

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO

DISEÑO Y ANALISIS DINÁMICO LINEAL DE UNA ESTRUCTURA DE GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH CONSIDERANDO EL APORTE DE LAS PAREDES

Presentado por:

GARBAN CAVET, HOWER DANIEL
MARTELO SALAZAR, ANDRÉS AUGUSTO

Para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Tutor:

INGENIERO HERIBERTO ECHEZURIA

Caracas, Octubre 2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO

DISEÑO Y ANALISIS DINÁMICO LINEAL DE UNA ESTRUCTURA DE GUADUA
ANGUSTIFOLIA CONSIDERANDO EL APORTE DE LAS PAREDES



Este jurado; una vez realizado el examen del presente Trabajo Especial de Grado ha evaluado su contenido con el resultado: 18 (dieciocho)

JURADO EXAMINADOR

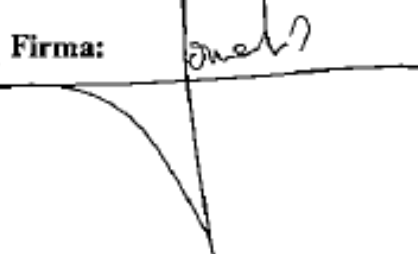
Nombre: *Heriberto Echezuría*

Firma:




Nombre: *Vincenzo Bonadio*

Firma:



Nombre: *Angelo Marinilli*

Firma:



Realizado por: Hower Daniel Garban Cavet
Andrés Augusto Martelo Salazar

Profesor Guía: Heriberto Echezuría

Fecha: 24/10/2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO Y ANALISIS DINÁMICO LINEAL DE UNA ESTRUCTURA DE GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH CONSIDERANDO EL APORTE DE LAS PAREDES

Autor: Hower Daniel, Garban Cavet
Andrés Augusto, Martelo Salazar
Tutor: Ing. Heriberto Echezuría
Año: 2019

RESUMEN

Este trabajo de grado busca analizar el aporte de las paredes ante solicitaciones sísmicas en una vivienda de dos pisos construida con guadua, mediante un análisis dinámico lineal, abarcando desde el diseño propio de la pared y la resistencia de las uniones, teniendo como referencia la norma colombiana (NSR-10, 2010).

Palabras Claves: sismo, estructura sismorresistente, Guadua angustifolia Kunth, muro de guadua.

Línea de Investigación: Estructuras de bambú UCAB

Agradecimiento

A Dios gracias por cada detalle y momento durante la realización de este Trabajo Especial de Grado que nos permitió continuar con salud, fuerzas y empeño.

A nuestras familias por la paciencia con la que cada día se preocupaban por nuestro avance y desarrollo para alcanzar nuestras metas.

Agradecemos al profesor Alfredo Urich por el aporte de sus valiosos conocimientos y al profesor Heriberto Echezuría por darnos la oportunidad de ser parte de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
MATERIAL A UTILIZAR.....	2
MÉTODO DE ANÁLISIS.....	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVOS	3
<i>Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>3</i>
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
ALCANCE Y LIMITACIONES	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
ANTECEDENTES.....	5
GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH	7
MORFOLOGÍA DE LA GUADUA	7
<i>Rizoma.....</i>	<i>7</i>
<i>Cepa</i>	<i>7</i>
<i>Basa.....</i>	<i>8</i>
<i>Sobrebasa</i>	<i>8</i>
<i>Varillón.....</i>	<i>8</i>
<i>Copa.....</i>	<i>8</i>
PARTES DEL CULMO.....	9
<i>Nudo</i>	<i>9</i>
<i>Entrenudo</i>	<i>9</i>
<i>Diafragma.....</i>	<i>9</i>
REQUISITOS DE LA GUADUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	9
<i>Secado y Curado.....</i>	<i>10</i>
PROPIEDADES FÍSICAS.....	11
<i>Peso específico.....</i>	<i>11</i>
<i>Humedad</i>	<i>11</i>
<i>Temperatura</i>	<i>11</i>
PROPIEDADES MECÁNICAS	11
<i>Módulo de elasticidad.....</i>	<i>11</i>
<i>Tracción</i>	<i>12</i>
<i>Compresión paralela a la fibra</i>	<i>12</i>
<i>Flexión.....</i>	<i>12</i>
<i>Corte paralelo a la fibra</i>	<i>13</i>

<i>Compresión perpendicular a la fibra</i>	13
UNIONES	13
<i>Unión empernada en guadua</i>	13
<i>Conectores de corte</i>	14
TIPO DE FALLAS	15
<i>Falla por compresión perpendicular a la fibra</i>	15
<i>Falla por compresión paralelo a la fibra</i>	15
<i>Falla por corte paralelo a la fibra</i>	16
MURO ESTRUCTURAL DE GUADUA.....	17
<i>Muro Estructural con Diagonales</i>	17
<i>Muro Estructural sin Diagonales</i>	17
ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO Y DE DISEÑO	18
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	19
ESFUERZOS Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE DISEÑO	19
<i>Guadua</i>	19
<i>Suelo cemento</i>	21
ANÁLISIS DE CARGAS	22
DISEÑO DE ELEMENTO ESTRUCTURALES	25
<i>Diseño de losa</i>	25
<i>Diseño Soleras</i>	26
<i>Diseño Pie derecho</i>	29
DISEÑO DE UNIONES	35
DISEÑO POR CARGAS DE SERVICIO	38
DISEÑO SÍSMICO	39
<i>Análisis Dinámico Lineal</i>	39
<i>Desplazamiento</i>	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	42
PROPIEDADES DE LAS SECCIONES	42
ARQUITECTURA.....	43
DISEÑO POR CARGAS DE SERVICIO.....	44
<i>Losa</i>	44
<i>Losa Techo</i>	45
<i>Losa entrepiso</i>	48
<i>Muros</i>	49
DISEÑO POR CARGAS TOTALES	55
CAPITULO V: CONCLUSIÓN	77
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Morfología de la guadua (Elaboración propia)</i>	8
<i>Figura 2. Partes del culmo (Morán Ubidia, 2015)</i>	9
<i>Figura 3. Curado del culmo (Salas Delgado, 2006)</i>	10
<i>Figura 4. Comparación módulos de elasticidad (Kosler & Carballo, 2018)</i>	12
<i>Figura 5. Detalle de conectores de corte (NSR-10, 2010)</i>	14
<i>Figura 6. Agrietamiento por compresión perpendicular a la fibra (Kosler & Carballo, 2018)</i>	15
<i>Figura 7. Falla por aplastamiento de las caras (Kosler & Carballo, 2018)</i>	15
<i>Figura 8. Falla por pandeo de las fibras en dirección interna (Kosler & Carballo, 2018)</i> ..	16
<i>Figura 9. Falla por corte paralelo a la fibra (Kosler & Carballo, 2018)</i>	16
<i>Figura 10. Muro estructural de guadua (Ministerio de Vivienda, Perú, 2011, E.100, BAMBÚ)</i>	17
<i>Figura 11. Espectro de respuesta elástico (COVENIN 1756, 2001)</i>	18
<i>Figura 12. Módulo de Elasticidad y Esfuerzo último suelo cemento (Durán & López, 2019)</i>	21
<i>Figura 13. Sección Losa (Elaboración propia)</i>	22
<i>Figura 14. Sección Losa Techo (Elaboración propia)</i>	23
<i>Figura 15. Sección Losa entrepiso (Elaboración propia)</i>	23
<i>Figura 16. Perfil de vivienda (Elaboración propia)</i>	24
<i>Figura 17. Valor de $(Q/I*t)$ máximo generado en media sección de culmo (Elaboración propia)</i>	26
<i>Figura 18. Vista X-Z configuración de soleras por cargas de servicio (Elaboración propia)</i>	27
<i>Figura 19. $Q/I*t$ (1/cm²) máximo en sección de cuatro culmos (Elaboración propia)</i>	28
<i>Figura 20. Momento admisible para secciones conformadas por dos culmos (Elaboración Propia)</i>	33
<i>Figura 21. Momento admisible para secciones conformadas por seis culmos (Elaboración Propia)</i>	33
<i>Figura 22. Momento admisible para secciones conformadas por cuatro culmos (Elaboración Propia)</i>	34
<i>Figura 23. Solicitaciones para uniones pernadas. (NSR-10, 2010)</i>	35
<i>Figura 24. Distribución de fuerzas en unión con diagonal en pie derecho (Elaboración Propia)</i>	36
<i>Figura 25. Distribución de fuerzas en unión con pie derecho en diagonal (Elaboración Propia)</i>	36
<i>Figura 26. Distribución de fuerzas en unión Pie derecho-Solera (Elaboración Propia)</i>	36

<i>Figura 27. Secciones pie derechos muros B y C (internos) (Elaboración Propia)</i>	38
<i>Figura 28. Secciones pie derechos muros A y D (exteriores) (Elaboración Propia)</i>	38
<i>Figura 29. Espectro de diseño (Elaboración propia)</i>	40
<i>Figura 30. Disposición de espacio para escaleras entrepiso (Elaboración propia)</i>	43
<i>Figura 31. Transformada suelo cemento a guadua (Elaboración propia)</i>	44
<i>Figura 32. Reacciones y diagramas de corte, momento y deflexión de losa techo 1 ante cargas de servicio (Elaboración Propia)</i>	46
<i>Figura 33. Reacciones y diagramas de corte, momento y deflexión de techo 2 ante cargas de servicio (Elaboración Propia)</i>	47
<i>Figura 34. Reacciones y diagramas de corte, momento y deflexión de losa entrepiso ante cargas de servicio (Elaboración Propia)</i>	48
<i>Figura 35. Verificación de momento y deflexiones en solera (Elaboración Propia)</i>	50
<i>Figura 36. Ubicación de excentricidades en muros A-D(Elaboración propia)</i>	51
<i>Figura 37. Ubicación de excentricidades en muros B-C (Elaboración propia)</i>	51
<i>Figura 38. Evaluación de deformada en pie derecho por cargas de servicio (Elaboración Propia)</i>	52
<i>Figura 39. Configuración de diagonales en la edificación (Elaboración Propia)</i>	57
<i>Figura 40. Evaluación de deformada en pie derecho por cargas sísmicas (Elaboración Propia)</i>	60
<i>Figura 41. Evaluación por corte en solera, cargas totales secciones previas (Elaboración Propia)</i>	63
<i>Figura 42. Distribución de culmos desde planta (Elaboración Propia)</i>	68
<i>Figura 43. Flujo de esfuerzos Muros (A-D) (Elaboración Propia)</i>	69
<i>Figura 44. Flujo de esfuerzos Muros (B-C) (Elaboración Propia)</i>	70
<i>Figura 45. Flujo de esfuerzos Muros (1-12) (Elaboración Propia)</i>	71
<i>Figura 46. Flujo de esfuerzos sección (3-10) (Elaboración Propia)</i>	72
<i>Figura 47: Vista X-Z muro 1-12 (Elaboración propia)</i>	75
<i>Figura 48: Vista X-Z corte 3-10 (Elaboración propia)</i>	75
<i>Figura 49: Vista Y-Z muros A-D (Elaboración propia)</i>	76
<i>Figura 50: Vista Y-Z muro B-C (Elaboración propia)</i>	76
<i>Figura A1: Vista lateral y frontal modelo 3D (Etabs, 2016)</i>	80
<i>Figura A2: Vista modelo 3D (Etabs, 2016)</i>	81
<i>Figura A3: Ubicación de anclajes para paredes (Elaboración propia)</i>	82

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Factor de modificación esfuerzos últimos (NSR-10, 2010).....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2. Resumen de Esfuerzos Admisibles</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3. Resumen de Esfuerzos de Diseño.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4. Resumen de Cargas en Techo.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5. Resumen de Cargas en Losa entrepiso.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 6. Factor de modificación para corte Cc (NSR-10, 2010).</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7. Factor de longitud efectiva (NSR-10, 2010).....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 8. Clasificación de columnas por esbeltez (NSR-10, 2010)</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 9. Fuerza admisible para uniones emperradas (NSR-10, 2010).....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10. Resumen aspectos sísmicos.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 11. Control de derivas.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 12. Propiedades y valores admisibles pie derechos y soleras.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 13. Resumen de cargas sobre soleras en los muros.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 14. Iteración por corte en solera muros en dirección Y (cargas de servicio).....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 15. Iteración por corte en solera muros en dirección X (cargas de servicio).....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 16. Secciones de pie derechos para cargas de servicio.</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 17. Evaluación por flexo-compresión, cargas de servicio en pies derechos.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 18. Peso sísmico de la vivienda.</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 19. Conformación de diagonales.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20: Participación modal de masas.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 21. Evaluación por flexo-compresión, cargas totales en pies derechos (secciones previas).....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 22. Evaluación por corte, cargas totales en pies derechos (secciones previas).</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 23. Evaluación resistencia de diagonales.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 24. Solicitaciones en uniones con diagonal.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 25. Diseño de perno en unión diagonal-pie derecho.</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 26. Secciones de pie derecho definitivas en el diseño de muros</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 27. Evaluación por flexo-compresión pie derechos (secciones definitivas).</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 28. Secciones definitivas soleras y fuerzas actuantes.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 29. Evaluación de derivas</i>	<i>74</i>

INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica en Venezuela representa un riesgo potencial en cuanto a pérdidas humanas y económicas, donde según la Fundación Venezolana de Investigaciones Sísmicas (FUNVISIS, 2019) aproximadamente el 80% de la población se concentra en zonas con alta amenaza sísmica. Es por ello que la construcción de viviendas sismorresistentes tiene gran importancia en cuanto al ámbito de la ingeniería en nuestro país.

El uso de materiales no convencionales en la construcción como la Guadua angustifolia Kunth en países de América latina y Asia ha generado una alternativa económicamente viable para zonas rurales o de bajos recursos, donde estas pueden generar un ahorro del 46% siendo sus construcciones 37% más rápidas en comparación a las de concreto/mampostería.

El estudio del comportamiento de estructuras con guadua en zonas sísmicas es de interés en nuestro país por sus ventajas económica, es por ello que esta investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño de una casa de dos pisos con paredes de guadua a través de un análisis dinámico lineal, logrando una configuración de pared óptima para las exigencias de cargas y estableciendo un diseño final que tenga niveles de seguridad equivalentes al de estructuras con materiales de construcción convencionales.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Debido al déficit habitacional en nuestro país, y la falta de inversiones en el sector construcción (Cámara Venezolana de la Construcción), es necesario implementar soluciones rápidas y de bajos costos.

En Latinoamérica es ampliamente utilizada la *Guadua angustifolia* Kunth como material principal para la construcción de viviendas, ya que presenta un rápido crecimiento en zonas tropicales, se propaga sin que haya necesidad de replantarlo a diferencia de otra especie productora de madera; además poseen ventajas mecánicas y constructivas. Venezuela por pertenecer a una zona de sismicidad moderada, las estructuras tienen que diseñarse por lo establecido en la norma (COVENIN 1756, 2001), el cual establece criterios para el modelado de la amenaza sísmica la cual puede ser sometida la estructura.

Por falta de una norma venezolana para la construcción con *guadua angustifolia*, es necesario tener como base las normas de otros países latinoamericanos.

Es por ello que se diseñará una vivienda de dos pisos cuyo sistema estructural sean paredes de *guadua* logrando una configuración de las mismas que cumplan con lo establecido en la norma colombiana (NSR-10, 2010)

Material a utilizar

Se plantea el uso de *guadua* (bambú) y suelo cemento para la construcción.

Método de análisis

Para la investigación del desempeño de una vivienda unifamiliar de dos pisos considerando el aporte de las paredes, se usará el método de análisis dinámico lineal, a fin de verificar su desempeño ante acciones sísmicas.

Formulación del Problema

En recientes estudios realizados por (Ahmar & Chacón, 2018) de una vivienda unifamiliar de dos pisos construida de guadua sin el aporte de las paredes, se presentó un dimensionamiento considerable en sus elementos estructurales producto del esfuerzo cortante en las columnas, es por ello que se planteó el uso de elementos que distribuyeran mejor el corte, planteando así el uso de paredes de guadua.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el aporte de las paredes de una vivienda construida con Guagua angustifolia Kunth ante sollicitaciones sísmicas.

Objetivos Específicos

1. Diseñar de forma analítica la configuración de pared adecuada para una vivienda construida con guadua.
2. Evaluar mediante un análisis dinámico lineal el desempeño sísmico de una vivienda unifamiliar de dos pisos construida con guadua considerando la contribución de las paredes en zona sísmica 4.
3. Comparar la deriva de la estructura con los resultados de (Ahmar & Chacón, 2018) y lo establecido en las normas (NSR-10, 2010) y (COVENIN 1756, 2001).

Justificación de la Investigación

Debido a la alta escasez de materiales de construcción y que aproximadamente el 80% de la población se concentra en zonas con alta amenaza sísmica (FUNVISIS, 2019) es necesario el estudio y el comportamiento de materiales alternativos como la guadua angustifolia en estructuras sismorresistentes.

Esta iniciativa solventaría la escasez de materiales para zonas de escasos recursos, dándoles una oportunidad de poseer una vivienda segura y de alta calidad.

Alcance y Limitaciones

Entre los alcances, se atenderán los aspectos a solicitaciones dinámica lineal en una vivienda unifamiliar de guadua, donde dicho estudio tendrá como limitación que sea una estructura de dos pisos.

Por otra parte, se analizará el comportamiento estructural de dicha vivienda considerando el aporte de las paredes de guadua.

Para los análisis, se usarán valores contemplados dentro de la literatura para la especie de bambú guadua angustifolia, incluyendo los ensayos realizados por (Kosler & Carballo, 2018).

Como limitante el no tener una norma venezolana enfocado en la guadua lleva a utilizar normas de otros países como la norma colombiana (NSR-10, 2010) y la norma peruana (E.100, 2011). Estas normas no establecen diseños claros de muros con guadua, por lo tanto, el enfoque en este trabajo especial de grado recae en la búsqueda de un diseño óptimo de paredes para viviendas de dos pisos con este material.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Antecedentes

“AHMAR YACOUB, F., & CHACÓN CARRIZO, C. (2018)". ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS DE BAMBÚ. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas".

En este trabajo especial de grado se analizó el desempeño ante sollicitación dinámicas de viviendas de guadua realizando un análisis dinámico lineal y estático no lineal con el fin de generar conclusiones sobre cuáles van a ser los aspectos más importantes del material para lograr diseños óptimos en rango inelástico.

"Duran Quintero, E., & López Castillo, E. (2019). ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y LA GRANULOMETRÍA EN LAS PROPIEDADES DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y/O CAL (Tesis de Pregrado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas".

En este trabajo especial de grado tuvo como fin analizar la incidencia del índice de plasticidad y granulometría en suelos estabilizados con cemento y/o cal.

"Echezuría, H. (2018). El Bambú como Recurso Sustentable para Construcción de Viviendas de Bajo Costo. Tekhné".

En esta revista técnica el autor explica las ventajas de la guadua como materia prima para distintos fines industriales, incluyendo la construcción de viviendas a bajos costos para los sectores de la población más desfavorecidos generando una propuesta para un plan de desarrollo para la explotación de guadua en Venezuela.

"GUTIERREZ LOZANO, J. V., & GOMEZ BARRERA, R. A. (2002). DISEÑO Y ELABORACION A ESCALA NATURAL DE. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Bogotá".

En este trabajo especial de grado se analizan algunas características de las armaduras en guadua utilizando modelos con la misma geometría sometidas a cargas aplicadas puntualmente en los nudos con el fin de obtener ordenes de magnitud para cargas de servicio y deflexiones admisibles.

Kosler, G., & Carballo, L. (2018). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNAS VARIETADES DE GUADUA DISPONIBLES EN VENEZUELA (Tesis de Pregrado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

Este trabajo especial de grado tuvo como objetivo establecer las propiedades mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth para su aplicación en el diseño de estructuras para el futuro del desarrollo de normas relacionadas con las propiedades de este material.

"López Orosco, G. D., & Muzziotti Goncalves, J. R. (2018). ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA Y DE BAMBÚ – BAHAREQUE PARA SU APLICACIÓN COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES (Tesis de Pregrado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas".

Este trabajo especial de grado realizo un análisis comparativo de costos relacionados con estructuras de guadua y mampostería reforzada llegando a concluir que las estructuras de guadua y suelo cemento pueden llegar ahorrar un 46% para soluciones temporales a grupos de personas necesitadas, turismo etc.

SILVA V., M. F., & LÓPEZ M., L. F. (2000). COMPORTAMIENTO SISMO-RESISTENTE DE ESTRUCTURAS EN BAHAREQUE (Tesis de Pregrado). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MANIZALES.

Este trabajo especial de grado realizo ensayos sobre paredes de guadua de tres sistemas constructivos, ensayándolas con y sin diagonal, mostrando que dicha diagonal representa un aumento en la resistencia final del sistema.

El uso de Guadua es un tema que ha ocupado nuestro interés, debido a que posee propiedades físico-mecánicas aptas para la construcción de viviendas sismorresistentes, al igual que su capacidad para obtener cosechas en lapsos de 5 a 6 años a diferencia de las especies maderables que requiere un tiempo mayor para alcanzar su madurez. Adicionalmente en países americanos se ha comprobado que la explotación sustentable de los bosques de guadua beneficia a las familias que se dediquen a dicha explotación al permitirles una vivienda digna y una economía que mejora sus ingresos familiares (Echezuría, 2018).

A continuación, se presentan los siguientes conceptos teóricos esenciales para este trabajo especial de grado:

Guadua angustifolia Kunth

Es una especie botánica de la subfamilia de las gramíneas Bambusoideae que se caracteriza por tener una forma cilíndrica donde ésta posee culmos y entrenudos huecos, lo que hace que esta especie sea liviana y estable, además de ser resistente a insectos y enfermedades, puede llegar a tener alturas aproximadas de 30 metros.

Morfología de la guadua

Rizoma

Es un tallo subterráneo, el cual absorbe nutrientes y le da soporte a la planta, estos crecen hasta su tamaño total en el primer año, aparentemente dependiendo del grado de humedad disponible. Siendo bastante efectivos en la estabilización de laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento. La Guadua angustifolia Kunth posee un rizoma simpodial lo que hace que su crecimiento sea desordenado el cual únicamente se da en zonas tropicales por ser estos sensibles a climas fríos

Cepa

Tramo del culmo con mayor diámetro y es debido a que se encuentra en la parte inferior del tallo, el cual puede llegar a comprender longitudes de 2,50 a 3,00 metros.

Basa

Sección del culmo más utilizada de diámetro menor y distancia entre nudos mayor que en la cepa. Esta sección puede tener una longitud de 5,00 a 8,00 metros.

Sobrebasa

El diámetro de esta sección de culmo es menor y la distancia entre nudos es mayor, comparado con la basa, la longitud es de aproximadamente 4,00 metros.

Varillón

La sección del culmo tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.

Copa

Es el extremo superior (o punta) de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros.

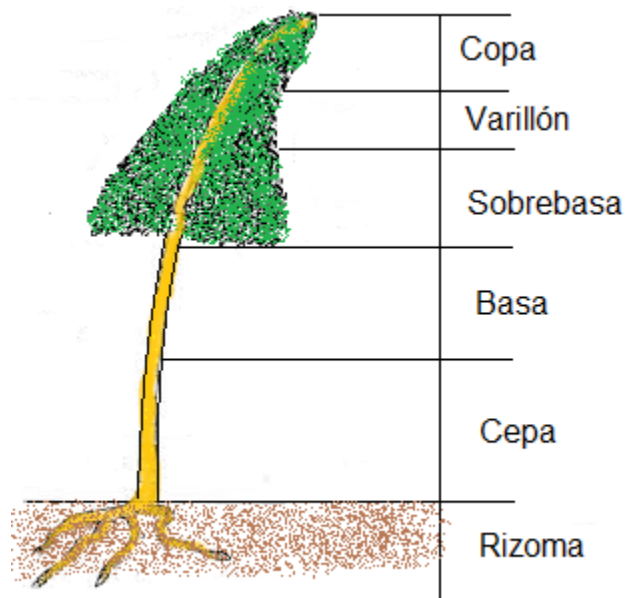


Figura 1. Morfología de la guadua (Elaboración propia)

Partes del culmo

El culmo es un vástago o vara que emerge de las raíces, alcanzando diferentes alturas y diámetros dependiendo de la especie.

Nudo

Parte de la estructura del tallo que lo divide en secciones por medio de diafragmas.

Entrenudo

Parte de la caña comprendida entre dos nudos, el entrenudo mide aproximadamente tres veces el diámetro del culmo.

Diafragma

Membrana rígida que forma parte del nudo y divide el interior de la caña en secciones

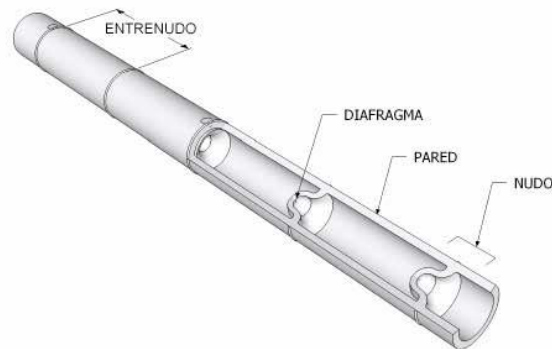


Figura 2. Partes del culmo (Morán Ubidia, 2015)

Requisitos de la guadua como material de construcción

La guadua debe inmunizarse para evitar el ataque de insectos. El inmunizado no constituye protección contra otros efectos ambientales, de manera que la guadua no puede exponerse al sol ni al agua, en ninguna parte de la edificación, pues la acción de los rayos ultravioletas, produce resecamiento, fisuración, decoloración y pérdida de brillo, y los cambios de humedad pueden causar pudrición (NSR-10, 2010).

