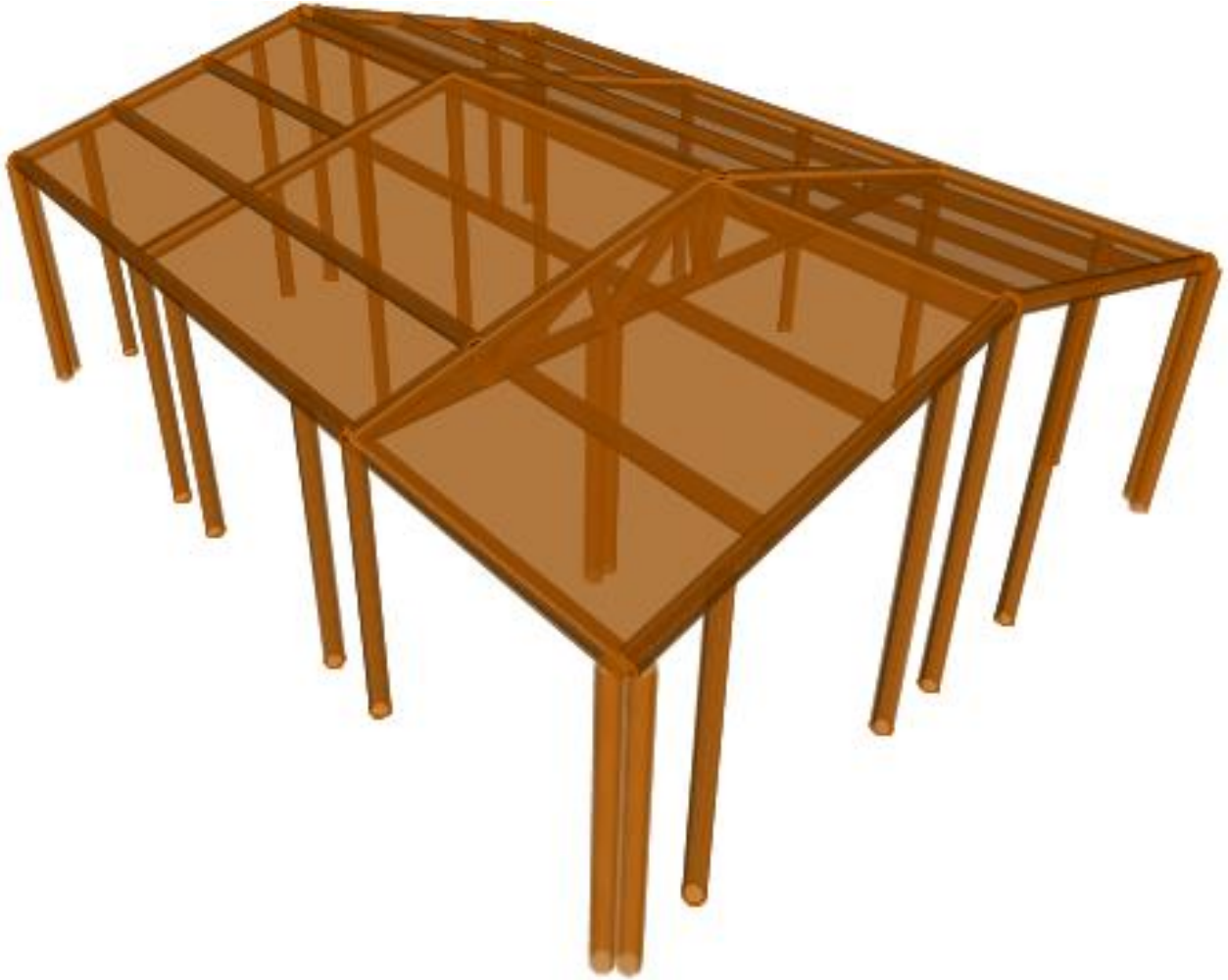


MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL



PROYECTO: APLICACIÓN DE UN PROCESO CONSTRUCTIVO NO CONVENCIONAL MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL

ESTUDIANTE: JEFFER ALEXANDER GAONA GAMA

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – TUNJA

AÑO: 2025

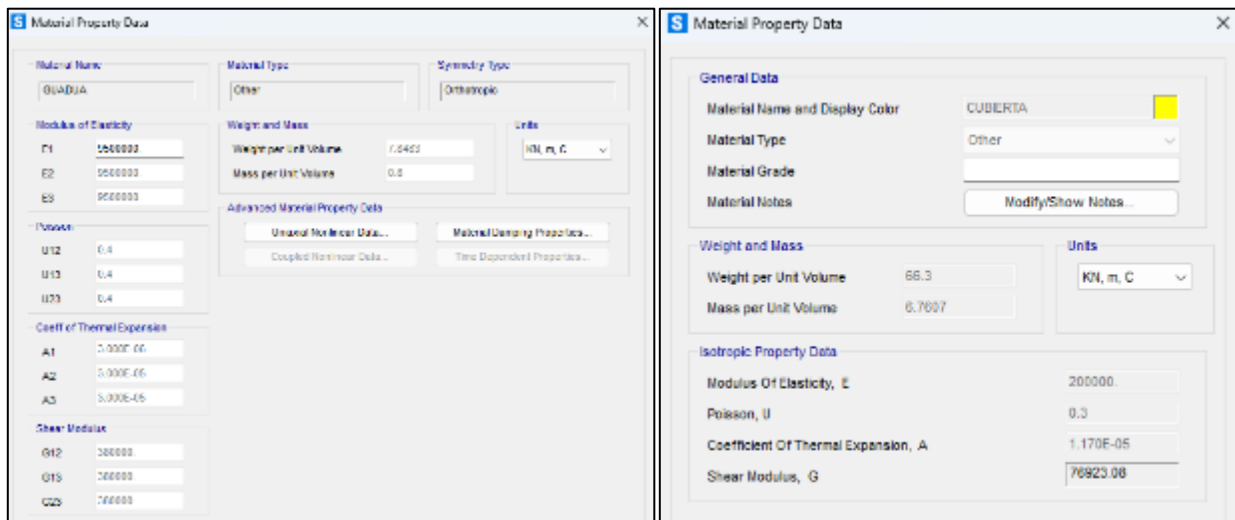
RESUMEN

El sistema estructural empleado para el diseño del modelo de vivienda consiste en pórticos de guadua y una cercha que de acuerdo al modelo era necesaria para rigidizar la estructura.

Para conocer la respuesta del sistema estructural del modelo de vivienda ante cargas solicitadas por la NSR-10, fue necesario emplear el software SAP2000 y los criterios empleados para la simulación fueron:

