comprobación de deformación**

$$\text{Distancia total} = \text{luz libre} + 2d = 7.7 \text{ m}$$

$$\text{Deformación admisible CT} = \frac{\text{Distancia total}}{180} = 0.04 \text{ m}$$

$$\text{Deformación admisible CP} + \text{CT} = \frac{\text{Distancia total}}{120} = 0.06 \text{ m}$$

$$\text{Deformación máxima} = \frac{5W_{CT}L^4}{384EI} = 0.000054 \text{ m}$$

$$\text{Deformación máxima} = \frac{5W_{CT+CT}L^4}{384EI} = 0.000055 \text{ m}$$

$$\text{Deformación máxima del elemento} \leq \text{Deformación admisible} = \underline{\underline{\text{“CUMPLE”}}}$$

## **5) Comprobación de aplastamiento**

$$Fp' = F_p C_h C_t C_i = 1\,419.02 \frac{kN}{m^2}$$

$$A = \frac{Vu}{Fp} = 0.07 \text{ m}^2$$

*Longitud de apoyo* =  $\frac{A}{d}$  = 0.20 Type equation here.



## Diseño de elemento tipo columna de madera laminada de pino radiata

### 1) Datos generales

a) Geometría:

$$b = 0.185 \text{ m}$$

$$d = 0.35 \text{ m}$$

$$PEB = 4.90 \frac{kN}{m^2}$$

$$E = 8826000 \frac{kN}{m^2}$$

$$A = 0.06m^2$$

$$L = 3.50 \text{ m}$$

b) Fuerzas de diseño para el elemento:

$$Pu = 100.05 \text{ kN}$$

### 2) Comprobación de esbeltez:

$$\lambda = \frac{L}{d} = 10.05$$

$$\lambda < 50 = \underline{\text{“CUMPLE”}}$$

### 3) Diseño a compresión

$$F_c^* = F_c C_f C_h C_i C_t = 1713 \frac{kN}{m^2}$$

$$E_{min} = 0.3653E = 322.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$F_{ce} = \frac{0.822E_{min}}{\lambda} = 26.35 \frac{kN}{m^3}$$

$$C_p = 1 + \frac{F_{ce}/F_c^*}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1+F_{ce}/F_c^*}{2c}\right)^2 - \frac{F_{ce}/F_c^*}{c}} = 0.99$$

$$F_c' = F_c * C_p = 1\,710.67 \frac{kN}{m^2}$$

$$A_n = b * d = 0.06 m^2$$

$$P_a = F_c' A_n = 110.76 kN$$

## Diseño de conexión sismorresistente de madera laminada de pino radiata

### 1) Datos generales

a) Geometría:

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$b_{col} = 135 \text{ mm}$$

$$b_{vig} = 185 \text{ mm}$$

$$t_s = 185 \text{ mm}$$

$$t_m = 370 \text{ mm}$$

b) Diámetro y resistencia de los pernos

$$d = 9.5 \text{ mm}$$

$$F_{yb} = 688 \text{ MPa}$$

c) Fuerzas de Diseño para el elemento:

$$M_u = 12400 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$V_u = 31.7 \text{ kN}$$

$$P_u = 52.75 \text{ kN}$$

### 2) Número de pernos por fila

Espaciamiento mínimo en el borde  $4d$

$$r_1 = \left(\frac{h}{2}\right) - 4d = 87 \text{ mm}$$

$$r_2 = r_1 - 5d = 40 \text{ mm}$$

$$r_3 = r_2 - 5d = -8 \text{ mm}$$

Cantidad de pernos por fila

$$n_1 = \frac{2r_1}{6d} = 10 \text{ und}$$

$$n2 = \frac{2\pi r^2}{6d} = 5 \text{ und}$$

$$n3 = \frac{2\pi r^3}{6d} = -1 \text{ und}$$

Por lo tanto: 15 pernos (negativos no se toman en cuenta)

### 3) Fuerzas de los pernos

$$F_{Mmax} = \frac{r1}{n1*r1^2+n2*r2^2+n3*r3^2} * Mu = 12.90kN$$

En la columna:

$$F_{vcol} = \frac{Pu}{n} = 3.52kN$$

$$F_{Ncol} = \frac{Vu}{n} = 2.11kN$$

$$Z_{ucol} = \sqrt{(F_{Mmax} - F_{vcol})^2 + (F_{ncol})^2} = 9.62kN$$

En la viga:

$$F_{vvig} = \frac{Pu}{n} = 2.11kN$$

$$F_{Nvig} = \frac{Vu}{n} = 3.52kN$$

$$Z_{uvig} = \sqrt{(F_{Mmax} - F_{vvig})^2 + (F_{nvig})^2} = 15.42kN$$

### 4) Capacidad de los pernos (columna):

Ángulos entre las fuerzas y el grano:

$$\theta_{1col} = \text{atan} \left[ \frac{(F_{Mmax} - F_{vcol})}{F_{ncol}} \right] \frac{180}{\pi} = 77.31^\circ$$

$$\theta_{2col} = 90 - \theta_{1col} = 12.69^\circ$$

$$F_{es\theta} = \frac{F_e F_{eT}}{F_e \sin\left(\theta_{1col} \frac{180}{\pi}\right)^2 + F_{eT} \cos\left(\theta_{1col} \frac{180}{\pi}\right)^2} = 19.93MPa$$

$$F_{em\theta} = \frac{F_e F_e \tau}{F_e \sin\left(\theta_{2col} \frac{180}{\pi}\right)^2 + F_e \tau \cos\left(\theta_{2col} \frac{180}{\pi}\right)} = 31.43 \text{ MPa}$$

$$R_e = \frac{F_{em\theta}}{F_{es\theta}} = 1.58$$

$$k_{\theta col} = 1 + 0.25 * \left(\frac{\theta_{1col}}{90}\right) = 1.21$$

$$Z_{Im} = d * t_m \frac{F_{em\theta}}{1000} = 80.61 \text{ kN} \quad R_d = 4k_{\theta col}$$

$$Z_{Is} = 2d * t_s \frac{F_{es\theta}}{1000} = 51.13 \text{ kN} \quad R_d = 4k_{\theta col}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2+R_e)*d^2}{3F_{em\theta}*t_s^2}} = 0.88$$

$$Z_{IIIs} = \frac{2k_3*d*t_s*\frac{F_{em\theta}}{1000}}{(2+R_e)} = 19.79 \text{ kN} \quad R_d = 3.2k_{\theta col}$$

$$Z_{IV} = \frac{2d^2}{1000} * \sqrt{\frac{2F_{em\theta}F_{yb}}{3(1+R_e)}} = 13.50 \text{ kN} \quad R_d = 3.2k_{\theta col}$$

$$Z = \frac{Z_{IIIs}}{(3.2k_{\theta col})} * 3.3 = 16.80 \text{ kN}$$

Teniendo que  $\phi_z = 0.65$

$$Z_{ucol} \leq Z * \phi_z = \text{“CUMPLE”}$$

## 5) Capacidad de los pernos (viga)

$$\theta_{2vig} = \text{atan} \left[ \frac{(F_{Mmax} - F_{vvig})}{F_{nviga}} \right] \frac{180}{\pi} = 71.94^\circ$$

$$\theta_{1vig} = 90 - \theta_{2vig} = 18.06^\circ$$

$$F_{es\theta vig} = \frac{F_e F_e \tau}{F_e \sin\left(\theta_{1vig} \frac{180}{\pi}\right)^2 + F_e \tau \cos\left(\theta_{1vig} \frac{180}{\pi}\right)} = 30.50 \text{ MPa}$$

$$F_{em\theta vig} = \frac{F_e F_e \tau}{F_e \sin\left(\theta_{vig} \frac{180}{\pi}\right)^2 + F_e \tau \cos\left(\theta_{vig} \frac{180}{\pi}\right)} = 20.33 \text{ MPa}$$

$$R_{evig} = \frac{F_{em\theta vig}}{F_{es\theta vig}} = 0.67$$

$$k_{vig} = 1 + 0.25 * \left(\frac{\theta_{vig}}{90}\right) = 1.05$$

$$Z_{Imvig} = d * t_m \frac{F_{em\theta vig}}{1000} = 52.14kN$$

$$R_d = 4k_{\theta vig}$$

$$Z_{Isvig} = 2d * t_s \frac{F_{es\theta vig}}{1000} = 78.22kN$$

$$R_d = 4k_{\theta vig}$$

$$k_{3vig} = -1 + \sqrt{\frac{2(1+R_{evig})}{R_e vig} + \frac{2F_{yb}(2+R_{evig}) * d^2}{3F_{em\theta vig} * t_s^2}} = 1.30$$

$$Z_{IIIsvig} = \frac{2k_{3vig} * d * t_s * \frac{F_{em\theta vig}}{1000}}{(2+R_{evig})} = 25.45kN$$

$$R_d = 3.2k_{\theta vig}$$

$$Z_{IVvig} = \frac{2d^2}{1000} * \sqrt{\frac{2F_{em\theta vig} F_{yb}}{3(1+R_{evig})}} = 13.50 kN$$

$$R_d = 3.2k_{\theta vig}$$

$$Z_{vig} = \frac{Z_{IIIsvig}}{(3.2k_{\theta vig})} * 3.3 = 25.00kN$$

Teniendo que  $\phi_z = 0.65$

$$Z_{uvig} \leq Z_{vig} * \phi_z = \text{“CUMPLE”}$$

## 6) Revisión de cortante

$$V_m = \frac{M_u}{\pi} * \frac{n1*r1+n2*r2+n3*r3}{n1*r1^2+n2*r2^2+n3*r3^2} = 50.88kN$$