Secado y Curado

El material después del proceso de corte debe ser sometido a un proceso de secado, el cual ayuda controlar agentes dañinos y aumentar su resistencia, en este proceso, la guadua se contrae y obtiene su color amarillo, al estar ésta seca pierde toda la savia, y en este proceso se desecha casi un 20% de guadua por presentar rajaduras y torsiones (Caicedo & Vaniria, 1996), los métodos comúnmente usados para el secado de la guadua son el secado al aire, secado en la mata y el secado al calor.

Posteriormente después del proceso de secado, la guadua debe someterse a un tratamiento preservativo, con la finalidad de prevenir el ataque de insectos y hongos. Uno de los tratamientos comúnmente usados es por inmersión, este proceso se realiza primero haciendo una perforación a todo lo largo del eje longitudinal de la guadua, con el objetivo de comunicar los entrenudos, para después sumergir la guadua mediante unas pesas en un tanque que contiene preservativos, por un periodo de cinco días, con el fin de que el líquido penetre de manera correcta en el interior de cada entrenudo. (Salas Delgado, 2006).



Figura 3. Curado del culmo (Salas Delgado, 2006)

Propiedades físicas

Peso específico

Para calcular el peso propio de la estructura, la norma (NSR-10, 2010) título G recomienda trabajar con un peso específico de 800Kgf/m³.

Humedad

Una vez cosechada la guadua, esta tiende a secarse hasta alcanzar un equilibrio con el ambiente, este contenido de humedad afecta la resistencia de la guadua y para la construcción, esta debe tener menos del 20%.

Temperatura

La resistencia de la guadua es afectada por la condición de temperatura a la cual están expuestos.

Propiedades mecánicas

La guadua es un material ortotrópico ya que sus propiedades mecánicas varían según la dirección del esfuerzo

Módulo de elasticidad

Para la obtención del módulo de elasticidad se tomó en consideración los ensayos realizados por (Kosler & Carballo, 2018) al igual que el trabajo realizado por (Ahmar & Chacón, 2018) sin dejar por fuera la NSR-10. En este análisis, el módulo de elasticidad propuesto por la NSR-10 no se ajustaba a los resultados obtenidos por los ya mencionados, es por ello que se descartó su uso y se halló el módulo de elasticidad en común entre los trabajos anteriores.

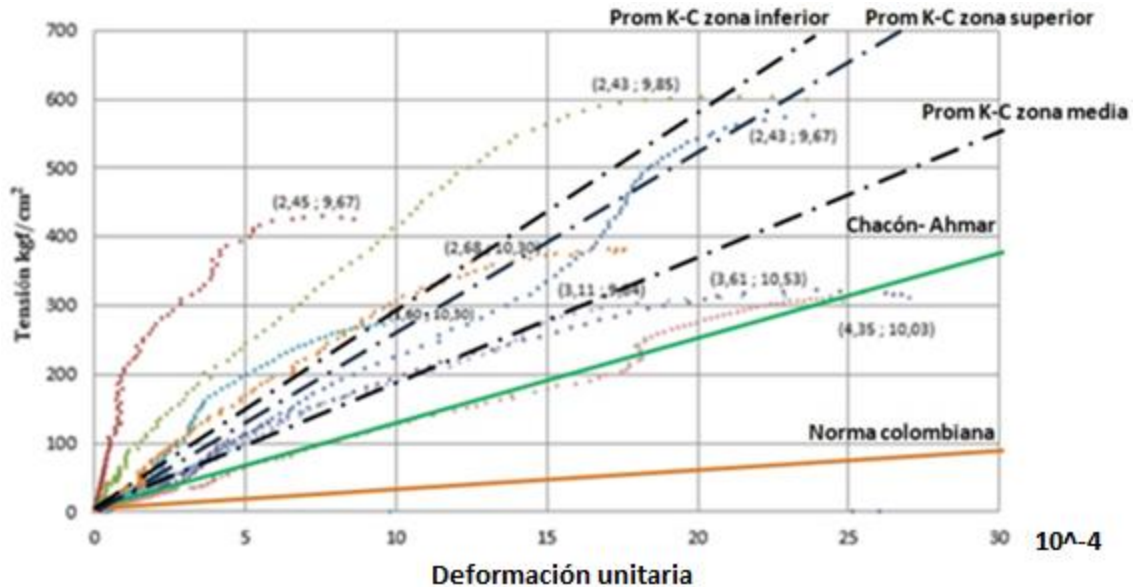


Figura 4. Comparación módulos de elasticidad (Kosler & Carballo, 2018)

Tracción

Los esfuerzos a tracción con guadua presentan módulos de elasticidad parecidos al esfuerzo a compresión (Ahmar & Chacón, 2018), en los ensayos realizados por (Kosler & Carballo, 2018) afirmaron que la guadua tiene mayor resistencia a tracción que a compresión observando las fallas de los ensayos a flexión, la fibra a compresión siempre fallaba antes que la fibra a tracción.

Compresión paralela a la fibra

El comportamiento de tensiones a compresión paralela a las fibras arrojó como principal característica que posee capacidad de recuperación al momento de la falla. Este comportamiento se ve asociado a la generación de fisuras internas y posterior reacomodo de las fibras que contribuyen al incremento de resistencia, observando deformaciones permanentes. (Kosler & Carballo, 2018)

Flexión

La guadua presenta buena resistencia a la flexión siendo este último no determinante en los diseños de elementos estructurales, además posee una alta resiliencia al momento de fallar, llegando a soportar solicitaciones de carga del 88% de la máxima resistida. (Kosler & Carballo, 2018).

Corte paralelo a la fibra

El esfuerzo cortante es una medida de la capacidad de resistir fuerzas que tienden a producir deslizamiento de una porción del material con relación a otra porción adyacente.

En la guadua el corte paralelo a la fibra puede llegar a ser un factor determinante para elementos sometidos a este esfuerzo. (Ahmar & Chacón, 2018)

Compresión perpendicular a la fibra

La compresión perpendicular a la fibra puede significar un problema para el diseño de elementos de guadua debido a la poca resistencia que presenta ante esta sollicitación, es por ello que es recomendable rellenar con mortero los entrenudos donde se concentren grandes cargas.

Duración de Carga

Dependiendo del tiempo de aplicación de la carga al material, su resistencia varía por ende es un factor a tomar en consideración al momento de diseñar.

Uniones

Elemento que tiene como función el ensamble de componentes estructurales garantizando el uso según sea el tipo de diseño, la selección de la conexión debe tomar en consideración, las limitaciones constructivas, la facilidad de fabricación, aspectos de montaje y el comportamiento que esta posee.

Unión empernada en guadua

Las uniones empernadas se utilizan cuando las sollicitaciones sobre una conexión son grandes, requiriendo el uso de pernos con platinas de acero. Los pernos y platinas usados, deben ser de acero estructural con esfuerzo de cedencia no menor de 2500 Kgf/cm²; el diámetro mínimo permitido para los pernos es de 3/8" y espesor mínimo de platinas 3/16", así mismo los entrenudos donde atravesase el perno deberán rellenarse de mortero (NSR-10, 2010).

Los elementos diagonalizados se consideran articulados, por lo que no habrá transmisión de momentos. Estos conectores pueden ser pernos o cintas metálicas que sean capaces de soportar las fuerzas que se generan en la unión y cumpla con el fin de trabajar en conjunto. Estos

elementos deben diseñarse para que no fallen por tensión perpendicular a la fibra y corte paralelo a la fibra.

Conectores de corte

Este tipo de conexión es utilizada para vigas conformadas por dos o más culmos, para garantizar su estabilidad y trabajo conjunto. Al igual que las uniones empernadas, todos los entrenudos por donde atraviese el conector deben de estar rellenos de mortero.

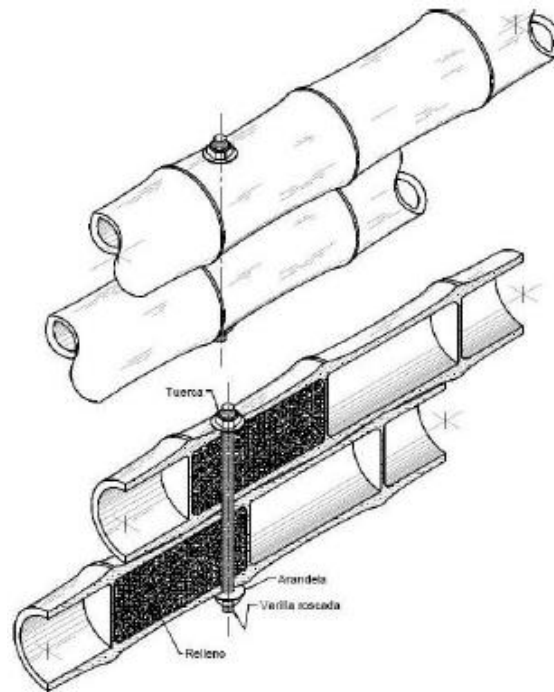


Figura 5. Detalle de conectores de corte (NSR-10, 2010)

Tipo de Fallas

Falla por compresión perpendicular a la fibra

Esta falla ocurre por solicitaciones perpendiculares a la fibra, generando grietas longitudinales.

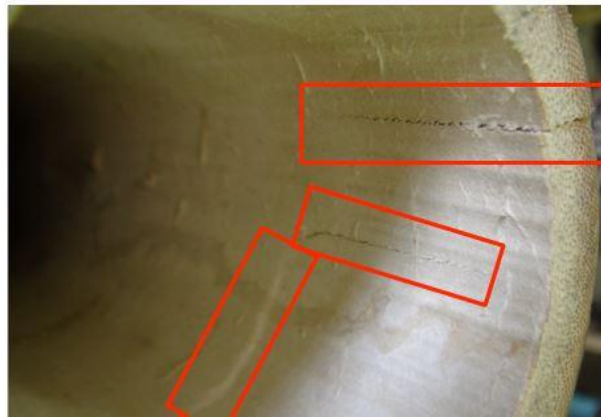


Figura 6. Agrietamiento por compresión perpendicular a la fibra (Kosler & Carballo, 2018)

Falla por compresión paralelo a la fibra

El culmo al ser sometido a esta solicitación, puede presentar dos tipos de falla:

1. Falla por aplastamiento

Las fibras en las caras de los apoyos, tienden a pandearse hacia el interior y exterior del apoyo. Esta falla sucede igualmente en elementos sometidos a flexión en las fibras a compresión.



Figura 7. Falla por aplastamiento de las caras (Kosler & Carballo, 2018)

2. Falla por pandeo de la Fibra

Las fibras a todo lo largo del culmo, tienden a pandearse hacia el interior o exterior provocando grietas longitudinales.



Figura 8. Falla por pandeo de las fibras en dirección interna (Kosler & Carballo, 2018)

Falla por corte paralelo a la fibra

Esta falla ocurre en zonas cercanas a los apoyos en culmos sometidos a flexión, generando abollamientos y grietas perpendiculares a la fibra.



Figura 9. Falla por corte paralelo a la fibra (Kosler & Carballo, 2018)

Muro Estructural de Guadua

Son muros cuyos elementos portantes, están compuestos por soleras, pie derecho y diagonales, que reciben cargas verticales y resisten fuerzas horizontales de sismos, además estos muros para considerarse estructurales, deben de estar anclados a la cimentación y continuos hasta el techo de la edificación.

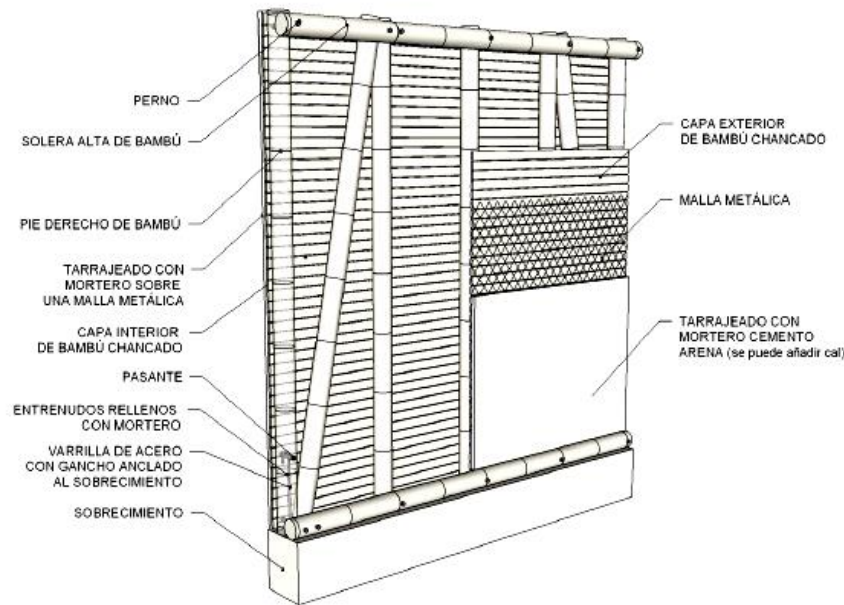


Figura 10. Muro estructural de guadua (Ministerio de Vivienda, Perú, 2011, E.100, BAMBÚ)

Muro Estructural con Diagonales

Estos muros, deben colocarse en las esquinas de la construcción y en los extremos de cada conjunto de muros estructurales.

Muro Estructural sin Diagonales

Estos muros deben utilizarse únicamente para resistir cargas verticales. No deben construirse en segmentos de los extremos del muro.

Espectro de respuesta elástico y de diseño

Un espectro de respuesta, “representa la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo coeficiente de amortiguamiento, sometidos a una historia de aceleraciones dada, expresada en función del periodo” (COVENIN 1756, 2001).

Para definir el grado de amenaza sísmica a la cual es sometida la estructura, es necesario conocer la ubicación, las condiciones geotécnicas del sitio, el tipo de estructura y el nivel de seguridad, estos factores definen el espectro de respuesta el cual es una herramienta esencial en la dinámica estructural, mostrando las aceleraciones máximas que puede ser sometido la estructura para una vida útil y periodo de retorno definido.

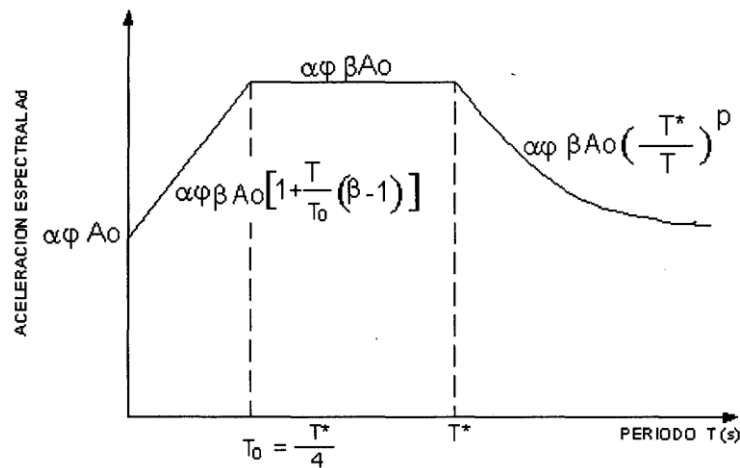


Figura 11. Espectro de respuesta elástico (COVENIN 1756, 2001)

Al reducir el espectro por efecto de la ductilidad de una estructura, este se le conoce como espectro inelástico o espectro de diseño, este factor de reducción es designado con la variable R.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Para el diseño de la vivienda unifamiliar, utilizando como material principal la guadua, se optó por el uso de muros estructurales para evaluar el desempeño que este tiene ante sollicitaciones sísmicas y la fiabilidad que presenta el diseño para ser habitable.

Para el diseño con guadua, se usaron los criterios establecidos por la (NSR-10, 2010), donde su diseño es mediante esfuerzos admisibles y combinaciones de cargas básicas, igualmente es importante recalcar que el diámetro y espesor de los culmos serán invariables en todo el diseño, usando 10 cm. de diámetro y 1 cm. de espesor. Igualmente, la (NSR-10, 2010) menciona que para el análisis estructural se deberá usar muros empotrados en la base y arriostrados lateralmente por los diafragmas de entrepiso y techo.

Esfuerzos y módulo de elasticidad de diseño

Guadua

Para el diseño de los elementos estructurales se utilizaron los valores de esfuerzos provenientes de los ensayos realizados por (Kosler & Carballo, 2018), los cuales fueron modificados por los parámetros establecidos en la norma (NSR-10, 2010). Así mismo, se complementaron los esfuerzos debido a la falta de información, por los recomendados en la norma.

Debido a la similitud del módulo de elasticidad tanto a tracción, compresión y flexión se usó un solo módulo de manera representativa para el análisis.

$$E = 130000Kgf/cm^2$$

En la obtención de los esfuerzos admisibles, se usó el valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio realizadas por (Kosler & Carballo, 2018), estos valores fueron ajustados por factores de modificación como aparece descrita en la (NSR-10, 2010).

$$\sigma_u(0.05 \text{ compresión}) = 289Kgf/cm^2$$

$$\sigma_u(0.05 \text{ flexión}) = 553Kgf/cm^2$$

$$\sigma(\text{admisible}) = \frac{\sigma u * FC}{F.S * FDC}$$

Ecuacion 1

Tabla1. Factor de modificación esfuerzos últimos(NSR-10, 2010)

Factor	Flexión	Tracción	Compresión (paralela)	Compresión (perpendicular)	Corte
FS	2,00	2,00	1,50	1,80	1,80
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1
FC	-	0.5	-	-	0.6

Dónde:

FS = Factor de seguridad.

FDC = Factor de duración de carga.

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio.

Tabla2. Resumen de Esfuerzos Admisibles

Flexión (Kosler - Carballo) (Kgf/cm2)	Tracción (NSR-100) (Kgf/cm2)	Compresión (paralela) (Kosler - Carballo) (Kgf/cm2)	Compresión (perpendicular) (NSR-100) (Kgf/cm2)	Corte (NSR-100) (Kgf/cm2)
184	184	161	14	12

Para la obtención de los esfuerzos de diseño, los esfuerzos admisibles ya descritos anteriormente se multiplican por coeficientes de modificación que tienen como fin adaptar el comportamiento del material a la condición que se encuentre.

$$\sigma(\text{diseño}) = \sigma(\text{admisible}) * Cd * Cm * Ct$$

Ecuacion 2

Tabla3. Resumen de Esfuerzos de Diseño

Esfuerzos	Cm (14.6%)	Cd	Ct	σ (diseño) Kgf/cm2
Flexión	0.88	0.9	1	146
Tracción	0.92	0.9	1	152
Compresión Paralela	0.88	0.9	1	128
Compresión Perpendicular	0.92	0.9	1	12
Corte	0.92	0.9	1	10

Note: EL contenido de humedad 14,6% fue el promedio de los ensayos de (Kosler & Carballo, 2018).

Dónde:

Cm: Coeficientes de modificación por contenido de humedad.

Cd: Coeficientes de modificación por duración de carga.

Ct: Coeficientes de modificación por temperatura.

Los esfuerzos de diseño mostrados en la tabla resumen, más adelante serán nuevamente modificados por condiciones de diseño.

Suelo cemento

Este material es empleado para la elaboración de losas en este trabajo especial de grado, las propiedades del suelo cemento se extrajeron del trabajo realizado por (Durán & López, 2019) de un suelo “patrón” con 7% de cemento.

El módulo de elasticidad y esfuerzo último se extraen de la siguiente figura:

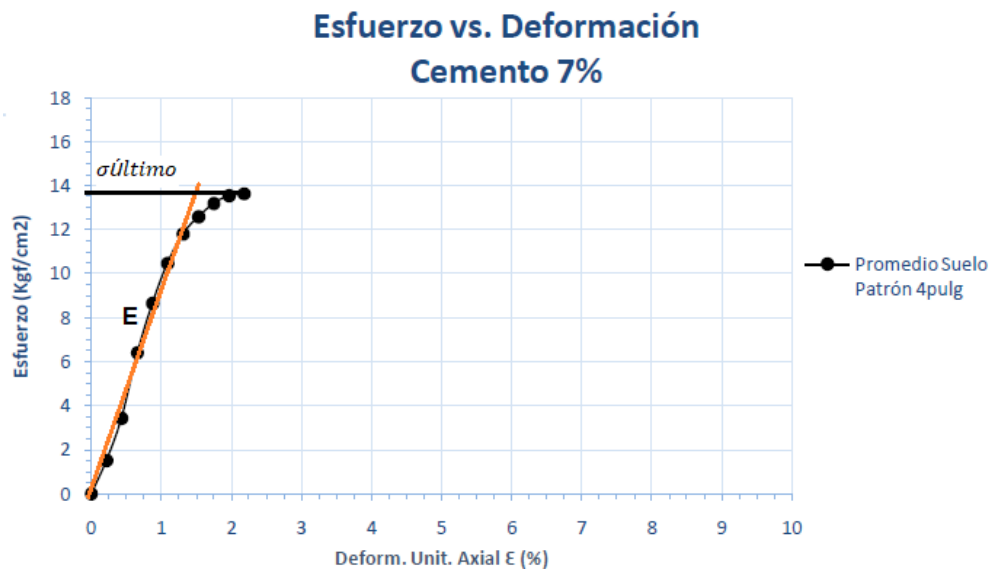


Figura 12. Módulo de Elasticidad y Esfuerzo último suelo cemento (Durán & López, 2019)

$$E(\text{suelo cemento}) = 915 \text{Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{último}}(\text{suelo cemento}) = 13,6 \text{Kgf/cm}^2$$

Para hallar el esfuerzo admisible, se usó un factor de seguridad de 1,80 que se utilizó para elementos en compresión para guadua, dando como resultado 7,6 Kgf/cm².

Análisis de Cargas

Para el diseño de las losas en la estructura, se planteó el uso de media sección de guadua colocadas en serie, acompañado de 5cm de suelo cemento, este diseño presenta una solución más ligera que las losas convencionales para entresijos y techos de vivienda, es importante recalcar que este elemento contará con una malla electrosoldada para reforzar el suelo cemento y con anclajes que permitan un trabajo en conjunto entre el suelo cemento y guadua. Este modelo de losa será analizado y estudiado en futuras investigaciones.

El peso propio de la losa será igual al proveniente por el suelo cemento más el de la guadua.

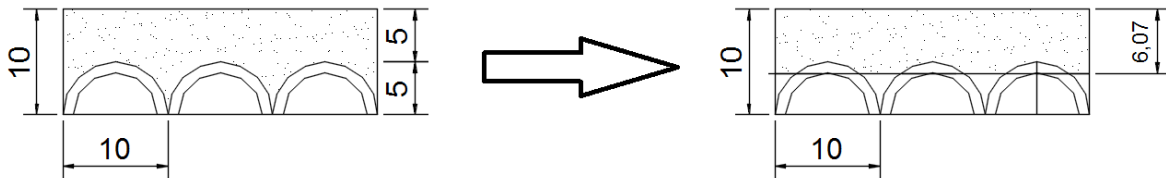


Figura 13. Sección Losa (Elaboración propia)

Para el cálculo del peso de suelo cemento se utilizó un peso específico de 2000 Kgf/m³ y el volumen ocupado por éste en 1m² (este volumen se calculó tomando el área ocupada por el espesor total de la losa menos el área ocupada por los culmos de guadua, por un metro de largo), dando como resultado una carga distribuida de 122 Kgf/m².

Posteriormente se calculó la carga de guadua tomando un peso específico de 800 Kgf/m³, el número de culmos por metro y el volumen que ocupa cada culmo en 1m de largo, dando como resultado 11 Kgf/m².

Finalmente, la carga en losa será la suma de la carga de suelo cemento más la carga por guadua, arrojando como resultado 133Kgf/m².

Para el techo se utilizaron tejas asfálticas y un recubrimiento de 5mm de manto asfáltico.

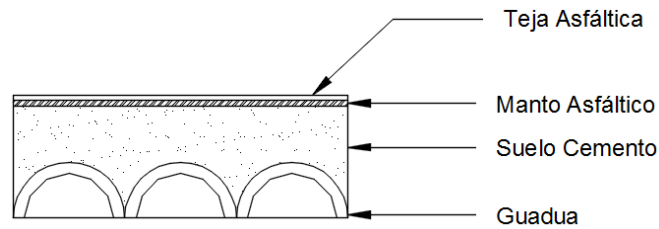


Figura 14. Sección Losa Techo (Elaboración propia)

Tabla4. Resumen de Cargas en Techo

Material	Carga (Kgf/m ²)
Tejas Asfálticas	8
Manto Asfáltico	6
Carga Losa	133
Cp	147
Cp (20°)	156
Cp (15°)	152
Cv (Norma >= 15°)	50

La losa entrepiso está conformada por un piso acabado y tabiquería liviana.

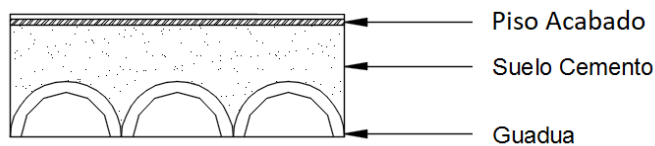


Figura15. Sección Losa entrepiso (Elaboración propia)

Tabla 5. Resumen de Cargas en Losa entrepiso

Material	Carga (Kgf/m ²)
Piso Acabado	100
Tabiquería Liviana	100
Carga Losa	133
Cp	333
Cv (Norma >= 15°)	175

Para el diseño se consideró que las losas cargan en sentido “X” siendo ésta la dirección más corta, así mismo, las losas estarán apoyadas sobre los muros (A, B, C, D).