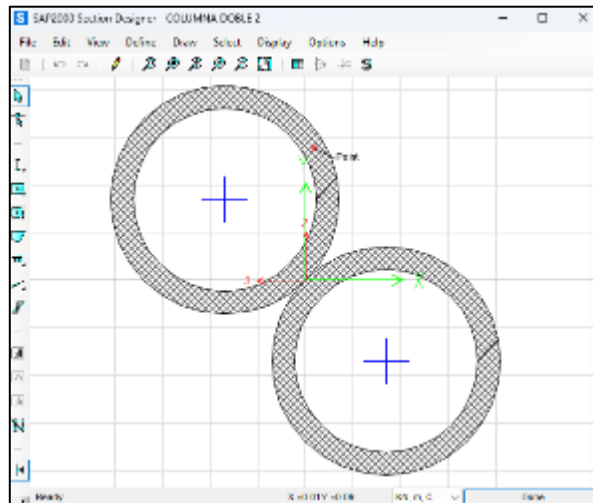
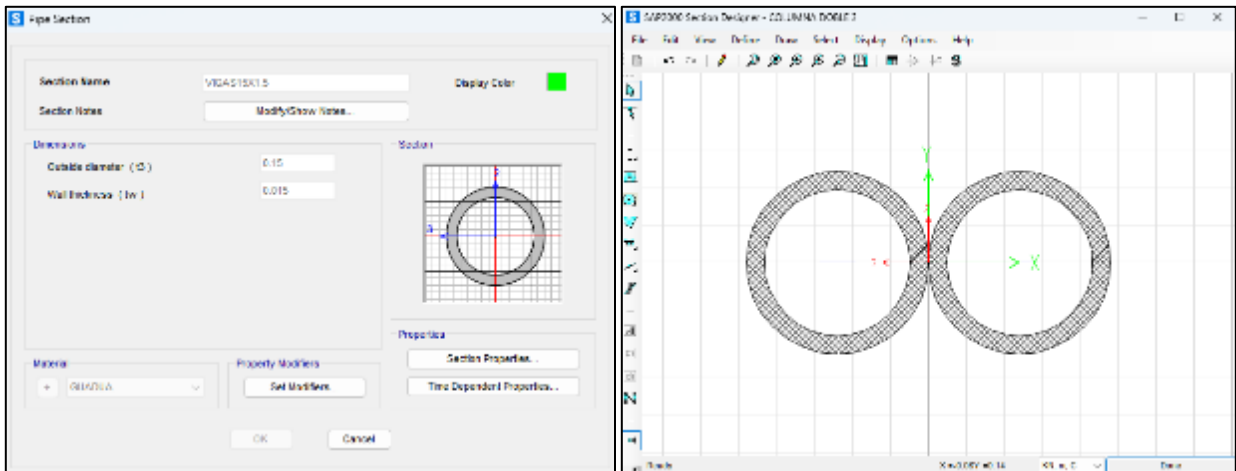
1. Definición de Material

El material que predomina en el sistema estructural del modelo de vivienda es la guadua angustifolia kunth con un contenido de humedad del 12%; y el tipo de teja a usar es arquitectónica galvanizada, por ende, los materiales se insertaron de la siguiente manera en SAP 2000 de acuerdo a sus propiedades físicas ofrecidas por el título G.12 de la NSR-10 en guadua y la ficha técnica de la teja ofrecida por Acesco.