$$F_{vv} = V_m - \frac{V_u}{2} = 35.03kN$$

$$V_{col} = \frac{2}{3}h * b_{col} * \frac{F_v}{1000} = 55.13kN$$

$$V_{vig} = \frac{2}{3}h * b_{vig} * \frac{F_v}{1000} = 55.13kN$$

$$F_{vv} \leq V_{col} = \text{“CUMPLE”}$$

$$F_{vv} \leq V_{vig} = \text{“CUMPLE”}$$

## Anexo 2: Dimensionamiento de demás elementos estructurales

**Tabla A 1. Dimensionamiento de elementos tipo viga**

Ubicación	Dimensiones de elementos tipo viga (cm)
Larguero Azotea Centro	3,00 x 6,00
Viga Azotea Centro	4,00 x 8,00
Viga C Centro	6,00 x 10,00
Viga CA Cenro	13,50 x 25,00

**Tabla A 2. Dimensionamiento de elementos tipo viga**

Ubicación	Dimensiones de elementos tipo viga (cm)
Larguero Azotea Extremo	3,00 x 6,00
Viga Azotea Extremo	4,00 x 8,00
Viga C Extremo	6,00 x 10,00
Viga CA Extremo	9,00 x 15,00

**Tabla A 3. Dimensionamiento de elementos tipo columna**

Ubicación	Dimensiones de elementos tipo columna: dos elementos por columna (cm)
Columnas Azotea Centro	4,00 x 8,00
Columna C Centro	
C1	4,00 x 8,00
C2, C3	6,00 x 12,00
C4	4,00 x 8,00
Columna CA Centro	13,50 x 25,00

**Tabla A 4. Dimensionamiento de elementos tipo columna**

Ubicación	Dimensiones de elementos tipo columna: dos elementos por columna (cm)
Columnas Azotea Extremo	
C1	4,00 x 8,00
C2, C3	6,00 X 10,00
C4	4,00 x 8,00
Columna C Extremo	
C1	4,00 x 8,00
C2, C3	6,00 X 15,00
C4	4,00 x 8,00
Columnas CA Extremo	9,00 x 20,00

**Tabla A 5. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión Larguero Centro		
Patrón	ri (mm)	ni
1	2	1
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 6. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión Azotea Centro		
Patrón	ri (mm)	ni
1	2	1
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 7. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión C1,C4 Centro		
Patrón	ri (mm)	ni
1	12	2
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 8. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión C2,C3 Centro		
Patrón	ri (mm)	ni
1	22	3
2	0	0
3	0	0



**Tabla A 9. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión CA Centro		
Patrón	ri (mm)	ni
1	87	10
2	40	5
3	0	0

**Tabla A 10. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión Larguero Centro		
Patrón	ri (mm)	ni
1	2	1
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 11. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión C1,C4 Azotea Extremo		
Patrón	ri (mm)	ni
1	2	1
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 12. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión C2, C3 Azotea Extremo		
Patrón	ri (mm)	ni
1	12	2
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 13. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión C1, C4 Extremo		
Patrón	ri (mm)	ni
1	2	1
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 14. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión C2, C3 Extremo		
Patrón	ri (mm)	ni
1	37	5
2	0	0
3	0	0

**Tabla A 15. Cantidad de pernos por patrón en conexiones**

Conexión CA Extremo		
Patrón	ri (mm)	ni
1	62	7
2	14	2
3	0	0

# CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 25 de agosto de 2016

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título: Diseño de Marcos Estructurales en Madera Laminada, CADEIA, por parte del estudiante: Aisen Francisco Matus Güell, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Comité Asesor.

Suscribe cordialmente,



---

Ing. Olman Elizondo Esquivel

**CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE  
GRADUACIÓN**

Heredia, 25 de agosto de 2016

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título: Diseño de Marcos Estructurales en Madera Laminada, CADEIA, por parte del estudiante: Aisen Francisco Matus Güell, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Comité Asesor.

Suscribe cordialmente,



---

Ing. Andrés Zeledón Quirós

Curridabat, 19 de setiembre de 2016

Señores  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores:

Me permito informarles que he realizado la revisión filológica del trabajo titulado:  
*Diseño de marcos estructurales en madera laminada, CADEIA.*

Este documento constituye el proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, escrito por el sustentante Aisen Francisco Matus Güell.

He señalado las diversas correcciones de carácter lingüístico y estilístico hechas a este excelente trabajo, en el entendido de que algunas sugerencias quedan a criterio del sustentante.

Con gusto brindaré cualquier otra información o aclaración que requiera la Universidad.

Atentamente,



Lic. Jorge Mora López

Filólogo UCR

Carné 677 del COLYPRO