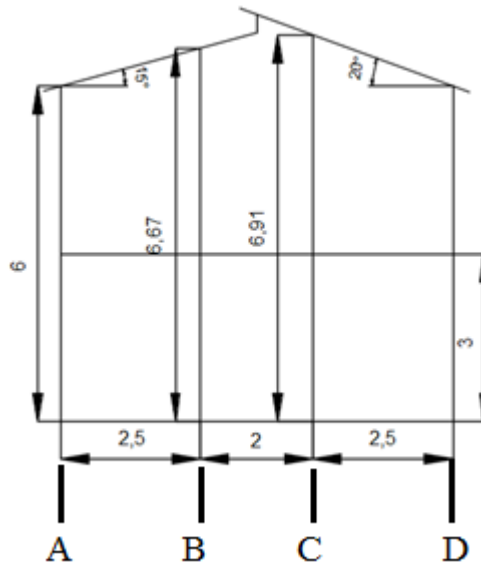


Figura 16. Perfil de vivienda (Elaboración propia)

Para la fachada de la edificación se usaron ladrillos de arcilla de 10 cm de espesor con la cara interna frisada (liso) y la cara externa salpicada (rústico) (180 Kg/m²). Estos bloques quedan ubicados fuera de la pared estructural, contando con sujetadores para evitar su desplome tal como se ilustra en la Figura A3. Estas paredes cargan a las soleras de nivel entrepiso ubicadas en las caras (A, D, 1 y 12) con una altura desde el nivel entrepiso a techo de 3m.

$$Carga\ Fachada = 180\ Kg/m^2 * 3m\ (altura\ entrepiso) = 540\ Kg/m$$

El armazón de la edificación aportará su peso propio, para el cálculo de esta carga se asumió, que, a cada metro de largo, un entrenudo del culmo (30 cm) estará relleno de concreto debido a los conectores de corte que pudiese necesitar los elementos estructurales (pie derecho y solera). El peso del concreto de relleno será 2500kgf/m³, sumándole el peso de la guadua da como resultado 6,57kgf/m cada culmo.

Diseño de elemento estructurales

Diseño de losa

Los esfuerzos de diseño para los elementos de guadua en la losa serán modificados por un coeficiente de acción conjunta (Cr) el cual incrementa los esfuerzos de diseño en un 10%, este factor es aplicado debido a que la losa está conformada por más de cuatro elementos y la separación entre dichos elementos es menor de 0,6m (NSR-10, 2010).

$$\sigma(\text{diseño} - \text{flexion}) = \sigma(\text{diseño}) * Cr = 146 * 1,1 = 161\text{Kgf/cm}^2$$

$$\sigma(\text{diseño} - \text{corte //}) = \sigma(\text{diseño}) * Cr = 10 * 1,1 = 11\text{Kgf/cm}^2$$

La losa está conformada por dos materiales diferentes, para el análisis de su resistencia se empleó el método de vigas compuestas, el cual transforma la sección transversal de dos o más materiales en una hecha de “un solo material” (Hibbeler, 1998).

Ya teniendo la sección con “un solo material” se procedió hallar el eje neutro de la sección (Ecuación 3) y la inercia (Ecuación 4).

$$\bar{Y} = \frac{\sum \text{Área}(i) * Y(i)}{\sum \text{Área}(i)} \quad \text{Ecuacion 3}$$

$$\text{Inercia } \bar{Y} = \frac{\pi * (R^4 - r^4) * n}{8} + \text{Área} * \bar{Y}^2 * n \quad \text{Ecuacion 4}$$

Dónde:

Área: Área de media sección de culmo

R: Radio Externo.

r: Radio Interno.

n: Numero de culmos en 1m de ancho (losa).

Luego teniendo el eje neutro y la inercia de la sección se procedió hallar el momento máximo admisible (Ecuación 5).

$$M(\text{max} - \text{adm}) = \frac{\sigma(\text{diseño} - \text{flexión}) * Inercia \bar{Y}}{\bar{Y}_{\text{max}}} \quad \text{Ecuacion 5}$$

Para el cálculo del corte paralelo a la fibra máximo admisible (Ecuación 6).

$$V(\text{max} - \text{adm}) = \frac{\sigma(\text{diseño} - \text{corte} //)}{\left(\frac{Q}{I*t}\right)_{\text{Máx}}} \quad \text{Ecuacion 6}$$

Dónde:

Q: Área de la sección por encima de la fibra a analizar por la distancia del centro de dicha área al eje neutro de la sección.

t: ancho de la fibra analizada.

El corte máximo que se genera en una sección es proporcional al valor de $(Q/I*t)$ máx. Para hallar el máximo corte que se produce en media sección de guadua se elaboró la siguiente figura:

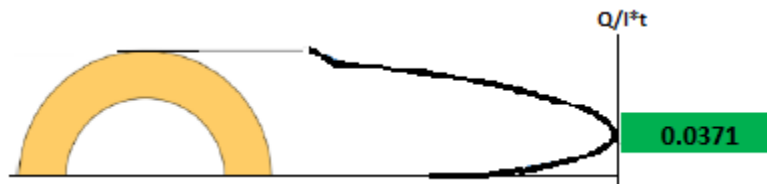


Figura 17. Valor de $(Q/I*t)$ máximo generado en media sección de culmo (Elaboración propia)

Finalmente se evaluó la losa por deflexión máxima admisible el cual depende del uso, para techos inclinados sin cielo raso (Ecuación 7) y entrepiso rígido (Ecuación 8).

$$\delta = \frac{l}{180} \quad \text{Ecuacion 7}$$

$$\delta = \frac{l}{360} \quad \text{Ecuacion 8}$$

Diseño Soleras

Se tomó como referencia el muro de mayor carga para el diseño de la solera, las secciones para el pre diseño por cargas de servicio estarán conformadas por cuatro culmos para entrepiso y

dos culmos para nivel techo en los muros en dirección “Y” y dos culmos para entrepiso y 1 culmo para nivel techo en los muros dirección “X”. Para su diseño las soleras se considerarán empotradas a los pies derechos debido a que los culmos que la conforman estarán ambas pernadas, generando un momento que se transmite al pie derecho.

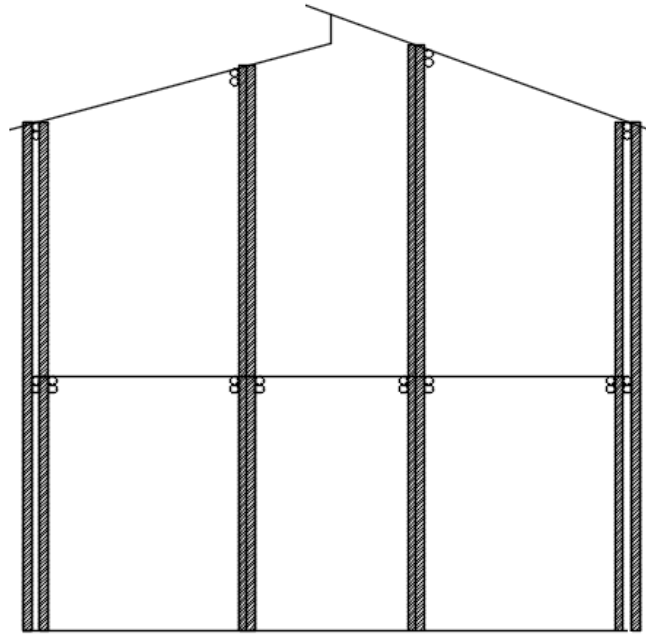


Figura 18. Vista X-Z configuración de soleras por cargas de servicio (Elaboración propia)

El momento admisible de la sección de la solera se calculó haciendo uso de la ecuación 5 y se verifica que este no sea superado por el máximo generado por las solicitaciones de cargas dadas.

Para el diseño por corte, se evalúa el máximo a una distancia h del apoyo, siendo h la altura de la sección, además la (NSR-10, 2010) menciona que para soleras se debe de realizar una corrección C_c al corte admisible, para secciones cuya longitud entre apoyos y diámetro externo del culmo sea menor a 15 ($L/De \leq 15$). En la tabla 6 se muestran los valores de C_c .

Tabla 6. Factor de modificación para corte C_c (NSR-10, 2010).

l/D_e	C_c
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Para el cálculo del corte paralelo a la fibra máximo admisible (Ecuación 6), donde (Q/I*t) Máx. es el señalado en la figura 19 para secciones de cuatro culmos (dos horizontales por dos verticales).

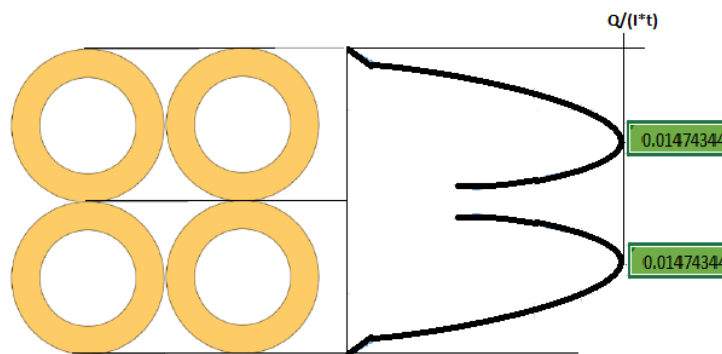


Figura 19. Q/I*t (1/cm²) máximo en sección de cuatro culmos (Elaboración propia)

Nota: La resistencia al corte paralelo a la fibra para secciones de dos culmos dispuestos verticalmente será la mitad del calculado para secciones de cuatro culmos mostrado en la figura 19 y dicha resistencia será proporcional al número de culmos colocados horizontalmente.

Posteriormente se verifica la resistencia al aplastamiento descrita con la ecuación 9 en los lugares donde se generen grandes cargas, para uniones donde el culmo está simplemente apoyado, se genera aplastamiento.

$$\frac{3 * P * De}{2 * t^2 * L} \leq \sigma(\text{diseño} - \text{compresion } \perp)$$

Ecuacion 9

Dónde:

P: Fuerza aplicada en sentido perpendicular a la fibra.

De: Diámetro externo del culmo

t: Espesor del culmo

L: Longitud entre apoyos

Finalmente se evaluará la solera por deflexión máxima admisible descrita en la ecuación 10 para elementos de entrepiso (soleras). Se compara esta deflexión límite por la producida por una combinación de carga igual a dos veces la carga permanente más la carga variable.

$$\delta = \frac{l}{240} \qquad \text{Ecuacion 10}$$

Diseño Pie derecho

Los pies derechos se diseñan con las condiciones en la base debido a que se suman las sollicitaciones a este nivel. Estos elementos estructurales se consideran elementos a flexo-compresión es por ello que se presenta el siguiente procedimiento.

Para definir el tipo de elemento a compresión se calculó la longitud efectiva (l_e).

$$l_e = l_u * k \qquad \text{Ecuacion 11}$$


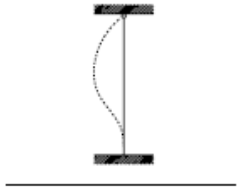


Dónde:

l_e = longitud efectiva

l_u = longitud no soportada lateralmente del elemento

k = coeficiente de longitud efectiva (tabla 7).

Tabla 7. Factor de longitud efectiva (NSR-10, 2010)

Condición de los apoyos	Gráficos	k_{e1}	k_{e2}
Empotrados en ambos extremos (1)		0.50	0.65
Impedido de desplazarse en ambos extremos y uno de ellos impedido de rotar (2)		0.70	0.85
Articulado en ambos extremos (3)		1.00	1.00
Empotrado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento (4)		1.00	1.20

Con la longitud efectiva del elemento se halla la esbeltez descrita con la ecuación 12 definiendo el radio de giro de la sección con la ecuación 13.

$$\lambda = le/r \quad \text{Ecuacion 12}$$

$$r = \sqrt{\frac{\text{Inercia}}{\text{Area}}} \quad \text{Ecuacion 13}$$

Para saber cuál es la resistencia del elemento a compresión se clasifica con los límites de esbeltez establecida en la tabla 8, definiendo el valor de C_k (ecuación 14).

$$C_k = 2,565 * \sqrt{\frac{E}{\sigma(\text{diseño} - \text{compresión})}} \quad \text{Ecuacion 14}$$

Tabla 8. Clasificación de columnas por esbeltez (NSR-10, 2010)

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$
Larga	$C_k < \lambda < 150$

Nota: Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150.

Finalmente, el esfuerzo de diseño a compresión para columnas según su clasificación será:

Para Columnas cortas (cc):

$$\sigma \text{ Admisible (cc)} = \sigma(\text{diseño} - \text{compresión}) \quad \text{Ecuacion 15}$$

Para columnas intermedias (ci):

$$\sigma \text{ Admisible (ci)} = \sigma(\text{diseño} - \text{compresión}) * \left(1 - \frac{2}{5} * \left(\frac{\lambda}{ck} \right)^3 \right) \quad \text{Ecuacion 16}$$

Para columnas largas (cl):

$$\sigma \text{ Admisible (cl)} = \frac{3,3 * E}{\lambda^2} \quad \text{Ecuacion 17}$$

Para el análisis a compresión se diseñó con la condición de que el pie derecho pandearía por el sentido menos rígido, por ende, el esfuerzo admisible por compresión sería el más desfavorable.

Cuando el pie derecho es sometido paralelamente a flexión debe cumplir con lo establecido en la ecuación 18.

$$\xi = \frac{\sigma(\text{actuante} - \text{compresion})}{\sigma(\text{Admisible} - \text{compresion})} + \frac{Kmi * \sigma(\text{actuante} - \text{flexión})}{\sigma(\text{diseño} - \text{flexión})} \leq 1 \quad \text{Ecuacion 18}$$

Siendo:

$$Kmi = \frac{1}{1 - 1,5 * \left(\frac{Na}{Ncri} \right)} \quad \text{Ecuacion 19}$$

$$N_{cri} = \frac{\pi^2 * E * I_i}{l_e^2}$$

Ecuación 20

Dónde:

Km= Coeficiente de magnificación de momentos.

Na= Carga de compresión actuante.

Ncr= Carga crítica de Euler.

Para el esfuerzo admisible por flexión se realizaron dos hipótesis ξ_1 y ξ_2 donde el primero toma en consideración los momentos en los ejes principales (X & Y) generando un momento actuante con un ángulo de inclinación con respecto a estos ejes, para este ángulo la sección tendrá un momento admisible.

ξ_2 tomará en cuenta únicamente el momento en el sentido con menor inercia lo que implica un momento admisible a flexión menor en algunas secciones.

Para la hipótesis ξ_1 se elaboraron las siguientes gráficas que describen el momento admisible de una sección en función de la inclinación de su eje neutro, estas gráficas fueron desarrolladas con la ecuación 5.

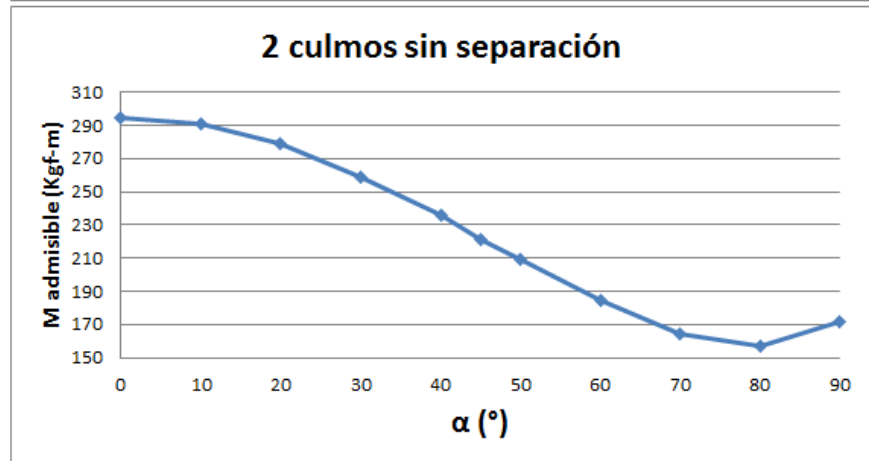
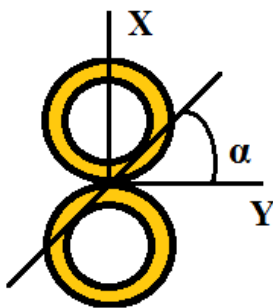
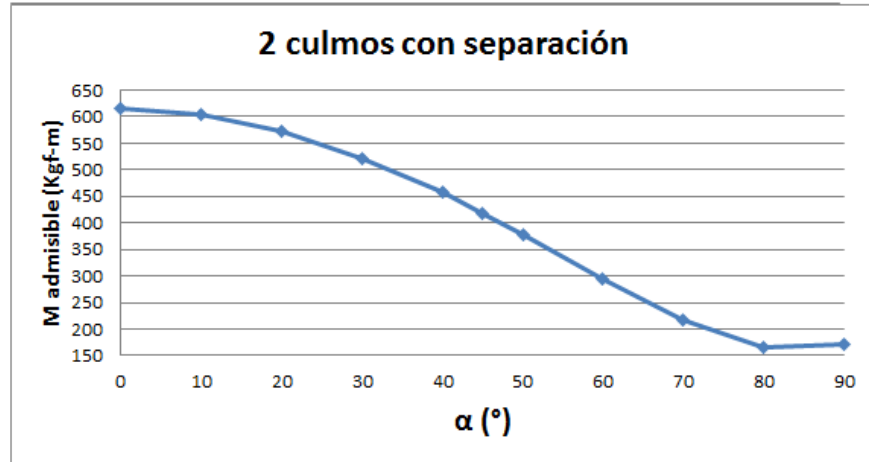
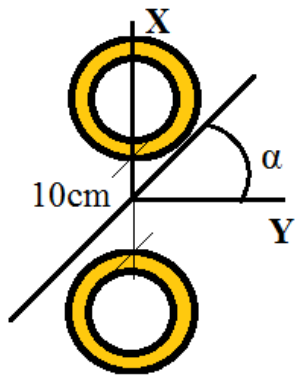


Figura 20. Momento admisible para secciones conformadas por dos culmos (Elaboración Propia)

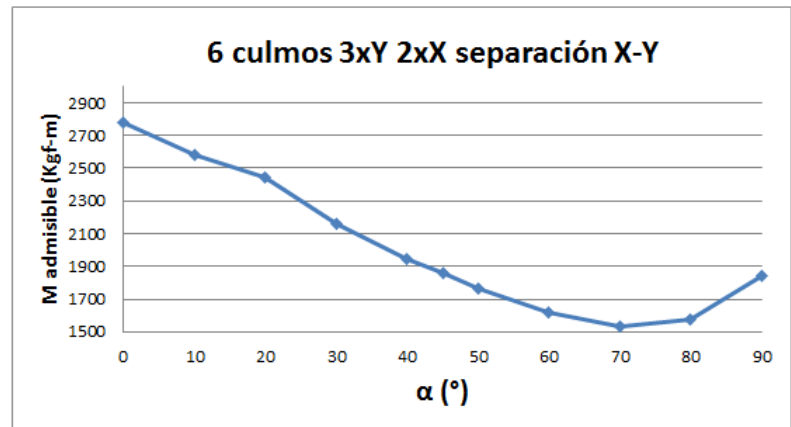
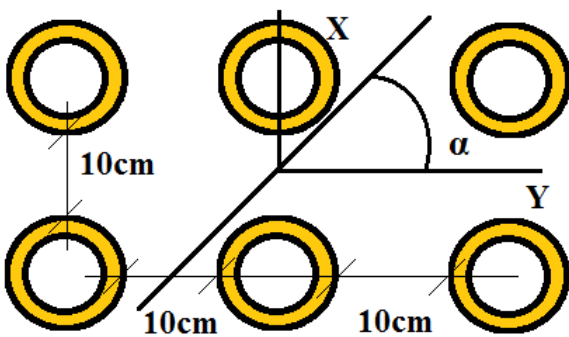


Figura 21. Momento admisible para secciones conformadas por seis culmos (Elaboración Propia)

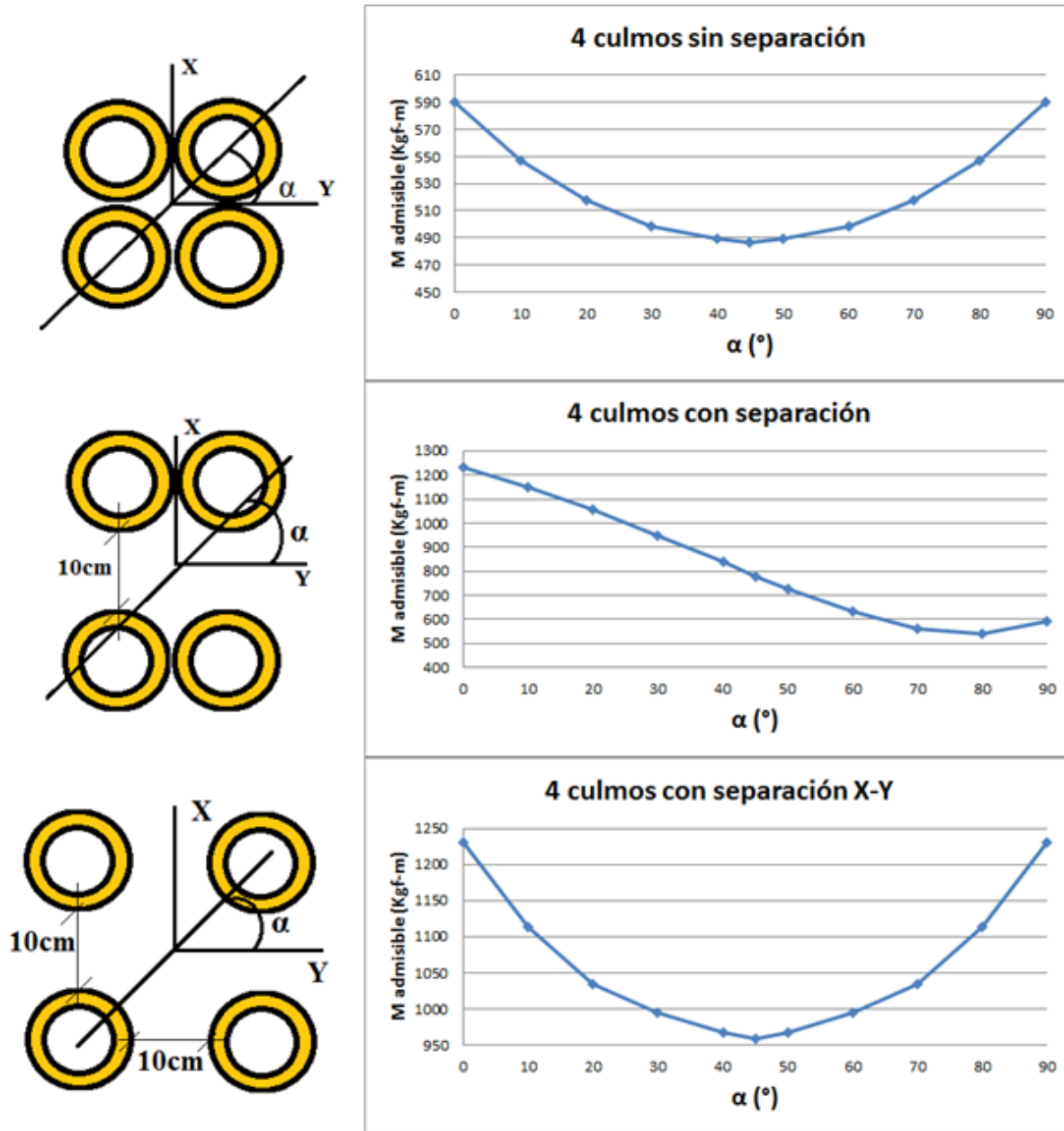


Figura 22. Momento admisible para secciones conformadas por cuatro culmos (Elaboración Propia)

Diseño de uniones

Para esta estructura se usaron uniones empernadas, donde su resistencia depende de la dirección de la sollicitación (perpendicular o paralela a la fibra), diámetro del culmo y diámetro del perno.

Los pernos se dispondrán, dependiendo del número de culmos y la carga que actúa sobre la unión, en el diseño de uniones que requieran más de un perno se tomará la carga actuante y dividirá por el número de perno.

La sollicitación de las uniones empernadas dependerá del miembro estructural a analizar, en las soleras las cargas son perpendiculares a la fibra del culmo, por lo tanto, se diseñarán con las fuerzas admisibles descritas por (Q).

En el caso del pie derecho la carga dependerá del miembro al cual este unido ya sea solera o diagonal, en el caso de unión con solera la carga estará paralela a la fibra por lo tanto se comparará su resistencia con los valores admisibles descritos por (P).

En uniones con diagonales el pie derecho recibirá las cargas con la inclinación que tenga, para verificar la resistencia de la unión, la fuerza se descompondrá en las componentes perpendiculares y paralela a la fibra (Q, P), verificando así las fuerzas admisibles correspondiente.

Las diagonales al recibir cargas paralelas a la fibra, su resistencia se verificará por los valores admisibles (P).