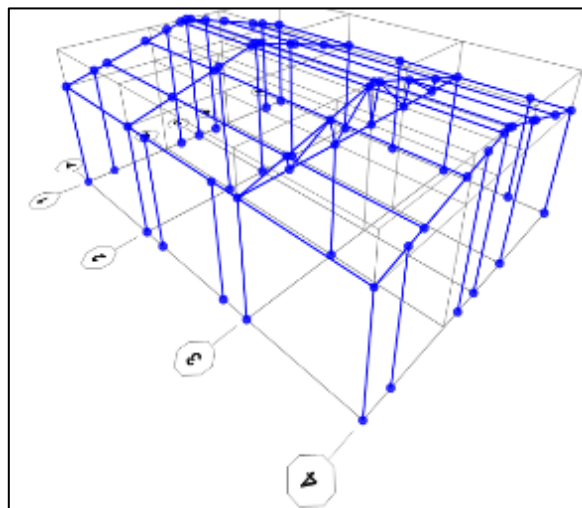


2. Definición de secciones y áreas

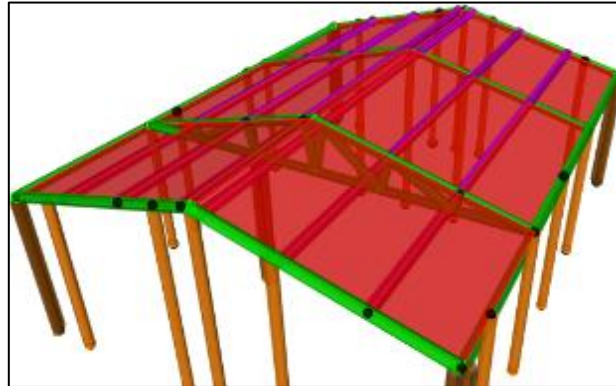
Con los materiales ya definidos, se establecieron las secciones de los elementos que componen la estructura del modelo de vivienda. Para esto, se insertaron las dimensiones de la guadua que son de diámetro de 15cm y de un espesor de pared de 1.5cm. Tanto las secciones de las vigas como la de las correas se generaron de forma similar, al igual que las columnas individuales. Por otro lado, la sección de las columnas esquineras (Columna doble 2) y una del eje 3 (Columna doble 3) se tuvo que crear ya que son columnas compuestas de doble guadua.



Una vez creadas las secciones se trazó el modelo de vivienda aplicando cada uno de los materiales y secciones como corresponde, generando una estructura de 4 ejes numéricos y 5 ejes alfabéticos.

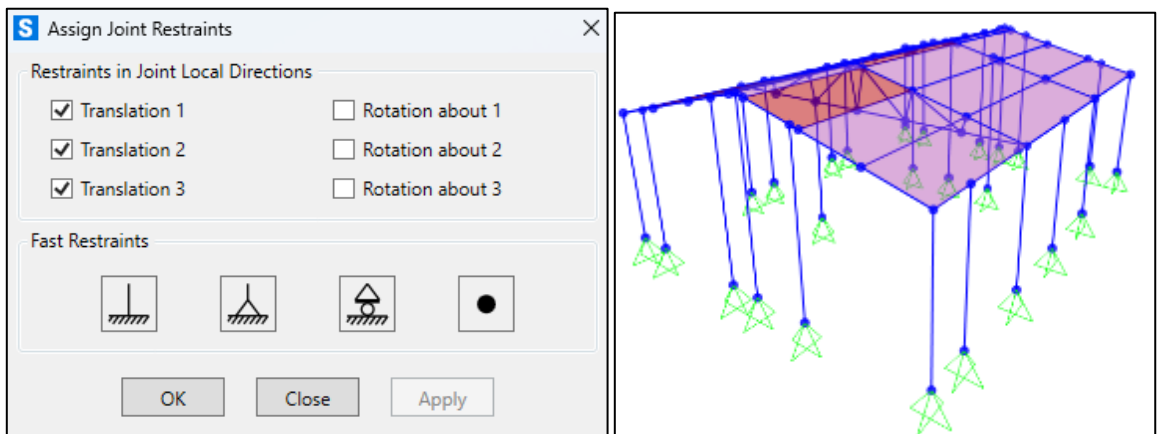


En cuanto a la cubierta se tuvo que crear un polígono de tipo Shell, como el que se ve de color rojo en la imagen.



3. Asignación de restricciones

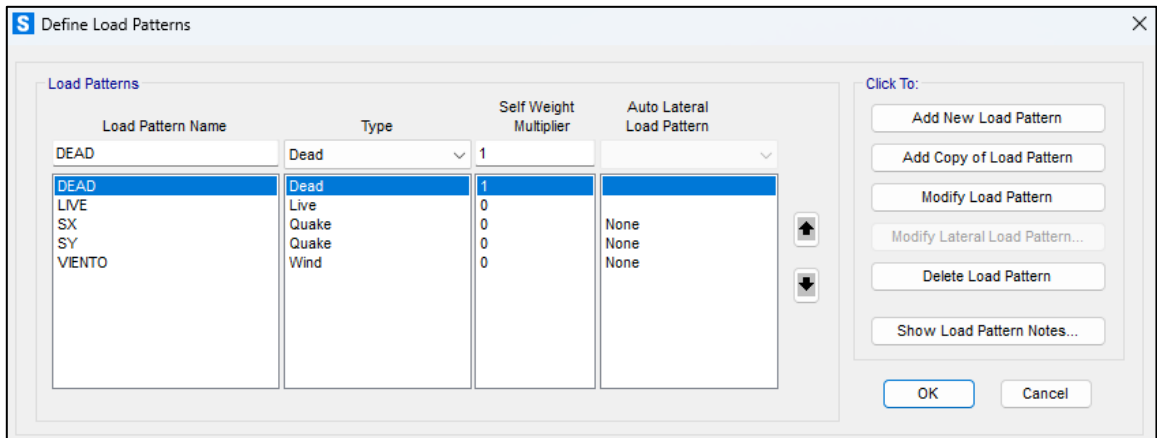
Para que la estructura pueda responder de manera adecuada al análisis de cargas, es necesario asignar las restricciones correspondientes. En este caso para estructuras en guadua según el numeral G.12.7.2 las uniones de la estructura se consideran articuladas, por ende, se asignaron restricciones articuladas a cada una de las columnas como se aprecia de color verde en la imagen.