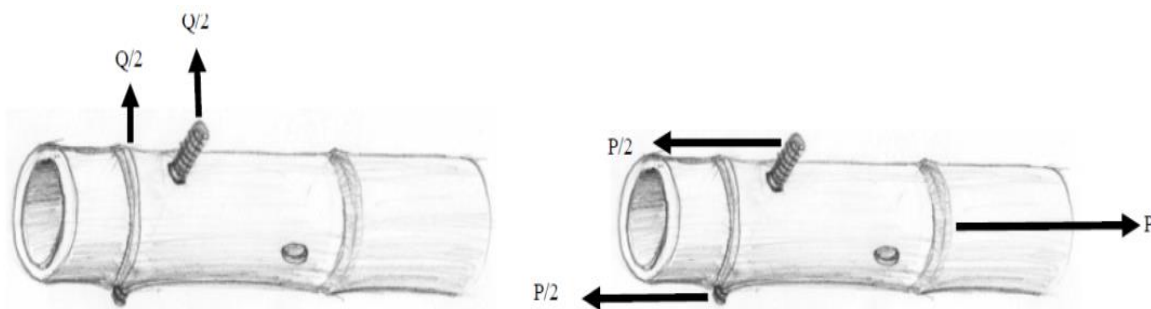


Figura 23. Sollicitaciones para uniones pernadas. (NSR-10, 2010)

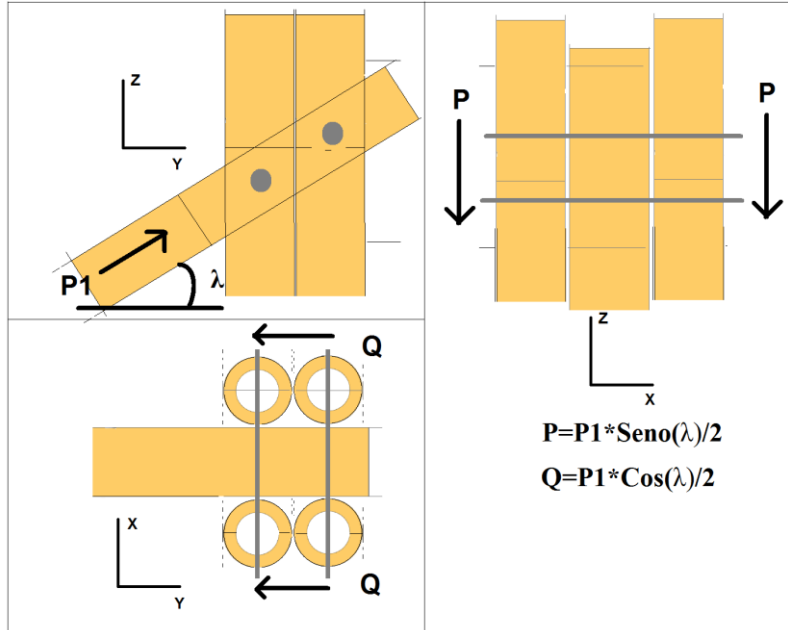


Figura 24. Distribución de fuerzas en unión con diagonal en pie derecho (Elaboración Propia)

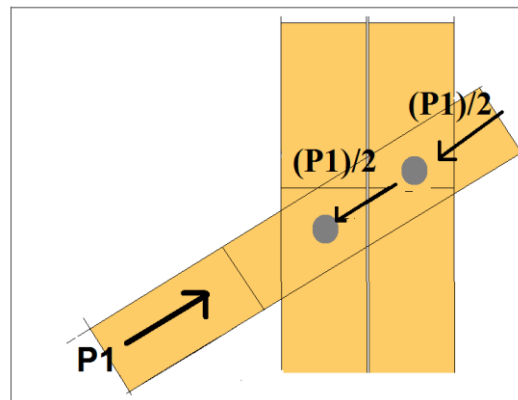


Figura 25. Distribución de fuerzas en unión con pie derecho en diagonal (Elaboración Propia)

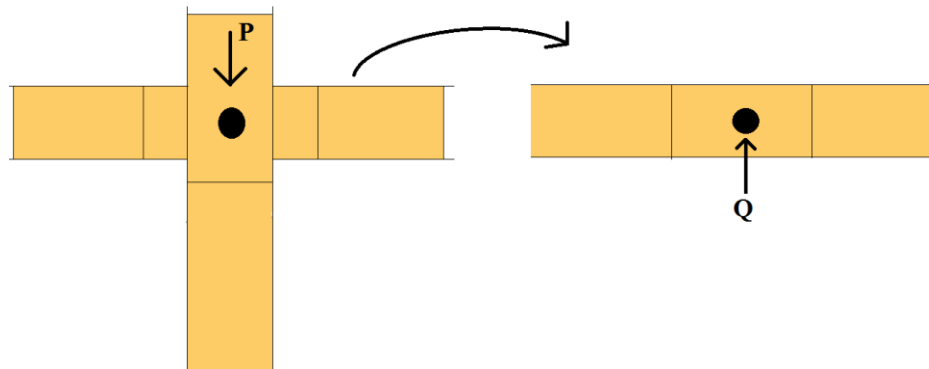


Figura 26. Distribución de fuerzas en unión Pie derecho-Solera (Elaboración Propia)

Tabla 9. Fuerza admisible para uniones empernadas (NSR-10, 2010)

Perno	De	P	Q	T
	(mm)	(N)	(N)	(N)
#3	80	7212	2885	2000
	90	8008	3203	2100
	100	8804	3522	2200
	110	9601	3840	2300
	115	10041	4016	2400
	120	10481	4193	2500
	125	10922	4369	2600
	130	11362	4545	2700
	135	11802	4721	2800
	140	12242	4897	2900
	150	13039	5216	3000
#4	80	9710	3884	2000
	90	9916	3966	2100
	100	10943	4377	2200
	110	11970	4788	2300
	115	12521	5009	2400
	120	13072	5229	2500
	125	13623	5449	2600
	130	14174	5670	2700
	135	14725	5890	2800
	140	15276	6110	2900
	150	16303	6521	3000
#5	80	11540	4616	2000
	90	12806	5122	2100
	100	13250	5300	2200
	110	14515	5806	2300
	115	15185	6074	2400
	120	15855	6342	2500
	125	16525	6610	2600
	130	17195	6878	2700
	135	17865	7146	2800
	140	18535	7414	2900
	150	19800	7920	3000

Diseño por Cargas de servicio

Para dimensionar los muros se realizó un diseño tomando solo en cuenta las cargas de servicio, este diseño tiene como fin obtener dimensiones previas para la evaluación sísmica de la edificación. Las dimensiones del muro se ajustaron mediante la resistencia que presentaron las soleras, teniendo la resistencia de la solera y las cargas aplicadas sobre la misma, se dispuso a ubicar pie derechos separados entre sí a una distancia tal que, las solicitaciones no sobrepasaran su resistencia.

Los pies derechos en la parte central de los muros, están conformados por secciones de dos culmos y cuatro culmos en los bordes. Las secciones del pie derechos en los muros exteriores tienen como característica tener una separación entre culmo de 10cm. en dirección X para posteriormente ubicar diagonales en este espacio.

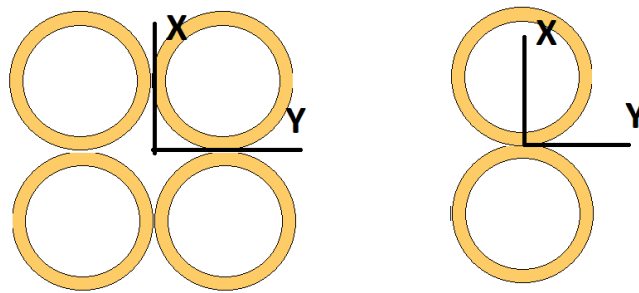


Figura 27. Secciones pie derechos muros B y C (internos) (Elaboración Propia)

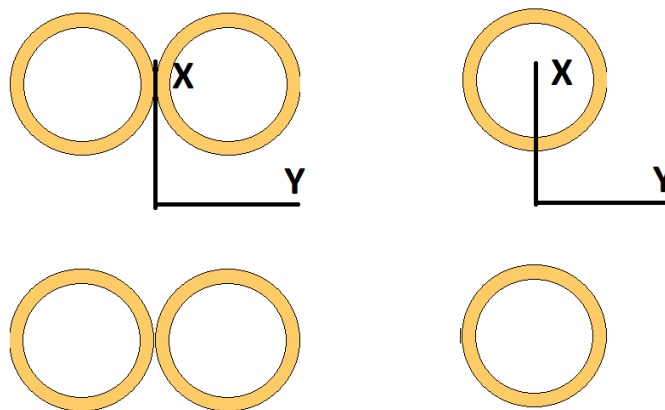


Figura 28. Secciones pie derechos muros A y D (exteriores) (Elaboración Propia)

Diseño sísmico

Análisis Dinámico Lineal

Ya obtenido el diseño por carga de servicio se procedió a tomar en consideración el efecto del sismo sobre la estructura, para otorgarle resistencia lateral a los muros se agregaran diagonales a los muros exteriores (A, D, 1, 12), las diagonales se anclaran a los pie derechos desde la base al primer piso y del primer piso al techo, el ángulo de inclinación de las diagonales dependerá del espacio disponible pero siempre manteniéndolo cercano a 45° , siempre que dicha configuración no genere cortes excesivos en los pie derechos. Posteriormente se agregarán a los muros culmos horizontales separados 1m verticalmente para darle una distribución uniforme a los esfuerzos cortantes en pie derechos.

El espectro de diseño de la edificación se definió haciendo usó de la norma venezolana (COVENIN 1756, 2001), para una vivienda unifamiliar (tipo B2), ubicada en una zona de peligro sísmico intermedio (Zona 4), con aspectos geotécnicos que permita el uso de una forma espectral tipificada S2 con un factor $\varphi=0,8$. El factor de reducción de respuesta (R), al igual que el amortiguamiento (ξ) se definió según lo descrito en la (NSR-10, 2010) para estructuras de guadua con diagonales. En particular el amortiguamiento recomendado por dicha norma es del 5%.

Tabla 10. Resumen aspectos sísmicos.

Aspectos Sísmicos	
α	1
Forma espectral	S2
φ	0.8
A_0	0.25
R	2
T^*	0,7
β	2.6
p	1
ξ	5%

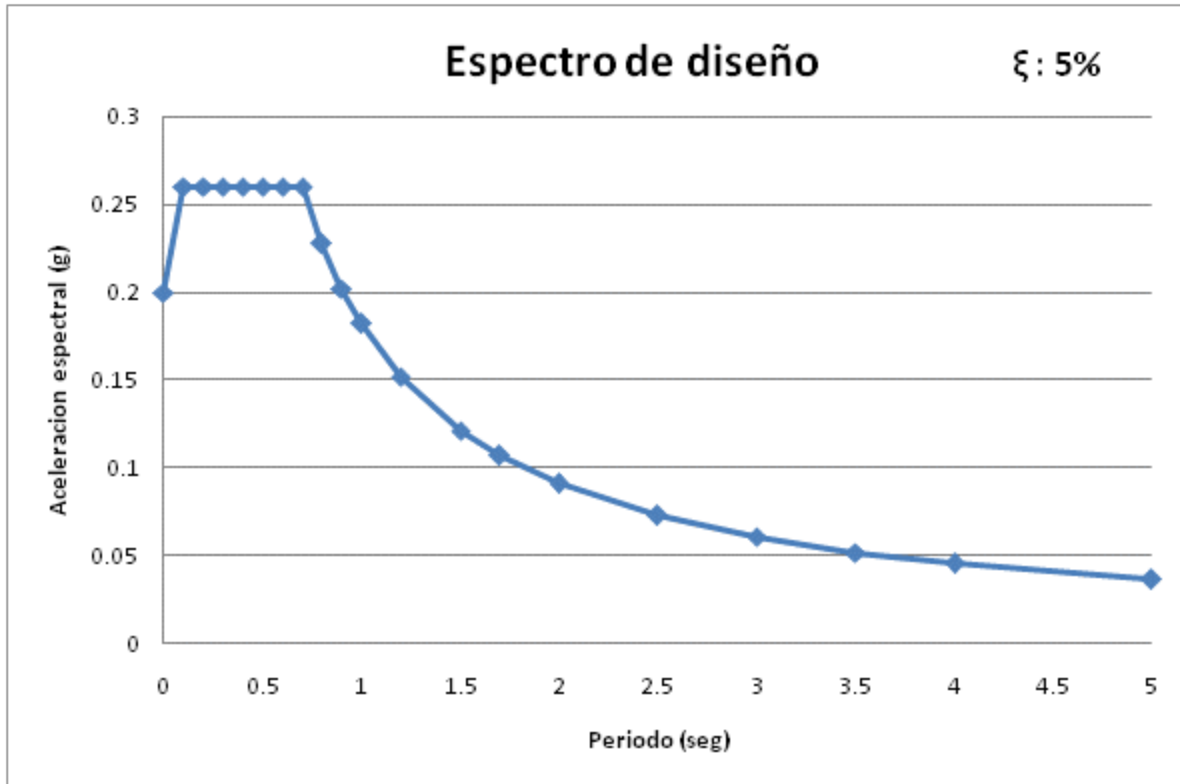


Figura 29. Espectro de diseño (Elaboración propia)

El peso sísmico de la edificación será un 100% de la carga permanente más un 25% de la carga variable del entrepiso, en el nivel techo no se tomó en cuenta el peso proveniente de la carga variable debido a que es un techo no accesible, esta masa se distribuyó de manera uniforme en las losas.

Desplazamiento

Para la determinación del desplazamiento de la estructura se usó lo establecido en la norma venezolana (COVENIN 1756, 2001) el cual establece el cálculo de la deriva de la estructura mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta i = 0.8 * R * \Delta e_i \tag{Ecuación 21}$$

Dónde:

R: Factor de reducción

Δe_i : Deriva lateral del nivel “i” calculado para las fuerzas de diseño, suponiendo que la estructura se comporta elásticamente.

La deriva entre dos niveles consecutivos será calculada con la ecuación 22:

$$\delta i = \Delta(i) - \Delta(i - 1) \quad \text{Ecuación 22}$$

Ya determinada la deriva, se divide entre la altura entre los pisos consecutivo, con este valor se verifica los límites establecidos en la tabla 11.

$$\frac{\delta i}{h} \quad \text{Ecuación 23}$$

Tabla 11. Control de derivas

	$\delta i / h$
Elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura para estructuras tipo B2 (COVENIN 1756, 2001)	0,018
Elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura para estructuras tipo B2 (COVENIN 1756, 2001)	0,024
Estructuras de concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería (NSR-10, 2010)	0,010

Los límites para la deriva incluidos en la Tabla 11, aplican para estructuras de madera incluida la guadua según los establecido en el Título G de la (NSR-10, 2010).

Para el caso de las estructuras Tipo B2 establecidas en la (COVENIN 1756, 2001) se encuentran las viviendas con baja ocupación (unifamiliar) y se consideró conveniente verificar que el límite de la deriva también podía aplicarse a la guadua, lo cual se verificó en la Tabla 29 del próximo capítulo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Propiedades de las secciones

Los culmos en el diseño tendrán secciones de 10cm.de diámetro con 1cm. espesor. El módulo de elasticidad a usar será el común entre los ensayos realizados por (Kosler & Carballo, 2018) y las investigaciones realizadas por (Ahmar & Chacón, 2018), siendo este 130000 Kgf/cm².

Las secciones usadas en el diseño de los muros se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 12. Propiedades y valores admisibles pie derechos y soleras.

Secciones	Area (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Mx adm (Kgf-m)	My adm (Kgf-m)	Q/Ix*t (cm ⁻²)	Q/Iy*t (cm ⁻²)	Vx adm (Kgf)	Vy adm (Kgf)
Secciones Pie derechos									
2 culmos sin separacion	56,5	580	1993	172	295	0,03506	0,02949	339	285
2 culmos con separacion (X)	56,5	580	6235	172	615	0,03506	0,02183	458	285
4 culmos sin separacion	113,1	3987	3987	590	590	0,01474	0,01474	678	678
4 culmos con separacion (X)	113,1	3987	12469	590	1230	0,01474	0,01092	916	678
4 culmos con separacion (X-Y)	113,1	12469	12469	1230	1230	0,01092	0,01092	916	916
6 culmos 2xX, 3xX separacion Y	169,6	46978	5979	885	2781	0,00645	0,0098	1017	1550
6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	169,6	18702	46978	1845	2781	0,00728	0,00645	1550	1374
Secciones soleras									
1 culmo	28,3	290		85		0,07011		143	
2 culmos	56,5	1994		291		0,02949		339	
4 culmos	113,1	3987		582		0,01474		678	
6 culmos 3x2	169,6	5981		873		0,00983		1018	
6 culmos 2x3	169,6	13050		1270		0,00620		1613	

Nota: Los esfuerzos admisibles usados son, para flexión 146 kgf/cm² y para corte 10 kgf/cm², la separación entre culmo es de 10cm. (figura 20, 21, 22). La solera de (6 culmos 3x2) dispone de 3 culmos horizontales por 2 verticales y la solera (6 culmos 2x3) dispone de 2 culmos horizontales por 3 verticales.

Arquitectura

El diseño arquitectónico a analizar es tomado del trabajo (Ahmar & Chacón, 2018) el cual plantea una vivienda unifamiliar de dos pisos con dimensiones en planta de 7x11 metros, el entrepiso de la vivienda contara con una discontinuidad en la losa para hacerle espacio a las escaleras, las escaleras tendrán que estar aislada a la estructura para evitar que interfiera con la dinámica estructural (Figura 30).

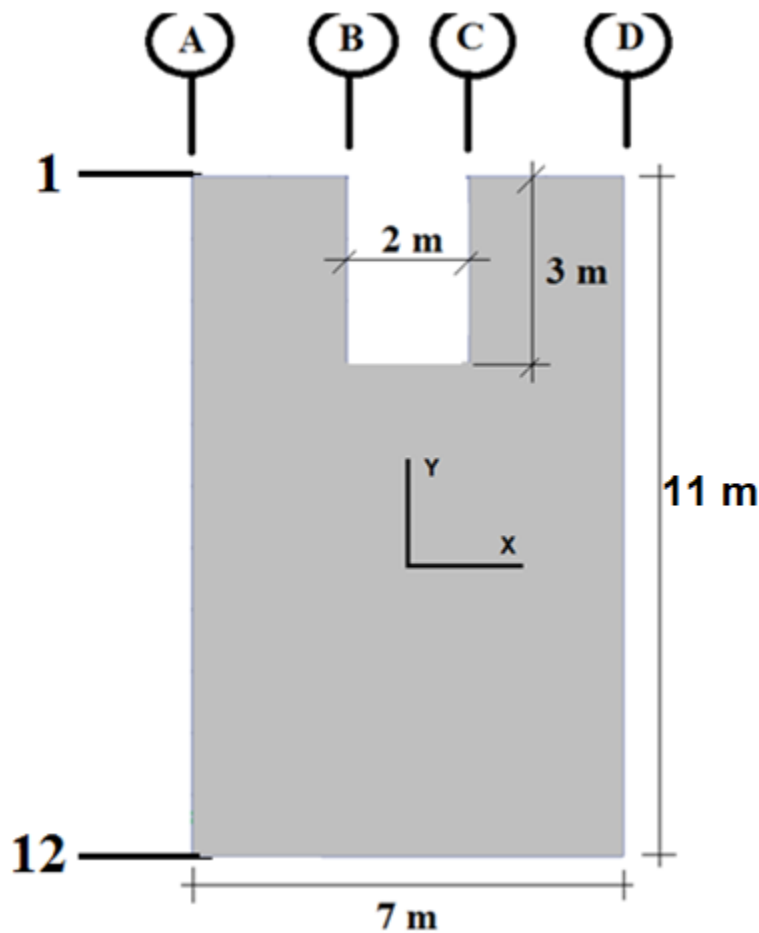


Figura 30. Disposición de espacio para escaleras entrepiso (Elaboración propia)

Se optó por un techo de dos aguas con ángulos de inclinación de 15° y 20° no accesible para disminuir la carga variable y el peso sísmico (Figura 16). El techo sobresaldrá 30cm del perímetro de la vivienda, este techo contará con un solape en el punto medio de la planta donde la losa con mayor inclinación sobrepasará este punto por 30cm (Figura 16).

Los muros donde se apoyarán las losas estarán ubicados en los ejes A, B, C y D, los ejes centrales B y C están ubicados de esta forma para no interferir con la ubicación de las escaleras.

Los muros diagonalizados se ubican en el perímetro de la estructura mientras que los ejes B y C ubican muros sin diagonales (de carga).

Diseño por cargas de servicio

Losa

Para el diseño de la losa, se aproximó el comportamiento del suelo cemento en compresión a uno lineal, la losa al contar también con la guadua se empleó el procedimiento establecido en el (Hibbeler, 1998) para vigas compuesta por más de un material.

$$E(\text{suelo cemento}) = 915\text{Kg}/\text{cm}^2$$

$$E(\text{guadua}) = 130.000\text{Kg}/\text{cm}^2$$

$$\frac{E(\text{suelo cemento})}{E(\text{guadua})} = n = 0,00704$$

Para una losa de 100cm de ancho la sección transformada de suelo cemento a guadua será de 0,70 cm.

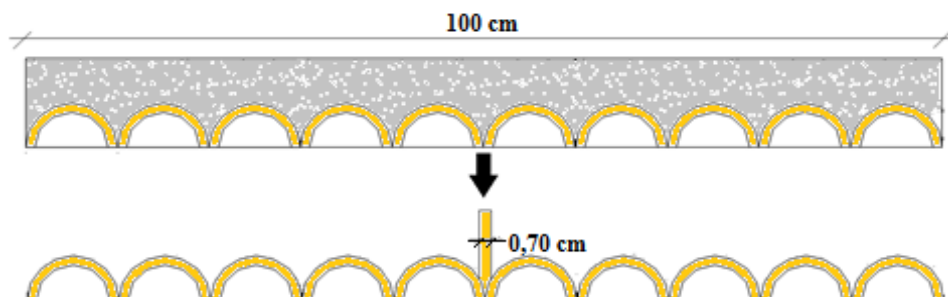


Figura 31. Transformada suelo cemento a guadua (Elaboración propia)

Con la ecuación 3 se halla el eje neutro de la sección:

$$\bar{Y} = \frac{10 * \left(\left(\frac{\pi}{2} * 5^2 \right) * \left(\frac{4}{3 * \pi} * 5 \right) - \left(\frac{\pi}{2} * 4^2 \right) * \left(\frac{4}{3 * \pi} * 4 \right) \right) + 0,70 * 6,07 * 7}{10 * \frac{\pi}{2} * (5^2 - 4^2) + 0,70 * 6,07} = 3,00 \text{ cm}$$

La inercia de la sección se calcula con la ecuación 4:

$$Inercia \bar{Y} = 2701 \text{ cm}^4$$

El mayor momento se produce en la fibra inferior de la guadua siendo la distancia desde el eje neutro hasta dicha igual a \bar{Y} .

Se procedió al cálculo del momento y corte máximo admisible de la sección (ecuación 5, 6):

$$M(\text{max} - \text{adm}) = \frac{161 * 2701}{3,00 * 100} = 1450 \text{ Kgf} - m$$

$$V(\text{max} - \text{adm}) = \frac{11 * 10}{0,0371} = 2965 \text{ Kgf}$$

Estos valores serán utilizados para la verificación de resistencia para las diferentes losas en la estructura.

Losa Techo

Para el diseño de las losas techo, se utilizó la longitud adyacente al ángulo de inclinación con el peso equivalente uniformemente distribuida (Tabla 4).

$$\text{Carga de servicio} = C_p + C_v$$

$$\text{Carga de servicio Techo (15°)} = 152 + 50 = 202 \text{ kgf/m}^2$$

$$\text{Carga de servicio Techo (20\%)} = 156 + 50 = 206 \text{ kgf/m}^2$$

La deflexión máxima admisible del techo (Ecuación 7) para una luz entre apoyos de 2,50m:

$$\delta = \frac{2500}{180} = 14 \text{ mm}$$

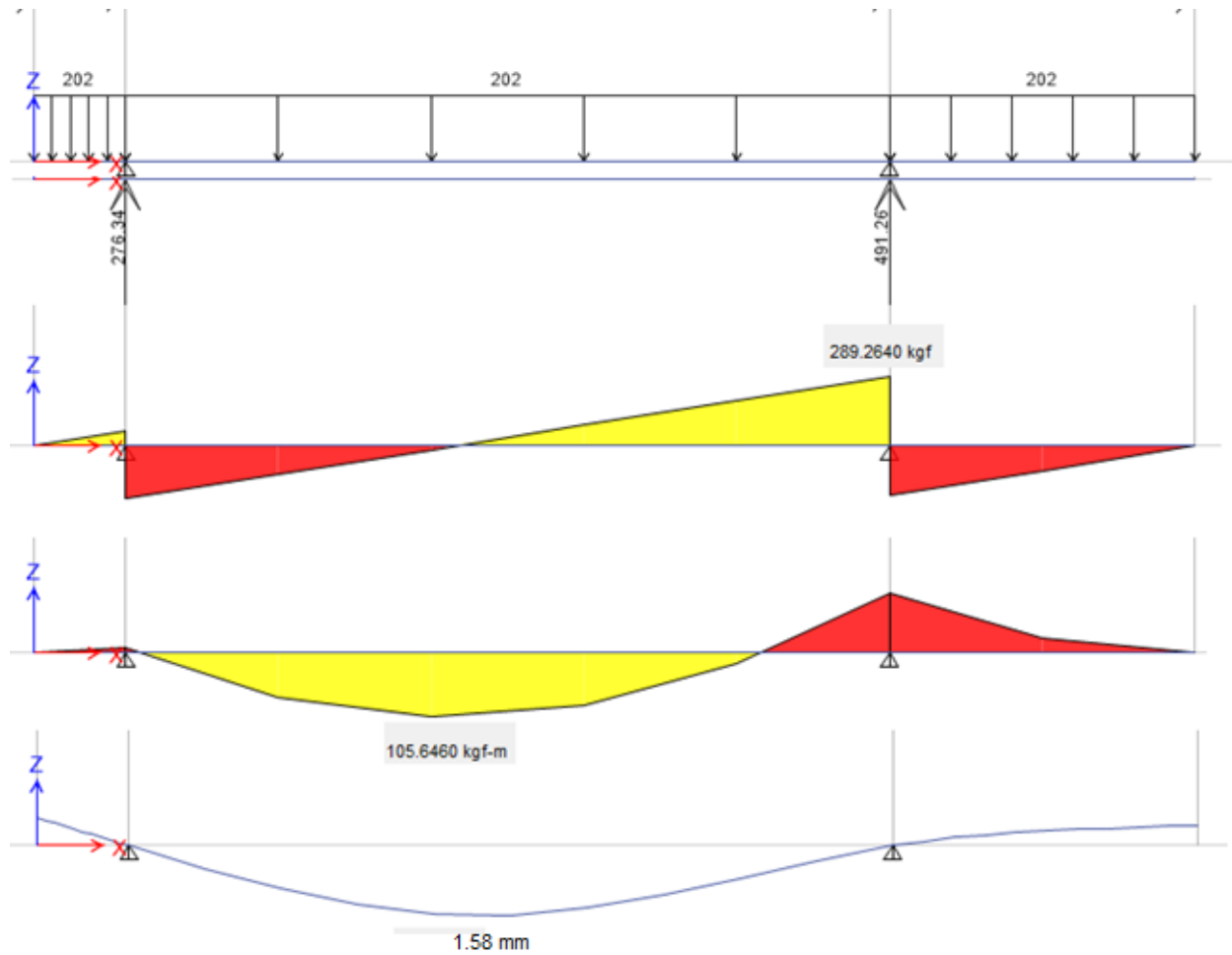


Figura 32. Reacciones y diagramas de corte, momento y deflexión de losa techo 1 ante cargas de servicio (Elaboración Propia)

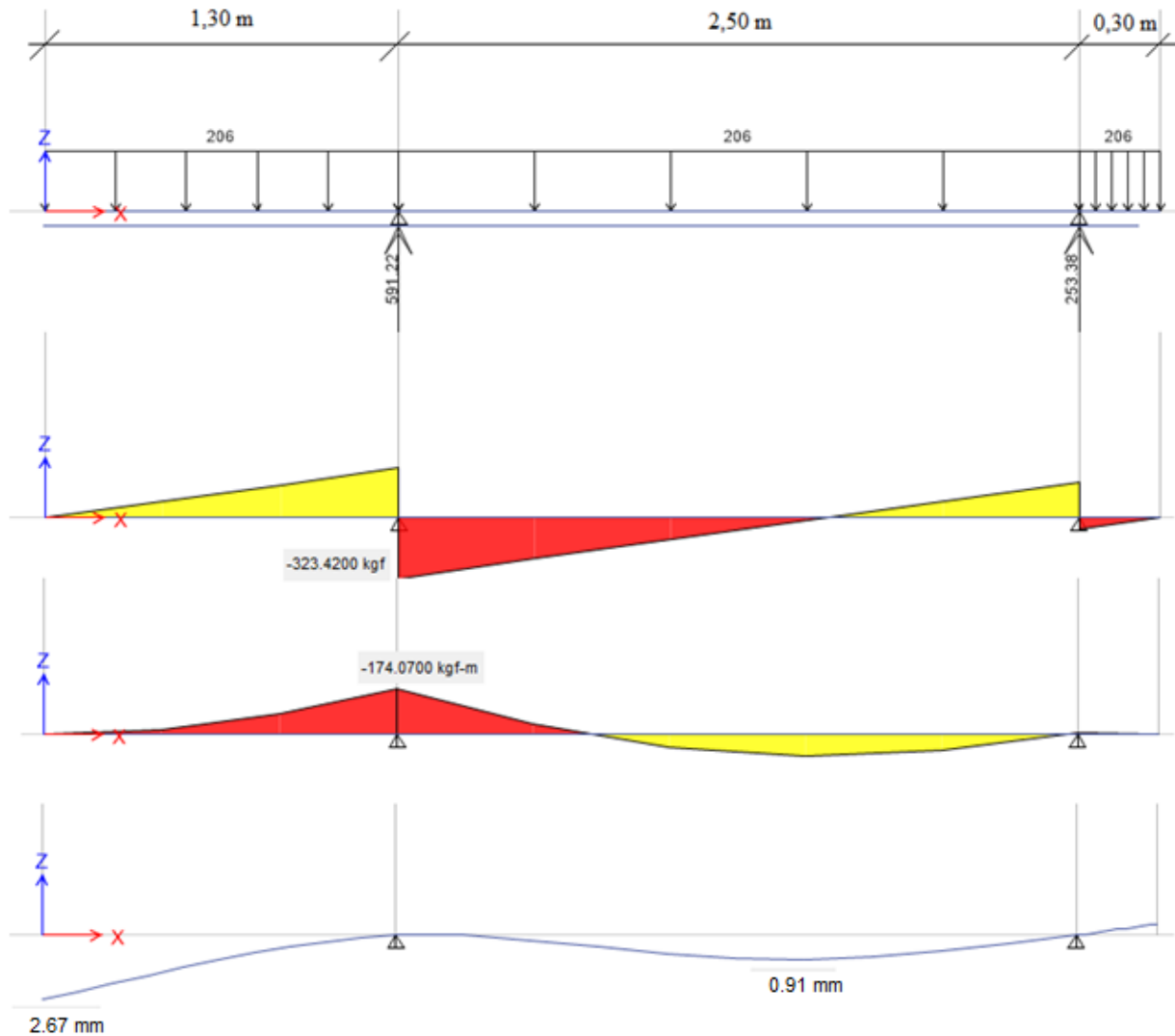


Figura 33. Reacciones y diagramas de corte, momento y deflexión de techo 2 ante cargas de servicio (Elaboración Propia)

Se observa a través de las figuras 32 y 33 que las losas de techo resisten el corte y momento máximo al igual que estas no superan la deflexión admisible.

Losa entrepiso

La losa entrepiso se analizará solamente para el entramado mas largo debido a que este generamayores solicitaciones a los muros asumiendalas constante a lo largo de los muros.

Para el calculo de la deflexion admisible de la losa de entrepiso (Ecuacion 8) se tomara la longitud entre apoyo de 2,50m lo que da como resultado:

$$\delta = \frac{2500}{360} = 7 \text{ mm}$$

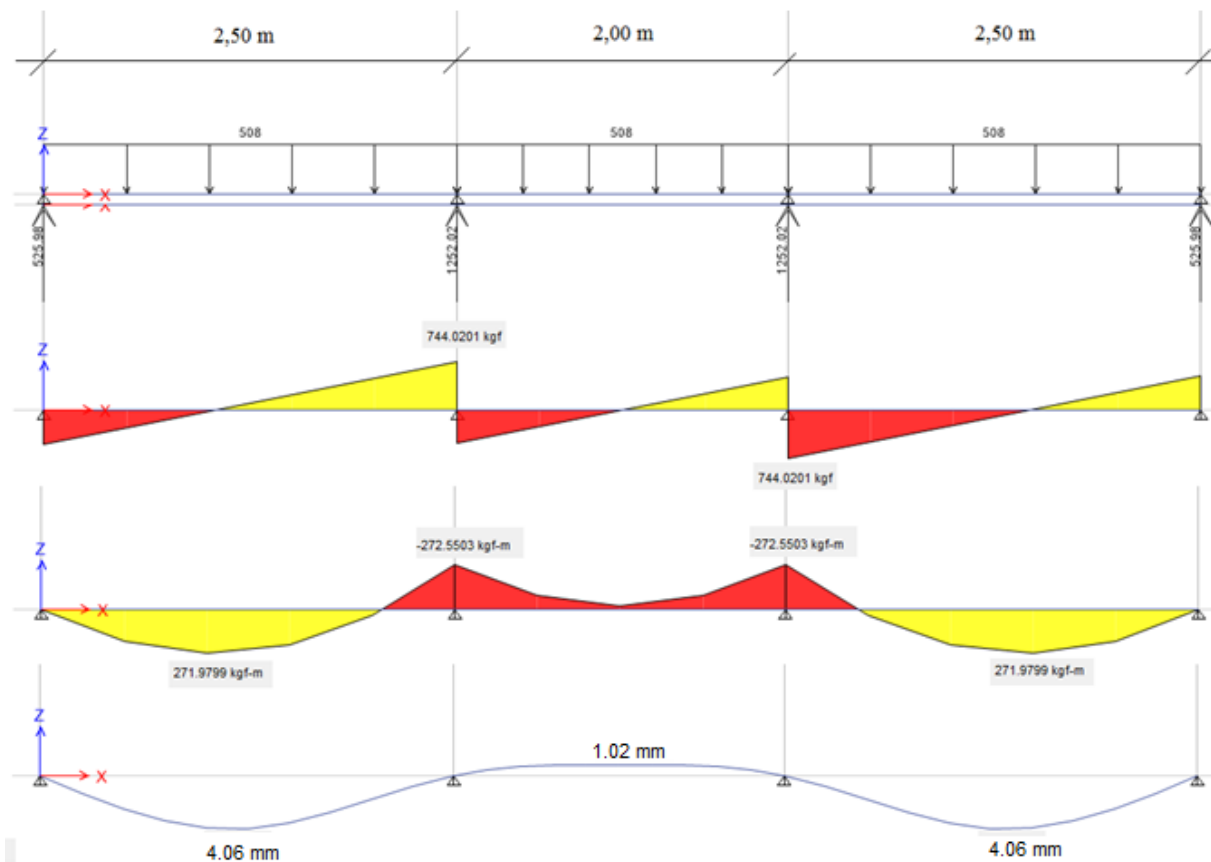


Figura 34. Reacciones y diagramas de corte, momento y deflexión de losa entrepiso ante cargas de servicio (Elaboración Propia)

Los momentos y corte maximo generados en la losa entrepiso no superan los admisibles al igual que la deflexion.

Muros

Con las reacciones proveniente del techo, entrepiso y peso propio de las soleras se procede a hallar una distancia entre pie derecho que permitan a las soleras no exceder los esfuerzos admisibles, siendo el corte paralelo a la fibra el más desfavorable.

Para cargar las soleras se tomó las siguientes consideraciones:

- Los muros perimetrales cargaran la fachada del nivel entrepiso al techo, siendo esta carga igual a 540 kgf/m (ladrillos de arcilla de 10cm de espesor frisados por ambas caras con 3m de alto).
- Las soleras de los muros en dirección “Y” del entrepiso estarán conformados por secciones de 4culmos y en nivel techo por 2 culmos (Tabla 12).
- Las soleras de los muros en dirección “X” del entrepiso estarán conformados por secciones de 2 culmos y en el nivel techo por 1 culmo (Tabla 12).
- Cada culmo de solera tendrá un peso de 6,57 kgf/m.

A continuación, se presenta en la (tabla 13) las cargas que tendrán que soportar las soleras en los muros:

Tabla 13. Resumen de cargas sobre soleras en los muros.

		Muro A	Muro B	Muro C	Muro D	Muro 1; 12
Techo	Cp (Kgf/m)	221	383	462	205	7
	Cv (Kgf/m)	71	126	153	65	0
Entrepiso	Cp (Kgf/m)	911	847	847	911	553
	Cv (Kgf/m)	181	431	431	181	0

Las cargas en entrepiso para los muros B y C son las más desfavorables, es por ello que la suma de estas definirán la carga para posteriormente determinar la distancia entre pie derechos.

El corte admisible de las soleras es el mostrado en la (tabla 12), este corte se modificará con el factor (Cc) el cual depende de la relación entre el diámetro del culmo y la longitud entre apoyos, los valores de este factor es el mostrado en la (tabla 6). Las solicitaciones de corte se evaluarán a una distancia igual a la altura de la sección desde el apoyo (20cm del apoyo)

Ya definido el corte admisible se procede a realizar el modelado del muro, variando la distancia entre los pies derechos de manera que éste no sea superado.

A continuación, se presenta tablas con las distancias entre pies derechos, el corte admisible modificado por el factor (Cc) y el máximo que se generan en las soleras por cargas de servicio.

Tabla 14. Iteración por corte en solera muros en dirección Y (cargas de servicio).

Distacia entre pie derechos (m)	V adm (Kgf)	Cc	Vadm. Modificado	V max.
3	678	1	678	1772
2	678	1	678	1098
1	678	0.835	566	413

Tabla 15. Iteración por corte en solera muros en dirección X (cargas de servicio).

Distacia entre pie derechos (m)	V adm (Kgf)	Cc	Vadm. Modificado	V max.
2.5	339	1	339	607
1.25	339	0.9	305	268

Se puede observar en las (tablas 14 y 15) que el corte máximo que puede soportar la solera en muros dirección “Y” se generan con separaciones de 1,00 m., y en dirección “X” de 1,25m., a partir de estos resultados se evaluará la resistencia y deflexión en las soleras.

$$\delta(adm) = \frac{1000}{240} = 4,2 \text{ mm}$$

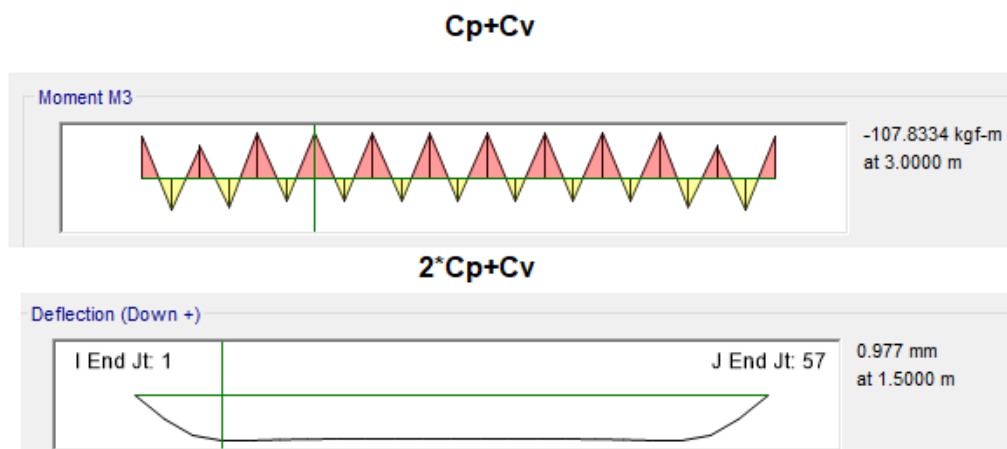


Figura 35. Verificación de momento y deflexiones en solera (Elaboración Propia)

Ya verificada las soleras se evaluará la resistencia de los pies derechos con el criterio de flexo-compresión. Este criterio será aplicado a las secciones desde planta baja al entrepiso. Para

aplicar este criterio se consideró las excentricidades generadas por la disposición de las soleras, mostradas en la (figura 36 y 37).

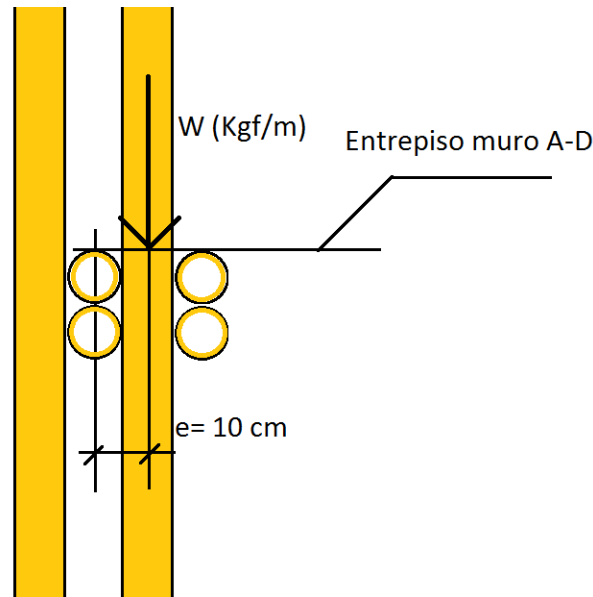


Figura 36. Ubicación de excentricidades en muros A-D(Elaboración propia)

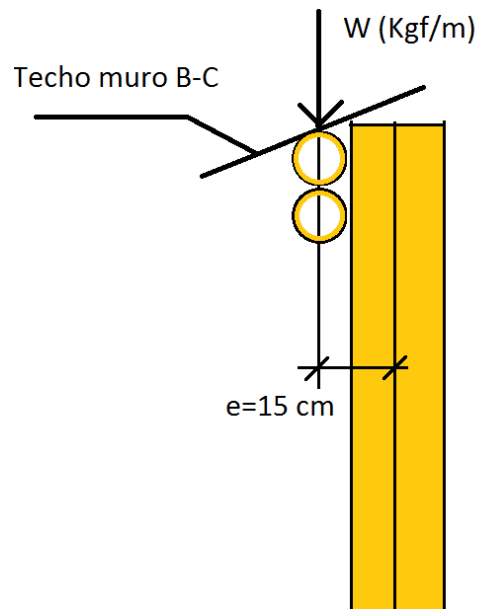


Figura 37. Ubicación de excentricidades en muros B-C (Elaboración propia)

La inercia débil de las secciones estará alrededor del eje "X", por lo tanto, se evaluó la deformada que se generan en el plano Y-Z y definió la longitud equivalente que tendrá la sección haciendo uso de la (tabla7).

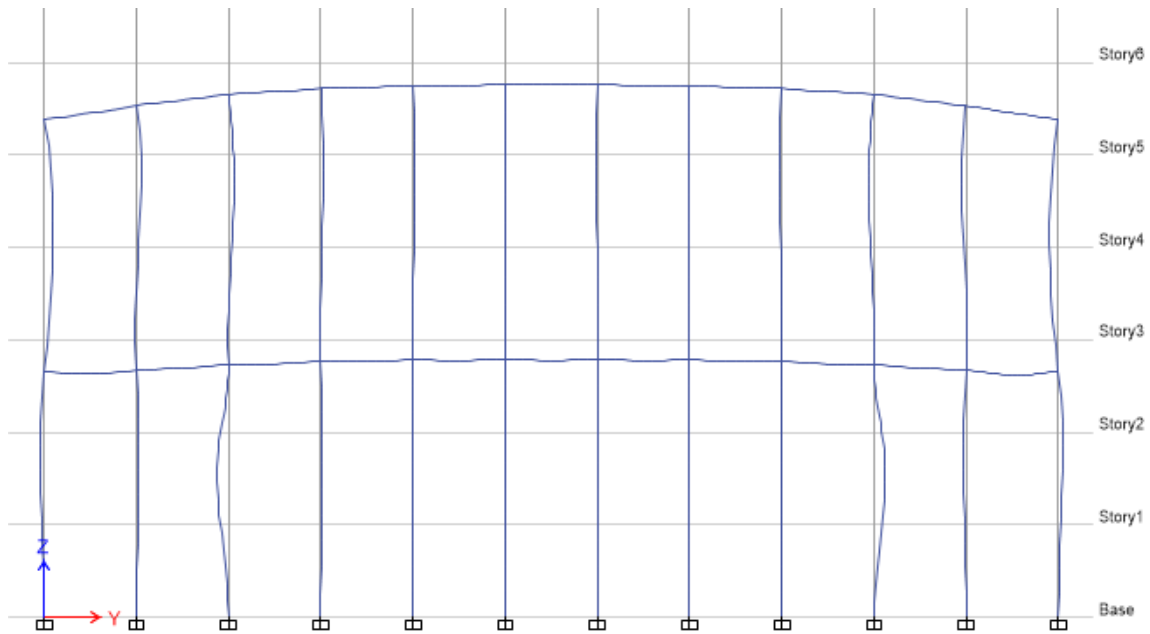


Figura 38. Evaluación de deformada en pie derecho por cargas de servicio (Elaboración Propia)

La deformada en los pies derechos se asemeja al caso N° 2 descrito en la (tabla 7) para secciones empotradas-articuladas ($K=0,85$) por lo tanto la longitud equivalente de las secciones será:

$$Le = 300 * 0,85 = 255 \text{ cm}$$

A continuación, se presenta en la (tablas 17) la evaluación de los pies derechos por el criterio de flexo-compresión para los muros A-D, B-C y 1-12 respectivamente, en la (tabla 16) se muestran las secciones evaluadas.

Tabla 16. Secciones de pie derechos para cargas de servicio.

Pie derecho	Secciones			
	Muro A-D	Muro B-C	Pie derecho	Muro 1-12
1	4 culmos con separacion en X	4 culmos	A	4 culmos con separacion en X
2	2 culmos con separacion en X	2 culmos	A''	1 culmo
3	2 culmos con separacion en X	2 culmos	B	4 culmos
4	2 culmos con separacion en X	2 culmos	B''	1 culmo
5	2 culmos con separacion en X	2 culmos	B'''	1 culmo
6	2 culmos con separacion en X	2 culmos	C	4 culmos
7	2 culmos con separacion en X	2 culmos	C''	1 culmo
8	2 culmos con separacion en X	2 culmos	D	4 culmos con separacion en X
9	2 culmos con separacion en X	2 culmos		
10	2 culmos con separacion en X	2 culmos		
11	2 culmos con separacion en X	2 culmos		
12	4 culmos con separacion en X	4 culmos		

Tabla 17. Evaluación por flexo-compresión, cargas de servicio en pies derechos.

Pie derecho	compresión Kgf	MomentoX Kgf-m	MomentoY Kgf-m	M actuante Kgf-m	$\alpha(^{\circ})$	M adm° Kgf-m	M adm X Kgf-m	P adm Kgf	Km	ξ_1	ξ_2
A-D											
1	4321	18	51	54	19	1060	590	13638	1.090	0.37	0.35
2	2074	4	55	55	4	611	172	4529	1.374	0.58	0.49
3	1692	12	56	57	12	598	172	4529	1.285	0.50	0.46
4	1485	2	62	62	2	613	172	4529	1.242	0.45	0.34
5	1389	1	63	63	1	614	172	4529	1.223	0.43	0.31
6	1356	0	63	63	0	615	172	4529	1.216	0.42	0.30
7	1356	0	63	63	0	615	172	4529	1.216	0.42	0.30
8	1389	1	63	63	1	614	172	4529	1.223	0.43	0.31
9	1485	2	62	62	2	613	172	4529	1.242	0.45	0.34
10	1692	12	56	57	12	598	172	4529	1.285	0.50	0.46
11	2075	4	55	55	4	611	172	4529	1.374	0.58	0.49
12	4328	18	51	54	19	1060	590	13638	1.090	0.37	0.35
B-C											
1	4041	29	34	45	40	489	590	13638	1.083	0.40	0.35
2	2280	1	2	2	27	266	172	4529	1.427	0.52	0.51
3	2130	1	1	1	45	221	172	4529	1.388	0.48	0.48
4	2016	1	0	1	90	172	172	4529	1.359	0.45	0.45
5	1974	0	0	0	0	295	172	4529	1.349	0.44	0.44
6	1961	0	0	0	0	295	172	4529	1.346	0.43	0.43
7	1963	0	0	0	0	295	172	4529	1.347	0.43	0.43
8	1977	0	0	0	0	295	172	4529	1.350	0.44	0.44
9	2021	1	0	1	90	172	172	4529	1.361	0.45	0.45
10	2133	1	1	1	45	221	172	4529	1.388	0.48	0.48
11	2278	1	2	2	27	266	172	4529	1.426	0.51	0.51
12	4032	29	34	45	40	489	590	13638	1.083	0.39	0.35
.1-12											
A	4328	18	51	54	19	1060	590	13638	1.090	0.37	0.35
A''	845	1	0	1	90	611	172	2265	1.285	0.38	0.38
B	4032	29	34	45	40	489	172	13638	1.083	0.39	0.48
B''	704	1	1	1	45	615	172	2265	1.226	0.31	0.32
B'''	704	1	1	1	45	615	172	2265	1.226	0.31	0.32
C	4032	29	34	45	40	489	172	13638	1.083	0.39	0.48
C''	845	1	0	1	90	615	172	2265	1.285	0.38	0.38
D	4328	18	51	54	19	1060	590	13638	1.090	0.37	0.35

Diseño por cargas totales

Ya verificado la resistencia de los pies derechos se realizará el diseño por cargas totales, para lograr que la vivienda resista las acciones sísmicas se definieron dos direcciones del sismo que representan las mayores solicitaciones para los muros.

La dirección la cual están dispuestas las diagonales representan las más críticas debido a que se generarán las mayores solicitaciones a estas, por lo tanto, las combinaciones de carga para el diseño serán las siguientes:

Combo 1: $C_p + C_v(+/-)Sh''X''(+/-)S_v$

Combo 2: $C_p + C_v(+/-)Sh''Y''(+/-)S_v$

Donde $Sh''Y''$ y $Sh''X''$ son un 100% del sismo de diseño.