Además se definieron los centros de masa (Mass Source), ya que son importantes porque en estos se aplican las fuerzas sísmicas. En este caso se utilizó el modo automático de SAP 2000 para que los calculara debido a las cargas muertas.

4. Definición de cargas

Las cargas a tener en cuenta para modelar la estructura fueron la carga muerta (D), carga viva (L), carga de viento (W), sismo en X (E_x) y sismo en Y (E_y). Para el caso de la carga muerta, se le asignó un valor de 1 para que considere el peso del propio en el momento en que el programa analice la estructura.



4.1. Cargas Muertas (D)

Además del peso propio de la estructura, hay una carga muerta que solo se encuentra en la cubierta y aplica como se ve en la tabla.

| Elemento | Valor (KN/m ²) |
|--|----------------------------|
| Guadua | 0.50 |
| Teja arquitectónica calibre 30 galvanizada | 0.0329 |
| Caballete | 0.0167 |
| Total, Carga Muerta | 0.55 |

4.2. Cargas Vivas (L)

La carga viva aplica en la cubierta, por eso la NSR-10 (Título B.4) en la siguiente tabla dice lo siguiente:

| Tipo de Carga | Valor (KN/m ²) | Referencia |
|---|----------------------------|-----------------|
| Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada | 0.5 | Tabla B.4.2.1-2 |

Aplica este valor, ya que la cubierta del modelo de vivienda tiene una pendiente de 15°.

4.3. Carga de viento (W)

Para determinar la carga de viento, fue necesario usar el software Corpasoft 3, el cual de acuerdo a parámetros del viento del entorno donde se ubicaría el proyecto, arroja las presiones de diseño de cubierta. Para este caso se utilizaron datos de Tunja ofrecidos por la NSR-10 a modo de practicidad, ya que como el alcance del proyecto es netamente académico no se tiene una zona específica en donde ubicar el modelo de vivienda. Los datos insertados fueron:

Fuerzas de Viento NSR-10

Análisis para Etapa:

Tipo Edificación:

Sistema Estructural:

[Clasificación de la Estructura:](#)

[Altura media de Cubierta \(m\):](#)

Flujo de Viento:

Tipo de Elemento de Revestimiento:

Tipo de Cubierta del Elemento:

Longitud del Elemento (m):

Ancho Aferente del Elemento (m):

[Dimensión Horizontal de la Estructura \(Normal al Viento\) \(B\) \(m\):](#)

[Dimensión Horizontal de la Estructura \(Paralela al Viento\) \(L\) \(m\):](#)

[Ángulo de la Cubierta \(°\):](#)

Ángulo de la Cubierta a Sotavento (°):

Tipo de Cubierta:

[Velocidad de Viento Básica \(Km/h\) \(Ver Mapa\):](#)

[Grupo de Uso de la Estructura:](#)

Región de la Estructura (m):