El sismo vertical queda definido como (COVENIN 1756-2001):

$$S_v = C_p * (0,2 * \alpha * \varphi * \beta * A_o) = 0,104 * C_p$$

El modelado de la estructura se realizó por medio del software Etabs (2016). Para el análisis dinámico horizontal de la estructura se asumió que las losas se comportan como diafragmas rígidos, con lo cual se obtienen tres modos de vibración por piso y seis modos de vibración totales. A tal efecto, en el nivel techo los muros B y C se consideraron conectados por culmos para garantizar el trabajo en conjunto de los dos techos y mantener el criterio de losa rígida. El peso sísmico de la edificación se distribuirá uniformemente en las losas de entepiso y techo con los valores expresados en la (Tabla 18).

Tabla 18. Peso sísmico de la vivienda.

	Cp	Cv	Masa Entrepiso (Kg/m2)	Masa Techo1 (Kg/m2)	Masa techo2 (Kg/m2)
Losa entrepiso(kg/m2)	333	175	698	189	185
Losa techo1(kg/m2)	147	50			
Losa techo2(kg/m2)	147	50			
Soleras(kg)	2022	0			
Diagonales(kg)	840	0			
Pies derechos(kg)	4097	0			
Fachada(kg)	18900	0			
Area Entrepiso (m2)	66.5				
Area Techo 1 (m2)	41.3				
Area Techo 2 (m2)	45.8				
Masa Total (Kg)	62708				

Para otorgarle resistencia lateral a la estructura se incluyeron diagonales en los muros perimetrales (A, D, 1 y 12). Además, los muros también contarán con soleras (elementos horizontales) conformadas por un culmo y distanciadas entre si un metro a lo largo de toda la altura del muro. De esta manera los pies derechos, las diagonales y las soleras conforman un muro tipo malla que minimiza los cortes generados en los elementos verticales por las sollicitaciones sísmicas.

Las diagonales estarán articuladas a los pies derechos al igual que las soleras de un culmo, para poder alcanzar la máxima resistencia a compresión y poder obtener una cantidad óptima de diagonales, estas estarán arriostradas por los pies derechos.

La configuración de diagonales se llevó a cabo mediante un proceso iterativo el cual se variaba el ángulo de inclinación, la cantidad de culmo por diagonal y la ubicación de las mismas, obteniendo un diseño final donde las diagonales pudieran resistir las fuerzas axiales que se exigían. En las Figuras A1 y A2 del Anexo A, se incluyen el modelo en 3D de la vivienda unifamiliar estudiada.

La configuración de diagonales para el diseño se muestra a continuación:

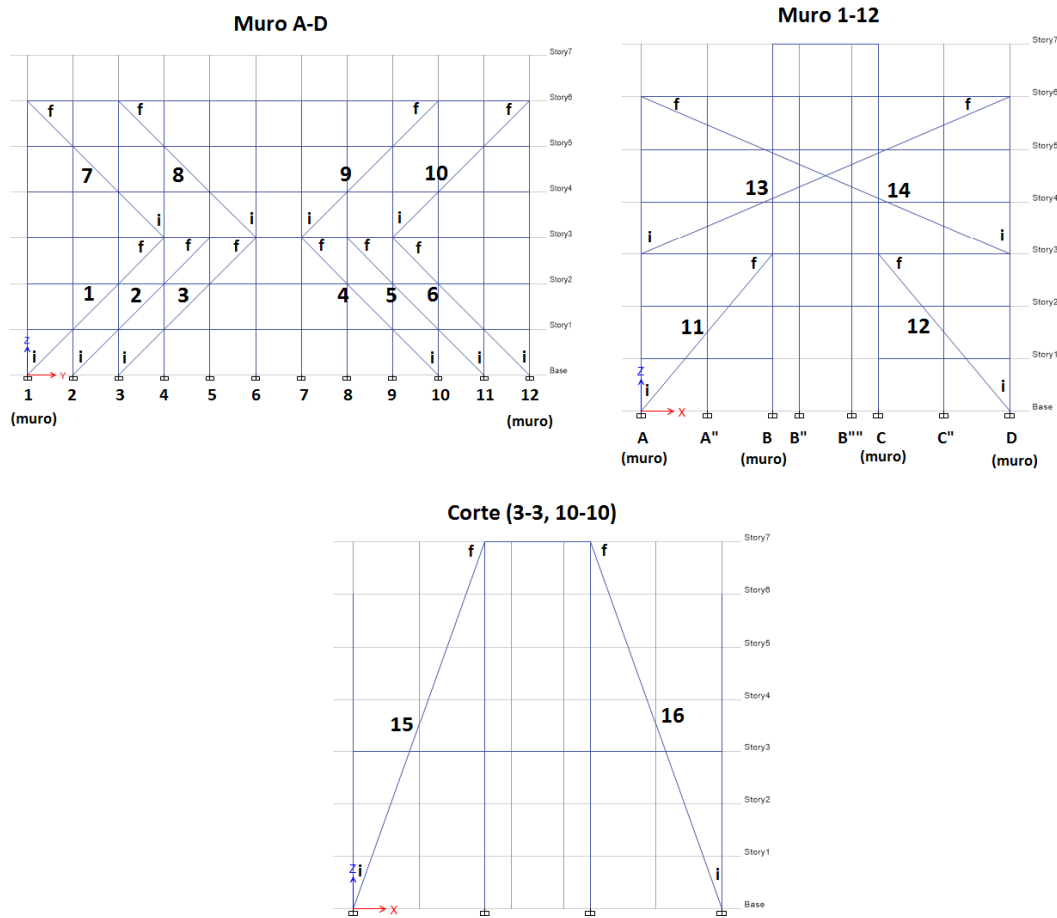


Figura 39. Configuración de diagonales en la edificación (Elaboración Propia)

Se numerarán las diagonales iniciando por las correspondientes al muro “A” desde izquierda a derecha iniciando en planta baja hasta el techo, siguiendo la numeración en el “muro 1” y por último las diagonales fuera de los muros perimetrales ubicada en el “corte 3”. Por simetría los muros A y D tendrán igual configuración de diagonales al igual que los muros 1 y 12 y el corte 3 y 10.

Las diagonales por estar arriostradas por los pies derechos pueden tener diferente fuerza axial a lo largo de su longitud, es por ello que se marcan el tramo inicial (i), medio (m) y final (f),

diseñándola con el tramo más desfavorable. En la siguiente tabla se muestran las longitudes efectivas, la cantidad de culmos que conforman la diagonal y su resistencia a compresión tomando el tramo más desfavorable.

Tabla 19. Conformación de diagonales.

Planta	Diagonal	N° Culmos	Le inicial (i)	Le media (m)	Le final (f)	P adm
MURO A-D (DIAGONAL 1 CULMO) (K=1)						
PB	1	1	1,41	1,41	1,41	3391
	2	1	1,41	1,41	1,41	3391
	3	1	1,41	1,41	1,41	3391
	4	1	1,41	1,41	1,41	3391
	5	1	1,41	1,41	1,41	3391
	6	1	1,41	1,41	1,41	3391
P1	7	1	1,41	1,41	1,41	3391
	8	1	1,41	1,41	1,41	3391
	9	1	1,41	1,41	1,41	3391
	10	1	1,41	1,41	1,41	3391
MURO 1-12 (DIAGONAL 2 CULMOS)						
PB	11	2	1,3	1,3	1,3	6880
	12	2	1,3	1,3	1,3	6880
P1	13	2	2,72	2,18	2,72	5548
	14	2	2,72	2,18	2,72	5548
MURO 3-10 (DIAGONAL 2 CULMOS)						
PB-P1	15	2	2,5	2,5	2,5	4758
PB-P1	16	2	2,5	2,5	2,5	4758

Con la configuración de diagonales definida en la (Figura 39) se evaluó el cortante basal mínimo según lo establecido en la norma venezolana (COVENIN 1756-2001) y tener valores definitivos para el diseño.

Para el cálculo del cortante basal mínimo ($V_{omín}$) se seguirá el siguiente procedimiento (COVENIN 1756, 2001):

- Se definirá el peso sísmico de la edificación (W).
- Se tomará el periodo correspondiente al primer modo de vibración de la estructura (T_a).
- Para un periodo igual a $1,6 \cdot T_a$ se ubica la aceleración espectral correspondiente (A_d) haciendo uso del espectro de diseño (figura 29).

- Se calcula el mayor valor de μ entre:

$$\mu = 1,4 * \left(\frac{N + 9}{2N + 12} \right) = 0,9625$$

$$\mu = 0,80 + \frac{1}{20} * \left(\frac{1,6 * Ta}{T*} - 1 \right) = 0,7841$$

Dónde:

N: número de pisos de la edificación

T*: Definido en la tabla 10.

- Se calcula el cortante basal mínimo (V_{omin}) con la ecuación 20.

$$V_{omin} = \mu * Ad * W$$

Ecuacion 22

El peso sísmico W será el total tomado de la tabla 18, siendo este 62708 kgf.

El periodo T_a será 0,345s siendo $1,6 * T_a$ igual a 0,552s.

Tabla 20: Participación modal de masas.

Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	0,345	0,9319	0	0,005	0,9319	0	0,005
2	0,324	0	0,89	0	0,9319	0,89	0,005
3	0,32	0,0053	0	0,842	0,9372	0,89	0,847
4	0,258	2,63E-05	0	0,0947	0,9372	0,89	0,9417
5	0,125	0	0,1099	0	0,9372	0,9999	0,9417
6	0,125	0,0622	0	0,0005	0,9994	0,9999	0,9422

Para un periodo de 0,552s se tiene un A_d de 0,26 g (figura 29).

Finalmente, el cortante basal mínimo será:

$$V_{omin} = 0,9625 * 0,26 * 62708 = 15693 \text{ kgf}$$

El cortante basal extraído del software Etabs (2016) para el sismo en dirección “X”: 21671 kgf y para el sismo en dirección “Y”: 20744 kgf, siendo estos mayores que el mínimo, por lo tanto, no se aumentaran las solicitudes por sismo.

Ya verificado el cortante basal, se procede al diseño de los elementos estructurales por sismo, cada muro tendrá una combinación de carga crítica para el diseño, siendo estas combinaciones las que contemplen el sismo paralelo a la dirección del muro en el caso de los muros perimetrales (A, D, 1, 12) y para los muros de carga (B, C) la combinación de carga más desfavorable representa el sismo en dirección perpendicular a los muros.

La deformada de los pies derechos ante fuerzas laterales es la mostrada en la figura 40.

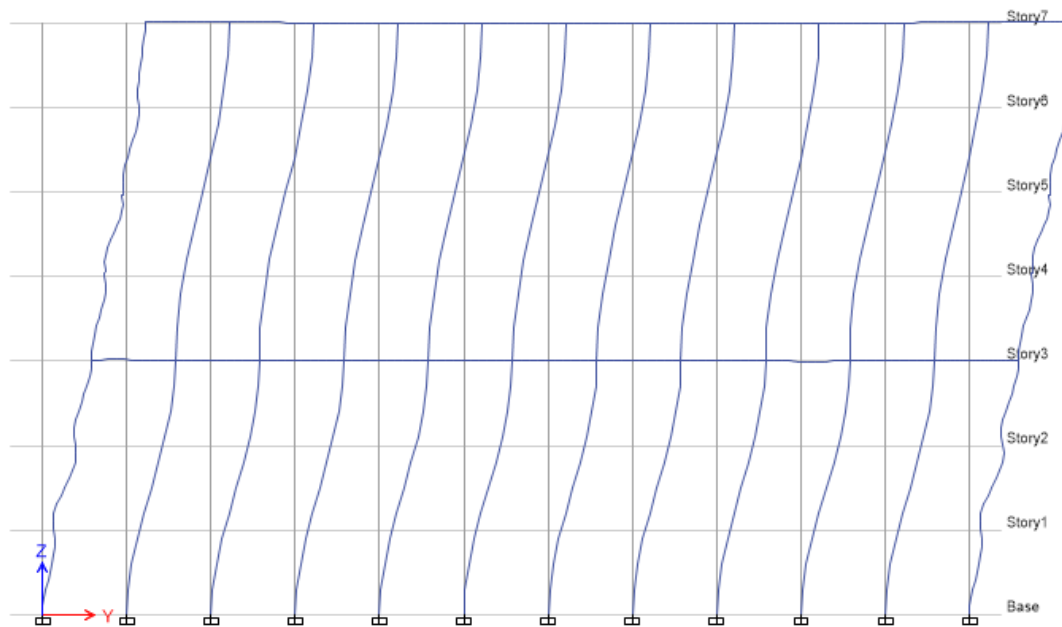


Figura 40. Evaluación de deformada en pie derecho por cargas sísmicas (Elaboración Propia)

El coeficiente de longitud efectiva será el correspondiente al caso N° 4 de la (tabla 7), empotrada en uno de los extremos, pero el otro extremo libre de desplazarse, pero no de rotar ($K=1,20$). En este caso la longitud efectiva será:

$$L_e = 300 * 1,20 = 360 \text{ cm}$$

Tabla 21. Evaluación por flexo-compresión, cargas totales en pies derechos (secciones previas).

Pie derecho	compresión Kgf	MomentoX Kgf-m	MomentoY Kgf-m	M actuante Kgf-m	$\alpha(^{\circ})$	M adm° Kgf-m	M adm X Kgf-m	P adm Kgf	Km	ξ_1	ξ_2
A-D (Combo 1)											
1	5480	190	70	202	70	563	590	13103	1,169	0,84	0,79
2	2473	43	63	76	34	494	172	2763	1,815	1,17	1,35
3	2046	33	70	77	25	546	172	2763	1,591	0,97	1,05
4	3157	33	73	80	24	551	172	2763	2,342	1,48	1,59
5	3580	32	78	84	22	561	172	2763	2,856	1,72	1,83
6	3346	59	78	98	37	477	172	2763	2,547	1,73	2,08
7	3347	60	76	97	38	469	172	2763	2,548	1,74	2,10
8	3581	32	76	82	23	559	172	2763	2,857	1,72	1,83
9	3160	33	72	79	25	549	172	2763	2,345	1,48	1,59
10	2051	33	70	77	25	546	172	2763	1,593	0,97	1,05
11	2471	43	64	77	34	497	172	2763	1,813	1,18	1,35
12	5484	190	75	204	68	572	590	13103	1,169	0,84	0,80
B-C (Combo 2)											
1	7396	78	214	228	20	517	590	13103	1,243	1,11	0,73
2	2978	4	71	71	3	294	172	2763	2,177	1,60	1,13
3	2665	3	342	342	1	295	172	2763	1,937	3,21	1,00
4	2276	2	68	68	2	294	172	2763	1,704	1,22	0,84
5	2130	1	63	63	1	295	172	2763	1,630	1,12	0,78
6	2092	1	62	62	1	295	172	2763	1,612	1,10	0,77
7	2092	0	62	62	0	295	172	2763	1,612	1,10	0,76
8	2129	1	62	62	1	295	172	2763	1,630	1,11	0,78
9	2267	2	65	65	2	294	172	2763	1,699	1,20	0,84
10	2628	3	326	326	1	295	172	2763	1,912	3,07	0,98
11	2930	4	66	66	3	294	172	2763	2,136	1,54	1,11
12	7114	79	199	214	22	513	590	13103	1,231	1,06	0,71
.1-12 (Combo 2)											
A	6425	50	510	512	6	1182	590	13103	1,204	1,01	0,59
A''	1074	3	36	36	5	86	86	1381	1,640	1,47	0,83
B	7396	78	214	228	20	517	590	13103	1,243	1,11	0,73
B''	1578	4	55	55	4	86	86	1381	2,342	2,64	1,25
B'''	1578	4	55	55	4	86	86	1381	2,342	2,64	1,25
C	7396	78	214	228	20	517	590	13103	1,243	1,11	0,73
C''	1074	3	36	36	5	86	86	1381	1,640	1,47	0,83
D	6425	50	510	512	6	1182	590	13103	1,204	1,01	0,59

En la tabla 21 los pie derechos señalados con el color naranja no cumplieron por el criterio a flexo-compresión (todos), se procederá a cambiar sus secciones agregándoles dos culmos, los pie derechos centrales van a ser para los muros A-D (4 culmos con separación (x)), los muros B-C (4 culmos sin separación) y los muros 1-12 (4 culmos con separación (y)); los extremos de los muros contarán con pie derechos conformados por 6 culmos.

A continuación, se presenta la evaluación por corte de los pies derechos, estos valores son comparados con los cortes admisibles de la tabla 12.

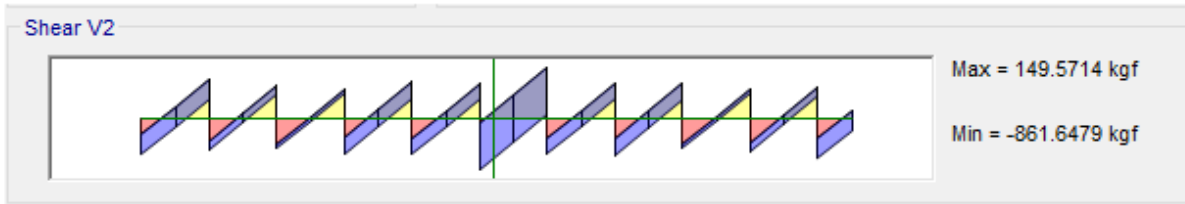
Tabla 22. Evaluación por corte, cargas totales en pies derechos (secciones previas).

Pie derecho	Muro A-D (Combo 1)		Muro B-C (Combo 2)		Pie derecho	Muro 1-12 (Combo 2)	
	Corte X	Corte Y	Corte X	Corte Y		Corte X	Corte Y
1	66	198	941	79	A	394	53
2	37	55	37	2	A''	120	10
3	80	44	536	1	B	941	79
4	42	41	34	1	B''	320	9
5	46	40	30	1	B'''	320	9
6	46	73	29	0	C	941	79
7	45	73	29	0	C''	120	10
8	45	40	29	0	D	394	53
9	41	41	33	1			
10	79	44	552	1			
11	37	55	34	2			
12	72	198	896	79			

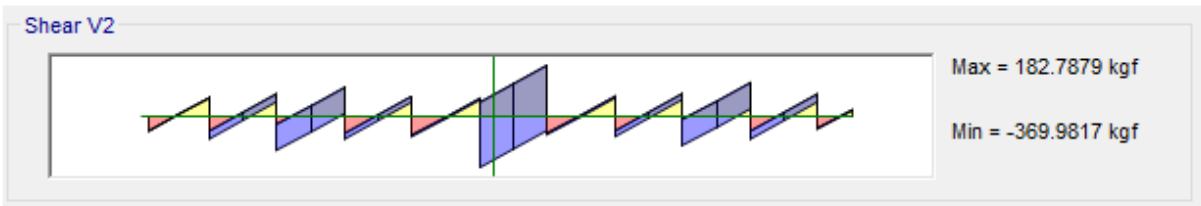
El pie derecho 1, 3, 10 y 12 del muro B-C no cumplen por corte, ya la evaluación por flexo-compresión dio que estos pies derechos no cumplían, los pie derecho 1-12 estarán conformado por (6 culmos 2xX, 3xY separación Y) que tienen un corte admisible mayor que el mostrado en la tabla, al igual que los pie derechos 3 y 10 que estarán conformados por (4 culmos sin separación) con un corte admisible.

Se procede a evaluar las soleras por el corte máximo que se genera a una distancia h del apoyo, para esta evaluación se tomó la combinación de carga más desfavorable para la solera evaluada, siendo el combo 1 para las soleras en dirección "Y" y combo 2 para las soleras en dirección "X". En la siguiente figura se muestran las solicitaciones máximas que genera la combinación de carga mostrada.

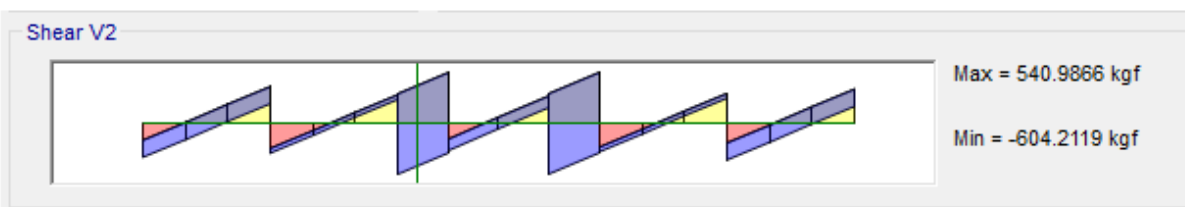
Solera entrepiso Muro A-D (combo 1).



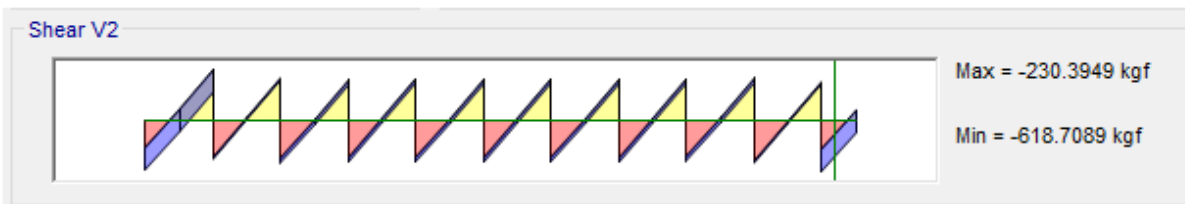
Solera techo Muro A-D (combo 1)



Solera entrepiso Muro 1-12 (combo 2)



Solera entrepiso Muro B-C (combo 1)



Solera techo Muro B-C (combo 1)

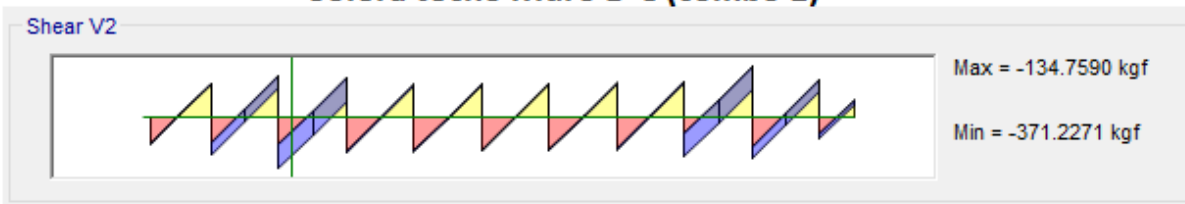


Figura 41. Evaluación por corte en solera, cargas totales secciones previas (Elaboración Propia)

Estos valores son comprados con los señalados en la tabla 12 modificados por el coeficiente (Cc) correspondiente. Con los cortes admisible modificados (última fila tablas 14 y 15) se observa que ninguna solera cumple por lo tanto se procede a aumentar sus secciones colocando dos culmos más.

Ya evaluadas las soleras por cargas totales se procede a evaluar la resistencia de las diagonales, en la siguiente tabla se muestran las solicitaciones a compresión (más desfavorables) que tienen que soportar.

Tabla 23. Evaluación resistencia de diagonales.

Planta	Diagonal	Axial i (kgf)	Axial m (kgf)	Axial f (kgf)	Axial max (kgf)	P adm (kgf)
MURO A (DIAGONAL 1 CULMO)						
PB	1	2485	2686	2074	2686	3391
	2	2290	2441	2247	2441	3391
	3	2026	2584	2268	2584	3391
	4	2026	2583	2268	2583	3391
	5	2290	2440	2247	2440	3391
	6	2484	2685	2073	2685	3391
P1	7	2411	3065	2715	3065	3391
	8	2416	2904	2108	2904	3391
	9	2416	2355	2109	2416	3391
	10	2415	3071	2724	3071	3391
MURO 1-12 (DIAGONAL 2 CULMOS)						
PB	11	6645	6645	6645	6645	6880
	12	6645	6645	6645	6645	6880
P1	13	2903	3758	2903	3758	5548
	14	2903	3758	2903	3758	5548
Corte 3-10 (DIAGONAL 2 CULMOS)						
PB-P1	15	3345	3345	3345	3345	4758
PB-P1	16	3345	3345	3345	3345	4758

Ya evaluada las diagonales se verifica la resistencia de las uniones diagonal- pie derecho. En la siguiente tabla se muestra las solicitaciones que tienen que soportar las uniones con los cambios realizados en los pies derechos descritos anteriormente.

Tabla 24. Solicitaciones en uniones con diagonal.

Planta	Diagonal	Inicio P1(kgf)	Final P1(kgf)	Inclinacion (°)	N° culmos diagonal	N° culmos pie derecho i	N° culmos pie derecho f	Q Actuante i (kgf)	Q Actuante f (kgf)	P Actuante i (kgf)	P Actuante f (kgf)
Muro A-D											
PB	1	2484	2074	45	1	6	4	293	367	293	367
	2	2291	2247	45	1	4	4	405	397	405	397
	3	2026	2268	45	1	4	4	358	401	358	401
	4	2026	2268	45	1	4	4	358	401	358	401
	5	2290	2246	45	1	4	4	405	397	405	397
	6	2484	2073	45	1	6	4	293	366	293	366
P1	7	2411	2715	45	1	4	6	426	320	426	320
	8	2416	2108	45	1	4	4	427	373	427	373
	9	2416	2109	45	1	4	4	427	373	427	373
	10	2415	2724	45	1	4	6	427	321	427	321
MURO 1-12 (DIAGONAL 2 CULMOS)											
PB	11	6557	6624	50,3	2	6	4	349	529	420	637
	12	6557	6624	50,3	2	6	4	349	529	420	637
P1	13	2851	2930	23,2	2	6	6	218	224	94	96
	14	2852	2930	23,2	2	6	6	218	224	94	96
MURO 3-10 (DIAGONAL 2 CULMOS)											
PB-P1	15	3323	3282	70,4	2	4	4	139	138	391	387
PB-P1	16	3323	3282	70,4	2	4	4	139	138	391	387

Con los valores establecidos en la tabla 24 se procede a escoger un perno que sea capaz de resistir las fuerzas P1, P y Q, en la siguiente tabla se muestran los valores admisibles y las dimensiones del perno necesario para que estos no sean superados.

Tabla 25. Diseño de perno en unión diagonal-pie derecho.

Planta	Diagonal	Perno i #	Perno f #	P1 i adm.(kgf)	P1 f adm.(kgf)	P i adm.(kgf)	P f adm.(kgf)	Q i adm.(kgf)	Q f adm.(kgf)
Muro A-D									
PB	1	4	4	3346	2230	1115	1115	446	446
	2	5	5	2701	2701	1351	1351	540	540
	3	4	5	2231	2701	1115	1351	446	540
	4	4	5	2231	2701	1115	1351	446	540
	5	5	5	2701	2701	1351	1351	540	540
	6	4	4	3346	2230	1115	1115	446	446
P1	1	5	4	2701	3346	1351	1115	540	446
	2	5	4	2701	2230	1351	1115	540	446
	3	5	4	2701	2230	1351	1115	540	446
	4	5	4	2701	3346	1351	1115	540	446
MURO 1-12 (DIAGONAL 2 CULMOS)									
PB	11	4	4	6692	6692	1115	1115	446	446
	12	4	4	6692	6692	1115	1115	446	446
P1	13	4	4	6692	6692	1115	1115	446	446
	14	4	4	6692	6692	1115	1115	446	446
MURO 3-10 (DIAGONAL 2 CULMOS)									
PB-P1	15	3	3	3590	3590	897	897	359	359
PB-P1	16	3	3	3590	3590	897	897	359	359

Todos los culmos de los pies derechos tienen que estar emperrados a la diagonal para que esta pueda desarrollar toda su resistencia, gracias a esto no se recurrió a aumentar los diámetros de los culmos en las diagonales y pies derechos.

A continuación, se presentan las secciones definitivas del diseño de los muros, los flujos de tensiones, deriva y su comprobación.

Tabla 26. Secciones de pie derecho definitivas en el diseño de muros

Pie derecho	Secciones	
	Muro A-D	Muro B-C
1	6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	6 culmos 2xX, 3xY separacion Y
2	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
3	4 culmos con separacion en X-Y	4 culmos con separacion Y
4	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
5	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
6	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
7	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
8	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
9	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
10	4 culmos con separacion en X-Y	4 culmos con separacion Y
11	4 culmos con separacion en X	4 culmos sin separacion
12	6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	6 culmos 2xX, 3xY separacion Y
Pie derecho	Muro 1-12	
A	6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	
A''	4 culmos con separacion en Y	
B	6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	
B''	4 culmos con separacion en Y	
B''''	4 culmos con separacion en Y	
C	6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	
C''	4 culmos con separacion en Y	
D	6 culmos 3xX, 2xY separacion X-Y	

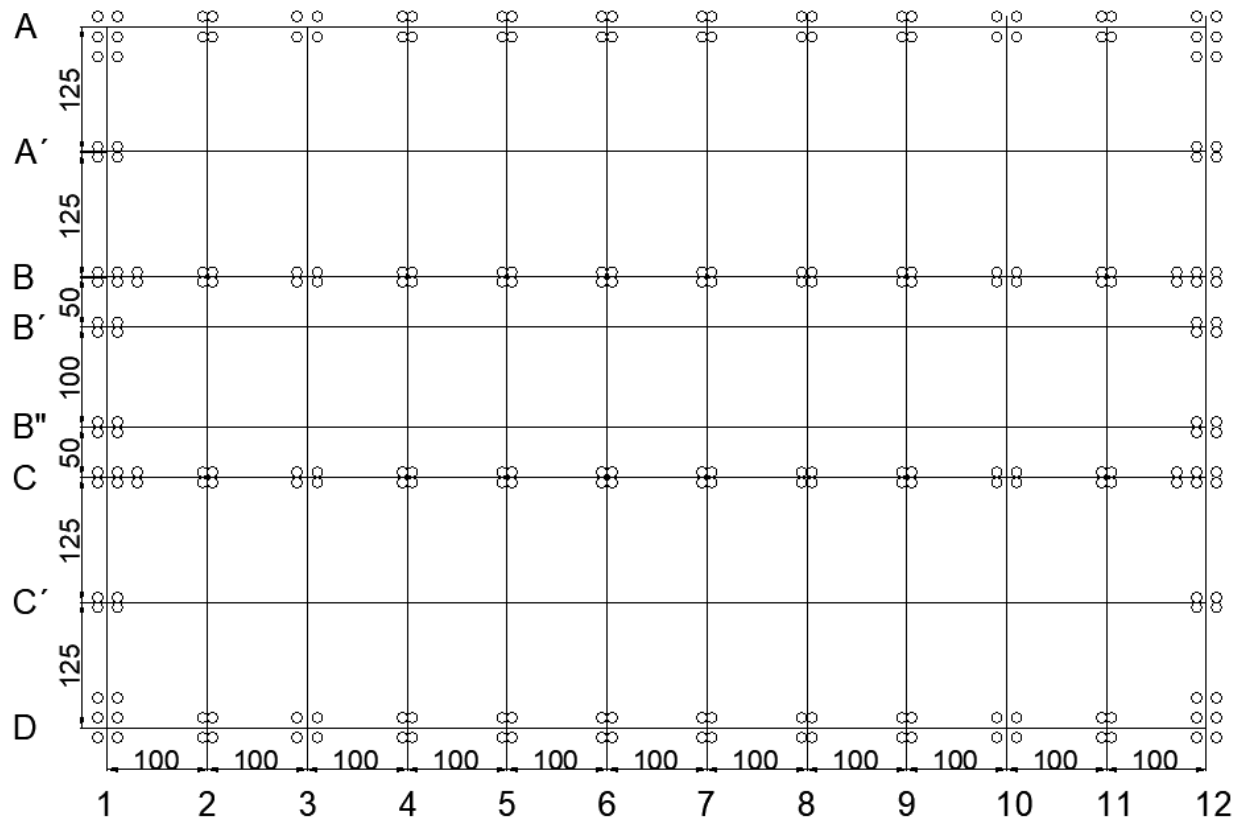


Figura 42. Distribución de culmos desde planta (Elaboración Propia)

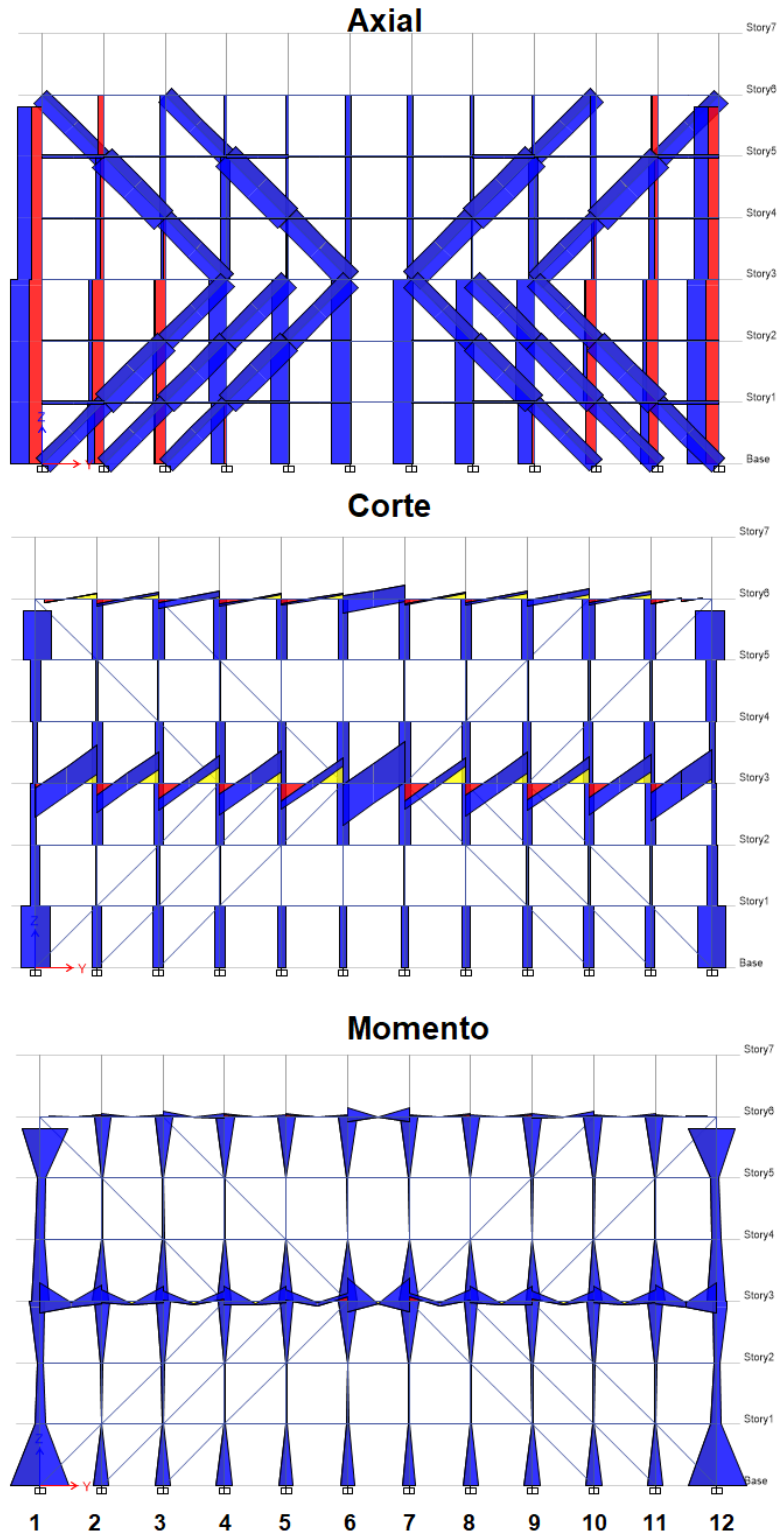


Figura 43. Flujo de esfuerzos Muros (A-D) (Elaboración Propia)

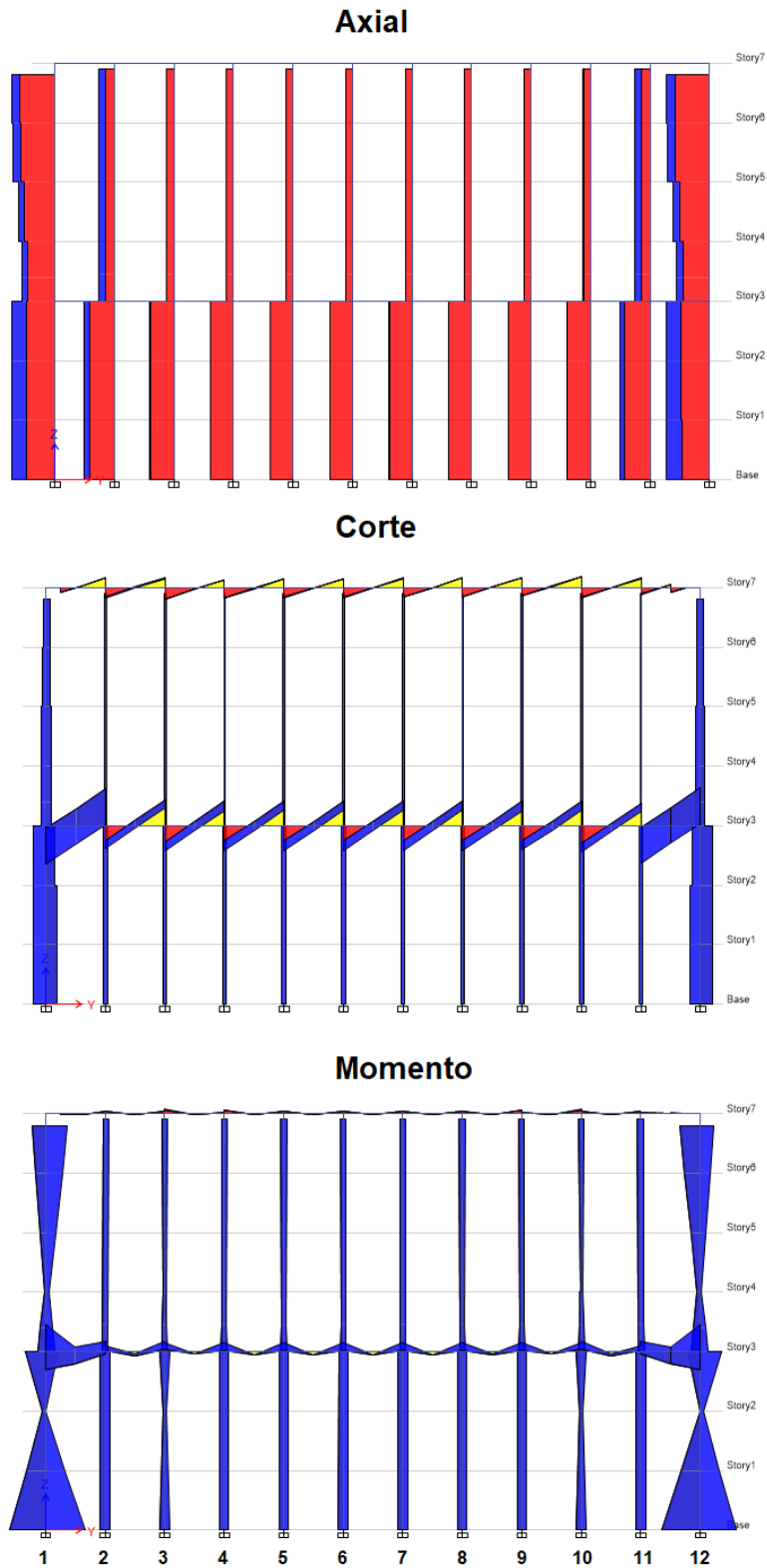


Figura 44. Flujo de esfuerzos Muros (B-C) (Elaboración Propia)

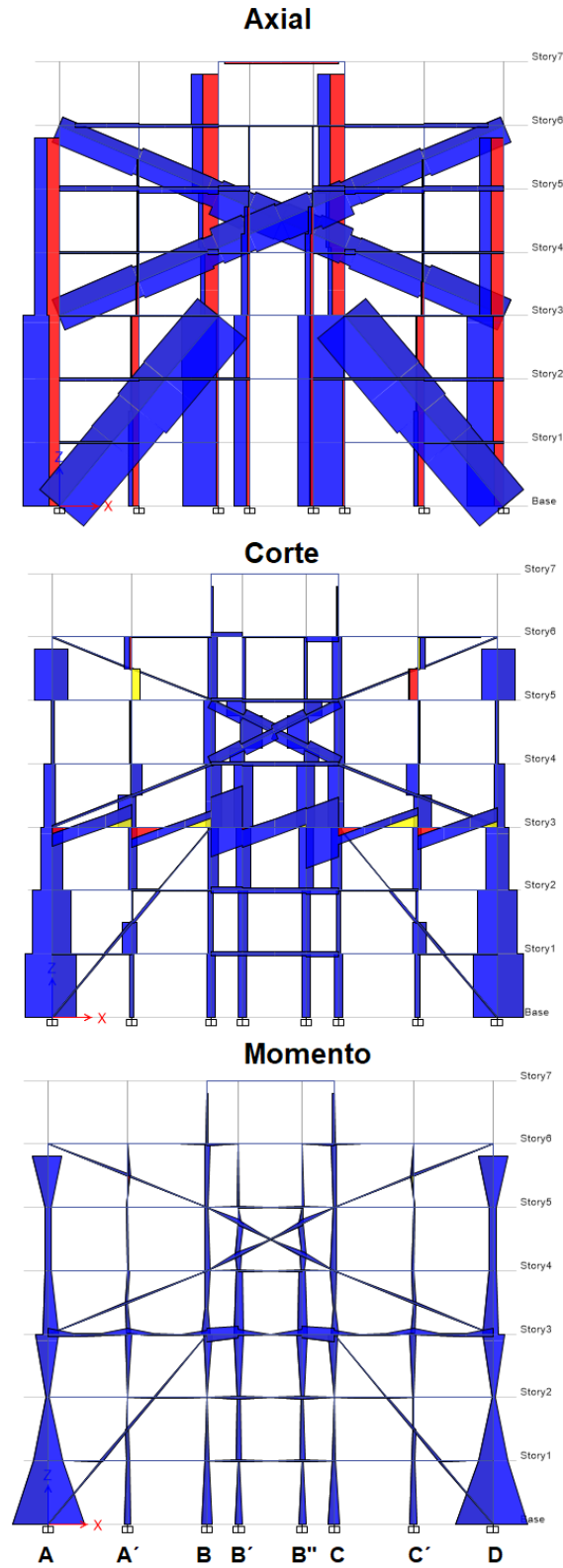


Figura 45. Flujo de esfuerzos Muros (1-12) (Elaboración Propia)

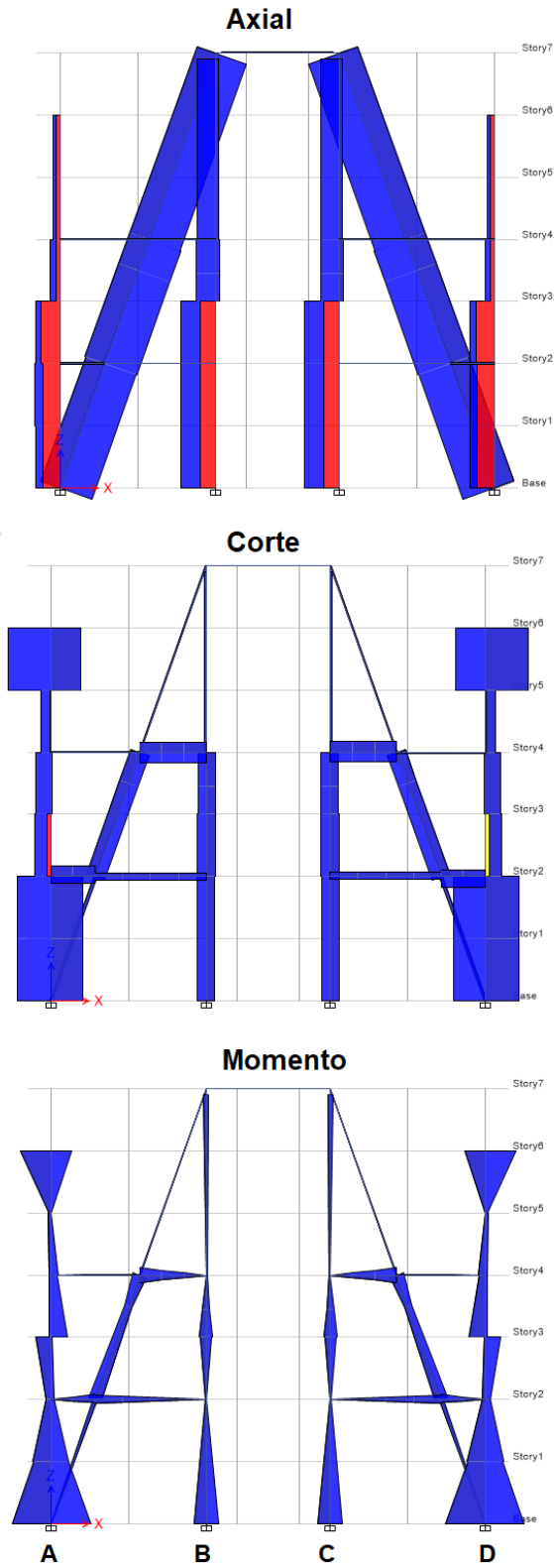


Figura 46. Flujo de esfuerzos sección (3-10) (Elaboración Propia)

Tabla 27. Evaluación por flexo-compresión pie derechos (secciones definitivas).

Pie derecho	compresión Kgf	MomentoX Kgf-m	MomentoY Kgf-m	M actuante Kgf-m	$\alpha(^{\circ})$	M adm° Kgf-m	M adm X Kgf-m	P adm Kgf	Km	ξ_1	ξ_2
A-D (Combo 1)											
1	4711	356	65	362	80	1111	1230	21085	1.040	0.56	0.52
2	3353	175	60	185	71	559	590	12093	1.146	0.66	0.62
3	2275	182	87	202	64	600	590	12093	1.095	0.56	0.53
4	3226	150	78	169	63	613	590	12093	1.140	0.58	0.56
5	3098	156	82	176	62	615	590	12093	1.133	0.58	0.56
6	3152	164	81	183	64	605	590	12093	1.136	0.60	0.58
7	3151	164	79	182	64	601	590	12093	1.136	0.60	0.58
8	3098	156	81	176	63	613	590	12093	1.133	0.58	0.56
9	3228	173	77	189	66	589	590	12093	1.140	0.63	0.60
10	2281	183	85	202	65	596	590	12093	1.095	0.56	0.53
11	3352	175	62	186	70	561	590	12093	1.146	0.66	0.62
12	4714	356	68	362	79	1107	1230	21085	1.040	0.56	0.52
B-C (Combo 2)											
1	7072	283	218	357	52	1500	2782	21085	1.061	0.59	0.44
2	3605	21	108	110	11	544	590	12093	1.159	0.53	0.34
3	3141	12	114	115	6	564	590	12093	1.136	0.49	0.28
4	2553	11	104	105	6	564	590	12093	1.107	0.42	0.23
5	2296	6	103	103	3	576	590	12093	1.096	0.39	0.20
6	2228	3	102	102	2	583	590	12093	1.093	0.38	0.19
7	2227	2	101	101	1	585	590	12093	1.092	0.37	0.19
8	2290	5	100	100	3	578	590	12093	1.095	0.38	0.20
9	2533	10	100	100	6	565	590	12093	1.107	0.41	0.23
10	3092	11	107	108	6	565	590	12093	1.133	0.47	0.28
11	3538	20	100	102	11	543	590	12093	1.155	0.51	0.33
12	6819	263	197	329	53	1500	2782	21085	1.058	0.56	0.42
.1-12 (Combo 2)											
A	6036	153	1314	1323	7	2642	1845	21085	1.051	0.81	0.37
A"	1857	10	145	145	4	570	590	12094	1.076	0.43	0.42
B	7072	283	218	357	52	1833	885	18141	1.218	0.63	0.78
B"	2785	17	180	181	5	570	590	12094	1.118	0.58	0.57
B""	2785	17	180	181	5	570	590	12094	1.118	0.58	0.57
C	7072	283	218	357	52	1833	885	18141	1.218	0.63	0.78
C"	1857	10	145	145	4	570	590	12094	1.076	0.43	0.42
D	6036	153	1314	1323	7	2642	1845	21085	1.051	0.81	0.37

Tabla 28. Secciones definitivas soleras y fuerzas actuantes.

Muro	Planta	Secciones soleras	V Adm (kgf)	V Actuante (kgf)
A-D	P1	6 culmos 2x3	1355	1013
	Techo	4 culmos	570	323
B-C	P1	6 culmos 2x3	1355	1044
	Techo	2 culmos	285	258
.1-12	P1	6 culmos 2x3	1452	1040
	Techo	1 culmo	129	0

Realizado el análisis a flexo-compresión se puede observar que los elementos no trabajan en su máxima capacidad ($\xi \sim 1$) aún así al reducir el número de culmos por sección, su esbeltez aumenta haciendo que estos no cumplan por flexo-compresión ($\xi > 1$).

Tabla 29. Evaluación de derivas

		Muros		
		A-D (Sh"Y")	B-C (Sh"Y")	1-12 (Sh"X")
Deriva elastica. (mm)	Techo	13.38	13.52	15.34
	P1	6.28	6.27	8.97
Deriva inelastica. (mm)	Techo	21.408	21.632	24.544
	P1	10.048	10.032	14.352
Δ derivas (mm)	Δ PB-P1	10.048	10.032	14.352
	Δ P1-Techo	11.36	11.6	10.192
Δ derivas (mm)/h	Δ PB-P1/h	0.003	0.003	0.005
	Δ P1-Techo/h	0.004	0.004	0.003
Δ derivas (mm)/h adm. (COVENIN 1756-2001)		0.018	0.018	0.018
Δ derivas (mm)/h adm. (NSR-10, 2010)		0.01	0.01	0.01
Sh"X,Y, 45° Portico de guadua"				
Δ derivas (mm)/h (Ahmar & Chacon, 2018)		0.0065		

Las derivas de la estructura entran en los rangos admisibles descritos por las normas (COVENIN 1756, 2001) y (NSR-10, 2010) y en comparación con las derivas obtenidas por (Ahmar & Chacón, 2018) estas son menores debido a que la configuración de muro presenta una cantidad mayor de culmos verticales haciendo que este sea más rígido antes fuerzas horizontales, además esta configuración presenta elementos inclinados que aumenta su rigidez lateral.

A continuación, se presentarán las vistas definitivas de las paredes.