[Rugosidad del Terreno:](#)

[Categoría de Exposición:](#)

[La Estructura cumple TODOS los Efectos Topográficos \(Ver Ayuda\):](#)

EFFECTOS TOPOGRÁFICOS

H (m):

x (m):

z (m):

Lh (m):

Forma de la Colina:

De acuerdo a los datos que se insertaron, Corpasoft 3 arrojó las siguientes presiones para una cubierta de 2 aguas con aleros de 0.70m.

| Presiones de Diseño CUBIERTA (Cubiertas a dos y a cuatro aguas $7^\circ < \theta \leq 27^\circ$) Edificios Bajos (C & R): | | |
|--|---|---------|
| Zona 1 | P. Dis. con G_{Cp+} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -3.297 |
| | P. Dis. con G_{Cp+} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | 11.208 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -17.801 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | -3.297 |
| Zona 2 | P. Dis. con G_{Cp+} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -3.297 |
| | P. Dis. con G_{Cp+} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | 11.208 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -23.076 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | -8.571 |
| Zona 3 | P. Dis. con G_{Cp+} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -3.297 |
| | P. Dis. con G_{Cp+} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | 11.208 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -33.625 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | -19.12 |
| *EI NSR-10 (B.6.1.3) estipula que la presión de diseño no será menor de 0.40kN/m² (40 kg/m²) | | |
| Presiones de Diseño ALEROS (Cubiertas a dos y a cuatro aguas $7^\circ < \theta \leq 27^\circ$) Edificios Bajos (C & R): | | |
| Zona 2 | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -36.262 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | -21.757 |
| Zona 3 | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi+} (kg/m^2) | -40.218 |
| | P. Dis. con G_{Cp-} y con G_{Cpi-} (kg/m^2) | -25.713 |
| *EI NSR-10 (B.6.1.3) estipula que la presión de diseño no será menor de 0.40kN/m² (40 kg/m²) | | |

Teniendo en cuenta los resultados, la carga de viento es 0.4 KN/m², ya que el apartado B.6.1.3.2 de la NSR-10 menciona que las presiones no pueden ser inferiores al ya mencionado.

Nota. Los datos usados de Tunja son teóricos y ofrecidos por la NSR-10. El proyecto no cuenta con un lote o área específica para su diseño.

4.4. Espectro de Diseño

Al igual que en el cálculo de la carga de viento, es importante tener claro el sitio donde se ubicaría el proyecto, por eso se siguió usando la información de Tunja a fin de ser consecuente con el diseño. De este modo los datos para el espectro de diseño de acuerdo al título A.2 de la NSR-10 son:

| Datos | | Referencia NSR-10 |
|---------------------------------|------------------|-------------------|
| Ciudad | Tunja | |
| Grupo de uso | Ocupación normal | A.2.5.1.4 |
| Perfil de suelo | D | Tabla A.2.4-1 |
| Zona de amenaza sísmica | INTERMEDIA | Tabla A.2.3-2 |
| Aa | 0,2 | |
| Av | 0,2 | |
| Fa | 1,4 | Tabla A.2.4-3 |
| Fv | 2 | Tabla A.2.4-4 |
| Ae | 0,15 | Tabla A.10.3-2 |
| Ad | 0,07 | Tabla A.12.2-2 |
| Coefficiente de importancia (I) | 1 | Tabla A.2.5-1 |

Dado que no se contó con un estudio de suelos detallado, se seleccionó un perfil de suelo con características regulares (Perfil D) como referencia para evaluar el comportamiento estructural. Esta elección permite realizar un análisis preliminar de la estabilidad y respuesta de la estructura. No obstante, para un diseño definitivo, es necesario contar con un estudio geotécnico que garantice una adecuada caracterización del suelo y una mayor precisión en los resultados

Colombia NSR-10 Function Definition

Function Name: Function Damping Ratio:

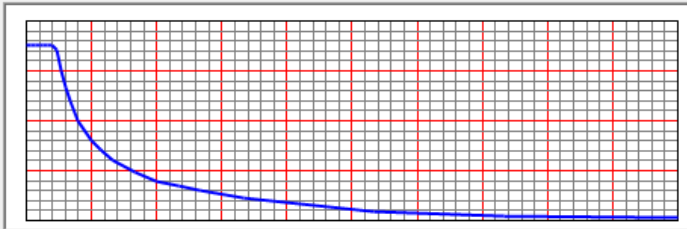
Parameters

Effective Peak Acceleration, Aa:
 Effective Peak Velocity, Av:
 Reduced Effective Peak Acceleration, Ae:
 Eff. Peak Accel. for Damage Threshold, Ad:
 Group of Use:
 Amplification Factor for Acceleration, Fa:
 Amplification Factor for Velocity, Fv:

Define Function

| Period | Acceleration |
|--------|--------------|
| 0. | 0.7 |
| 0.1 | 0.7 |
| 0.2 | 0.7 |
| 0.3 | 0.7 |
| 0.4 | 0.7 |
| 0.5 | 0.7 |
| 0.6 | 0.7 |
| 0.7 | 0.6857 |
| 0.8 | 0.6 |
| 0.9 | 0.5333 |
| 1. | 0.48 |
| 1.2 | 0.4 |
| 1.5 | 0.32 |
| 1.7 | 0.2824 |

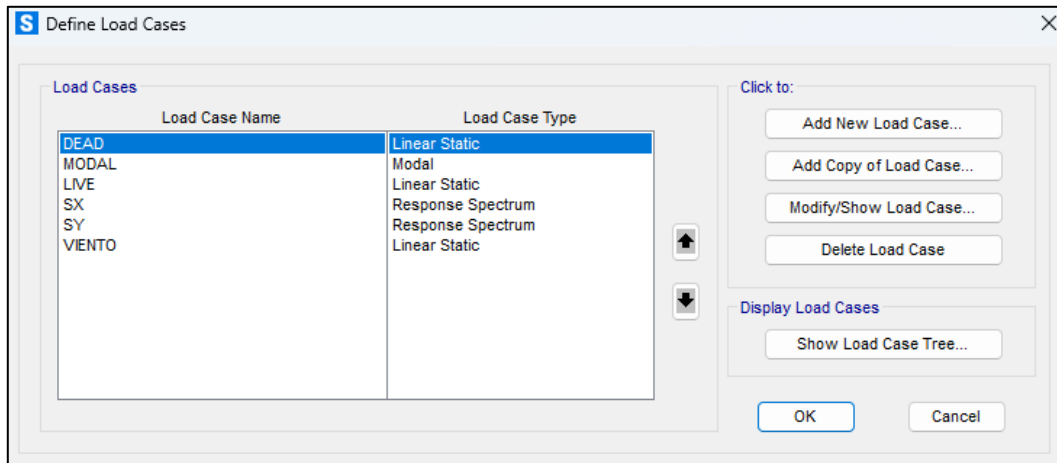
Function Graph



Como se sabe, el periodo es el tiempo que tarda una estructura en hacer una oscilación completa en caso de sismo. Sin embargo, en la estructura del modelo de vivienda este periodo es corto (ver gráfica) y esto se debe a que el modelo es de poca altura, por ende, es más rígido.