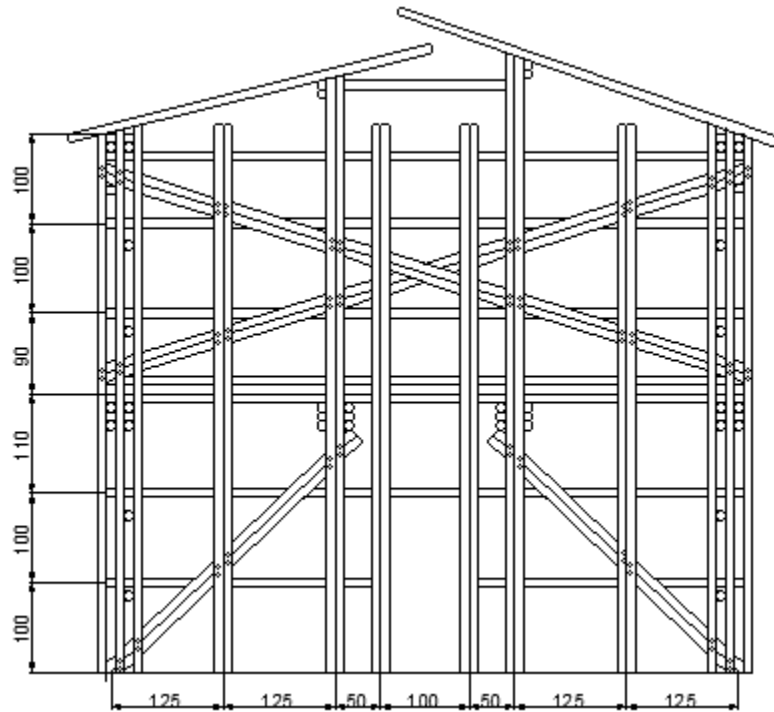


Figura 47: Vista X-Z muro 1-12 (Elaboración propia)

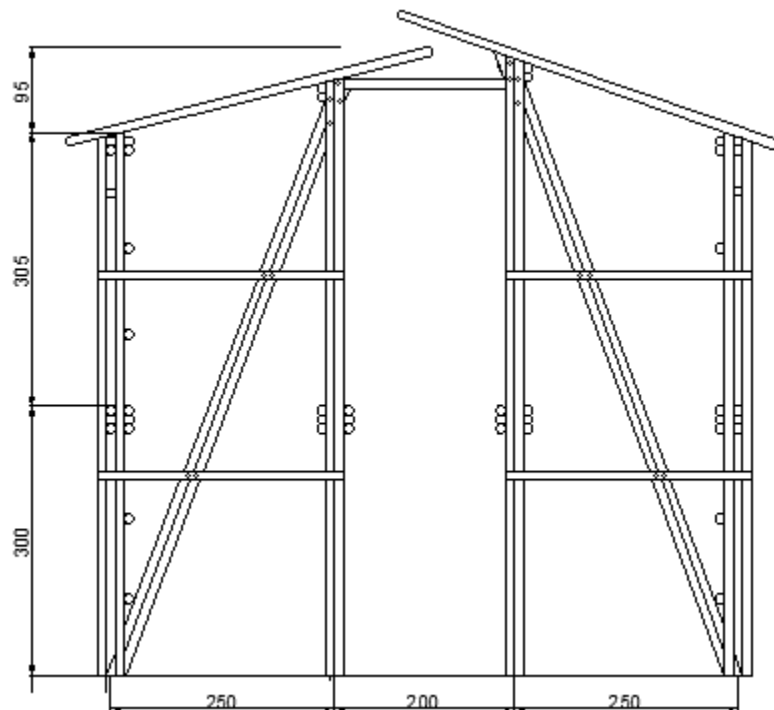


Figura 48: Vista X-Z corte 3-10 (Elaboración propia)

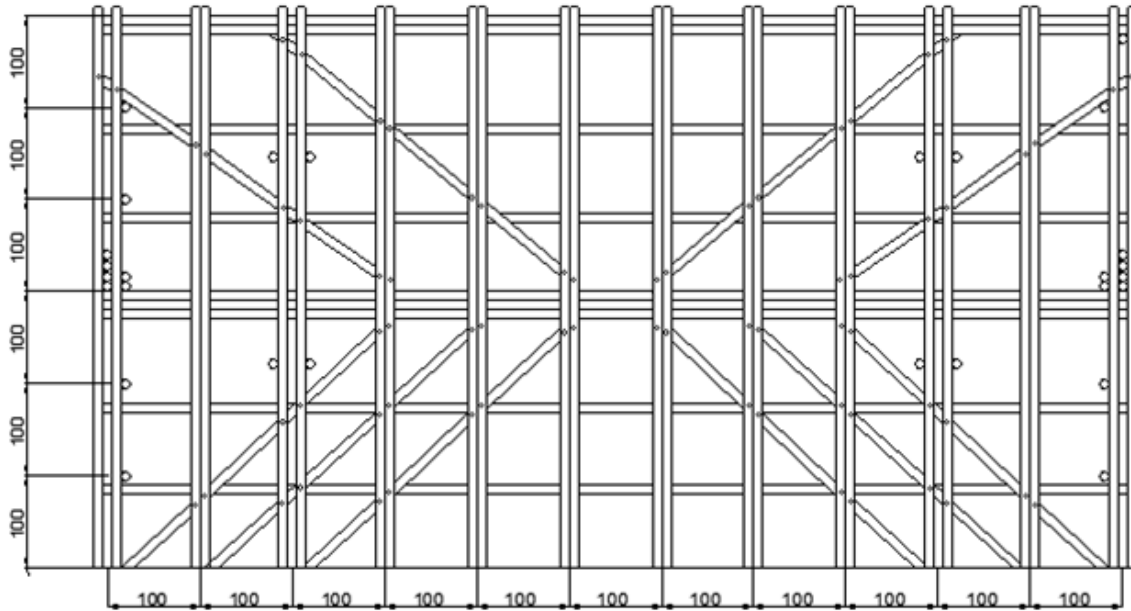


Figura 49: Vista Y-Z muros A-D (Elaboración propia)

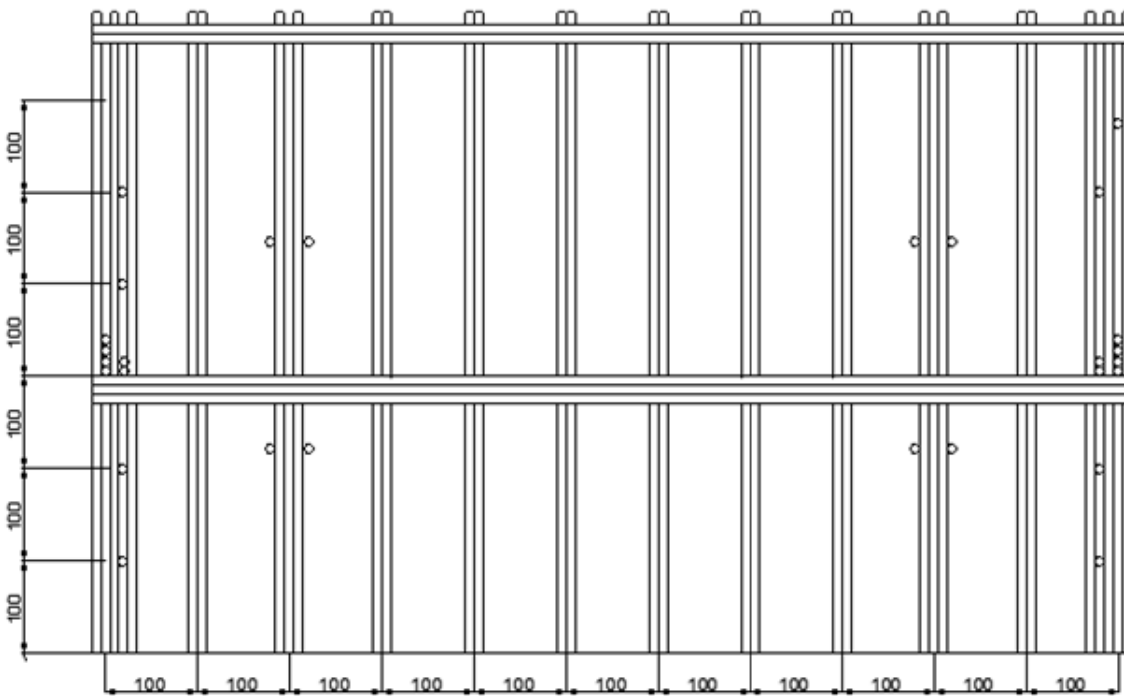


Figura 50: Vista Y-Z muro B-C (Elaboración propia)

El diseño final cuenta con 240 culmos en elementos verticales (pie derecho), 74 culmos en elementos horizontales (solera) y 44 culmos en elementos inclinados (diagonales), la suma de estos da un total de 358 culmos de 10cm de diámetro con 1cm de espesor mínimo.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

La guadua como material de construcción se adaptó a las exigencias de cargas planteadas logrando llegar a un diseño final viable.

Con los resultados obtenidos es posible la construcción de muros con guadua para viviendas unifamiliares de dos pisos solventando el problema de fuerzas cortantes que presentaron (Ahmar & Chacón, 2018). Los muros quedan así constituidos por los pies derechos, las soleras y las diagonales.

La ubicación entre pies derechos se rigió en este diseño por la resistencia de las soleras al corte antes cargas de servicio, dejando espacios que permiten la disposición de puertas y ventanas.

Las disposiciones de las diagonales se siguieron por lo establecido en la (NSR-10, 2010) el cual recomienda ubicar estos elementos en las esquinas de la estructura, así mismo el número de culmos por diagonal y su ángulo de inclinación sigue ciertos parámetros como la resistencia y la dinámica estructural el cual implica que los dos primeros modos de vibración de la estructura sean traslacionales.

En las evaluaciones a flexo-compresión se observó que los pie derechos no trabajan en su máxima capacidad ($\xi \sim 1$) pero el modificar su sección disminuyéndole el número de culmos, implicaba que estos no cumplieran por el análisis.

Las derivas que presento el diseño fueron menores a las exigidas por las normas (NSR-10, 2010) y (COVENIN 1756, 2001), y menores al de un diseño con pórtico de guadua realizado por (Ahmar & Chacón, 2018).

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

Para diseñar con este tipo de sistema estructural es recomendable realizar un análisis dinámico lineal ya que el método de análisis estático equivalente descrito por la norma (NSR-10, 2010) no se ajusta a la rigidez que pueda tener la estructura, subestimando las fuerzas sísmicas.

En conexiones empernadas entre pie derecho y diagonal se recomienda evaluar la resistencia en conjunto de las componentes perpendiculares y paralelas a las fibras del culmo ya que la norma (NSR-10, 2010) no establece criterios de diseño con estos elementos.

Para la configuración de losa planteada con suelo cemento y guadua se recomienda realizar ensayos donde se demuestre su resistencia y durabilidad.

Se recomienda el diseño de uniones para elementos de guadua que sean capaces de resistir cargas a tracción y compresión, tal que sean una alternativa a las uniones empernadas.

Se recomienda otra configuración de muros que puedan garantizar espacios internos mayores a los establecido en este diseño y que puedan aprovechar al máximo la resistencia del material.

REFERENCIAS

- AHMAR YACOUB, F., & CHACÓN CARRIZO, C. (2018). *ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS DE BAMBÚ (Tesis de Pregrado)*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- Caicedo, G., & Vaniria, J. (1996). *Optimización de estructuras en guadua (Trabajo de Grado)*. Bogota.
- Covenin 1756. (2001). *Edificaciones sismorresistentes*. Caracas: Fondonorma.
- Duran Quintero, E., & López Castillo, E. (2019). *ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y LA GRANULOMETRÍA EN LAS PROPIEDADES DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y/O CAL (Tesis de Pregrado)*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- Echezuría, H. (2018). *El Bambú como Recurso Sustentable para Construcción de Viviendas de Bajo Costo. Tekhné*.
- FUNVISIS. (2019). *Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas*. Obtenido de http://www.funvisis.gob.ve/old/pais_sismico.php
- GUTIERREZ LOZANO, J. V., & GOMEZ BARRERA, R. A. (2002). *DISEÑO Y ELABORACION A ESCALA NATURAL DE. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Bogotá*.
- Hibbeler, R. C. (1998). *Mecánica de Materiales (3era ed.)*. México: Prentice Hall.
- Kosler, G., & Carballo, L. (2018). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNAS VARIETADES DE GUADUA DISPONIBLES EN VENEZUELA (Tesis de Pregrado)*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- López Orosco, G. D., & Muzziotti Goncalves, J. R. (2018). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA Y DE BAMBÚ – BAHAREQUE PARA SU APLICACIÓN COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES (Tesis de Pregrado)*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- Ministerio de vivienda, Perú. (2011). *E. 100 BAMBÚ*.
- Morán Ubidia, J. (2015). *Manual de Construcción con Bambú. INBAR*.
- NSR-10. (2010). *ESTRUCTURAS DE MADERA ESTRUCTURAS DE GUADUA. Título A - G. Bogotá: Asociación Colombiana de ingeniería sísmica*.

Salas Delgado, E. (2006). *La Guadua angustifolia " El Bambú Colombiano"*. Bogota.

SILVA V., M. F., & LÓPEZ M., L. F. (2000). *COMPORTAMIENTO SISMO-RESISTENTE DE ESTRUCTURAS EN BAHAREQUE (Tesis de Pregrado)*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MANIZALES.

ANEXO A

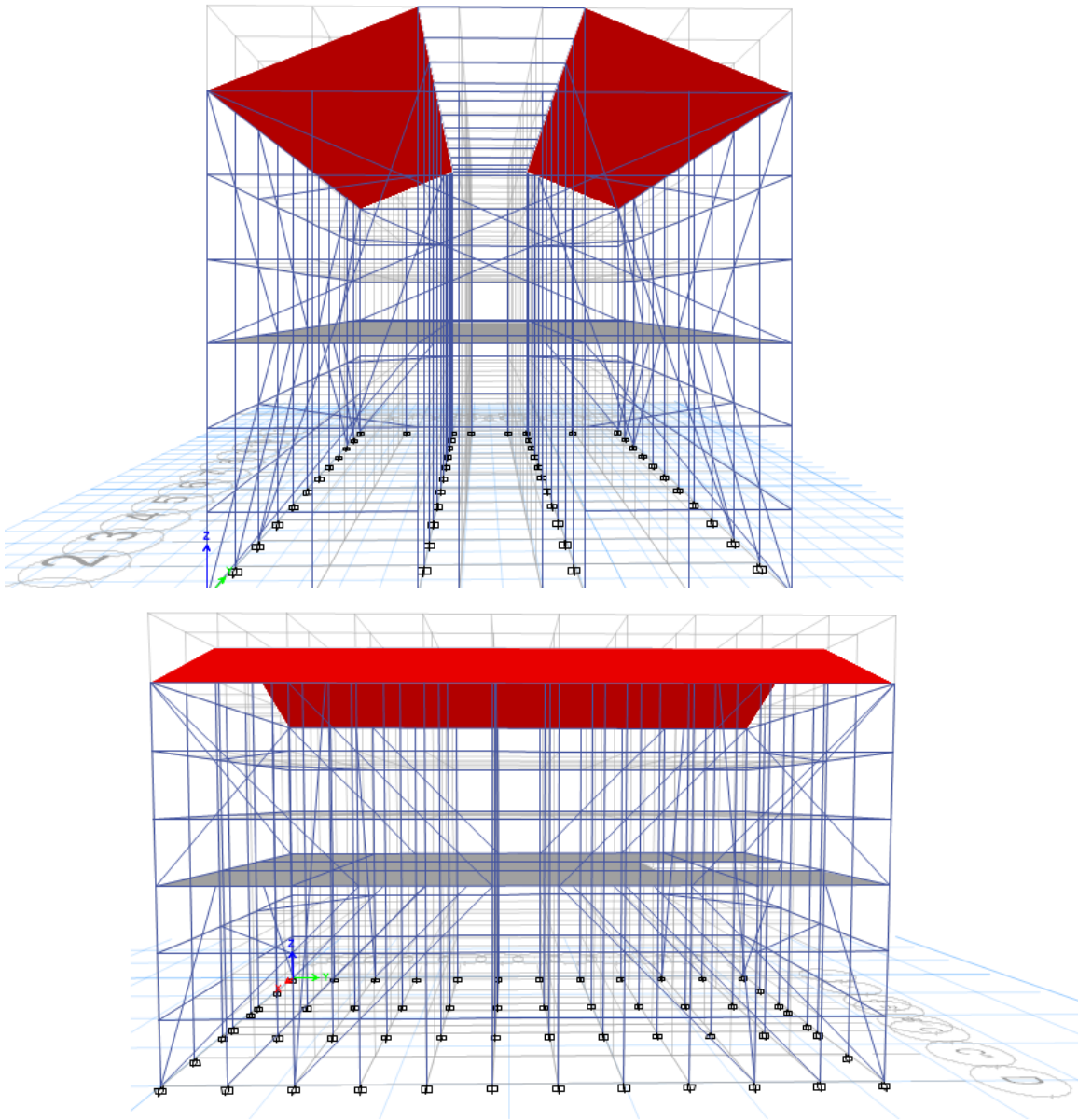


Figura A1: Vista lateral y frontal modelo 3D (Etabs, 2016)

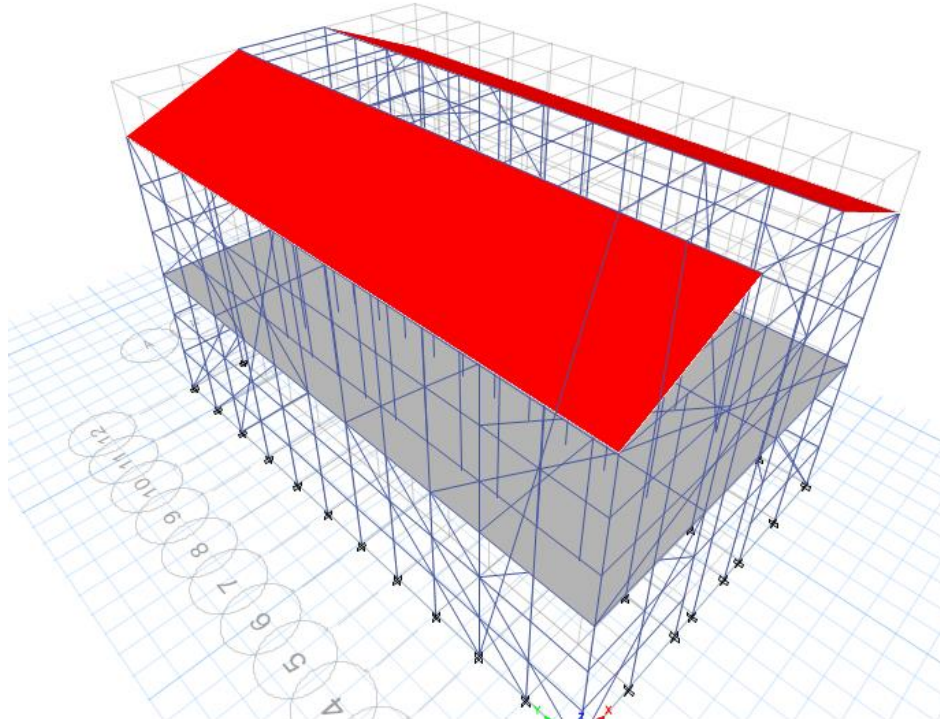
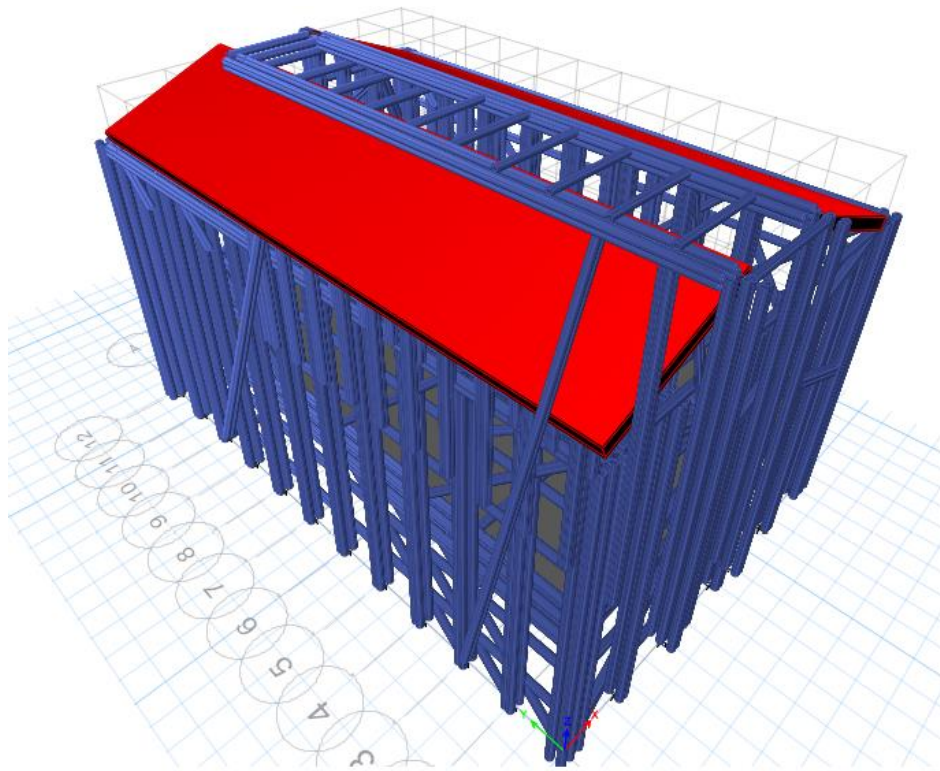


Figura A2: Vista modelo 3D (Etabs, 2016)

Vista Frontal Muros Perimetrales

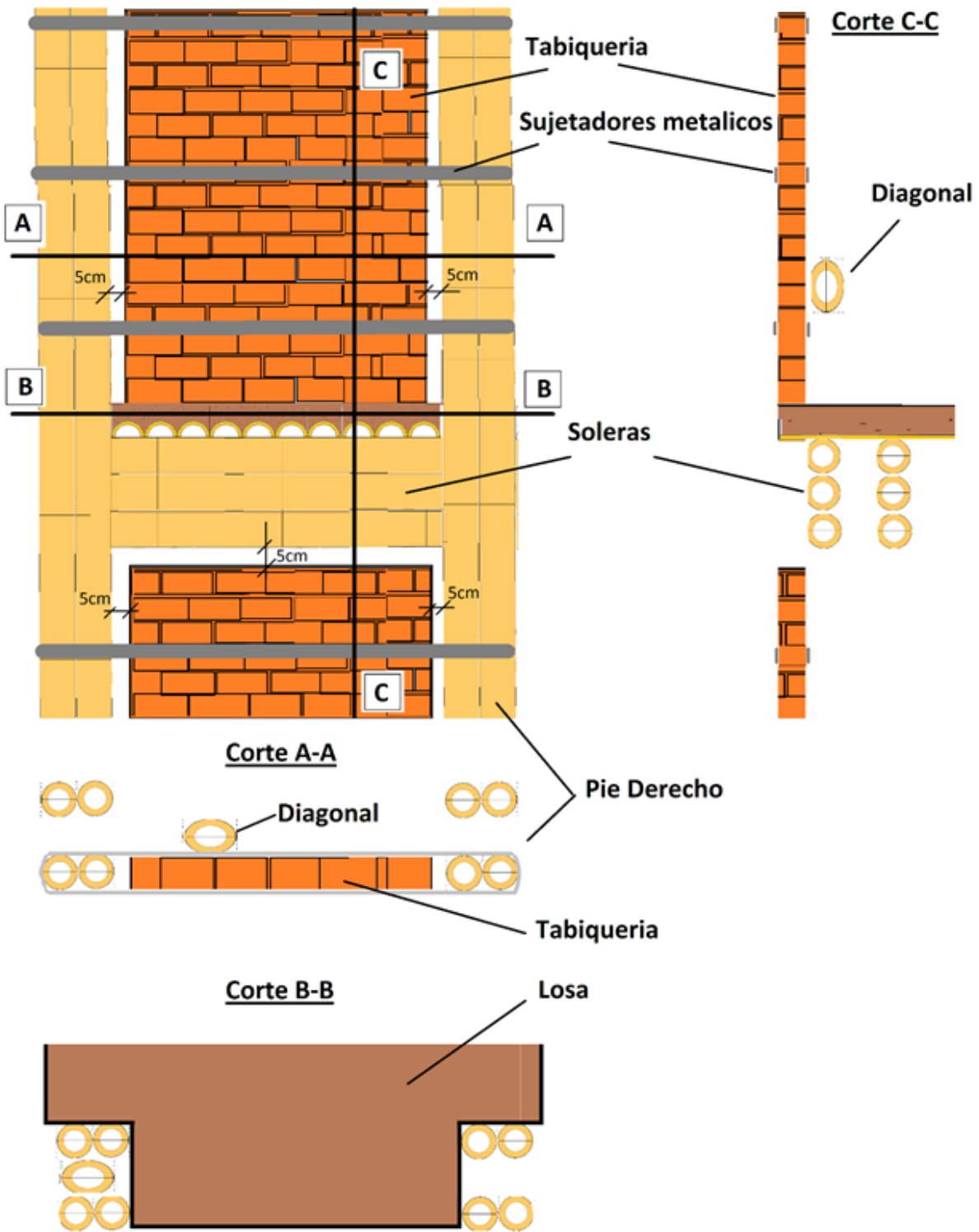


Figura A3: Ubicación de anclajes para paredes (Elaboración propia)