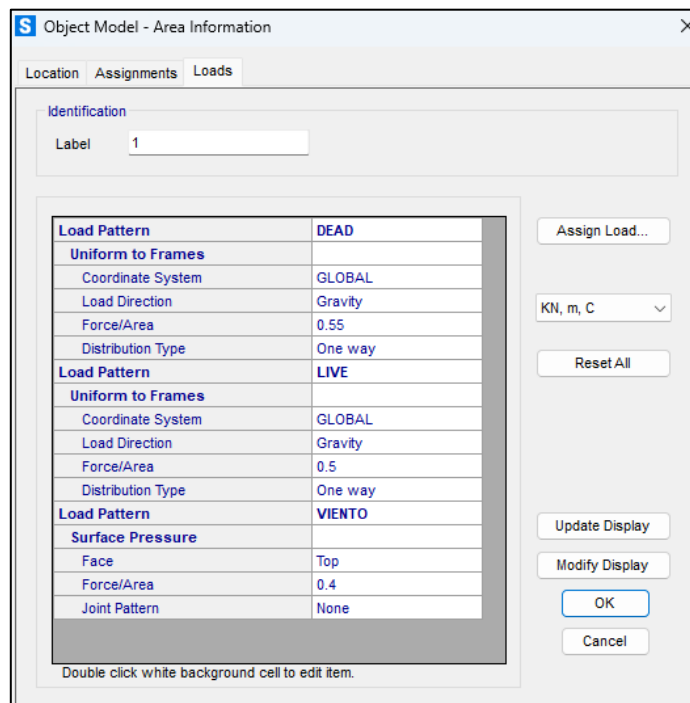
5. Casos de carga

Los casos de carga a definir se necesitan para la modelación de la estructura cuando se le vayan a aplicar las combinaciones de carga, acá se definen prácticamente los casos para un análisis estático (cargas que no cambian) y dinámico (cargas de sismo) de la estructura.



6. Asignación de Carga

Aunque el modelo de vivienda sea en pórticos de guadua y bahareque encementado, se tiene que tener en cuenta la forma en la que se inserta el sistema estructural a SAP2000, en este caso se insertaron solo los pórticos y la cubierta, por ende, las cargas ya determinadas se insertan en los elementos Shell como se ve en la imagen, y estos Shell permiten que las cargas se transmitan de manera uniforme por cada uno de los elementos de la estructura.



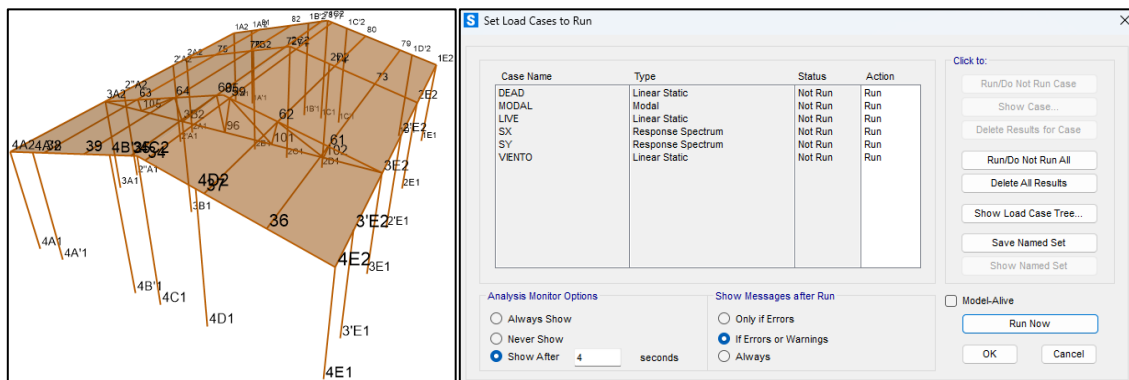
7. Combinaciones de Carga

Teniendo en cuenta las fuerzas y cargas a las que se sometió la estructura, la NSR-10 en G.12.7.1 menciona que el método de diseño de estructuras en guadua debe ser el método de esfuerzos admisibles, por ello se utilizaron combinaciones de carga sin mayorar como lo indica B.2.3.1 de la NSR-10, dichas combinaciones son:

| | | | |
|--------|---------------|--------|-----------------|
| COMB1 | D+L | COMB11 | D+0.525Ex+0.75L |
| COMB2 | D+0.75L | COMB12 | D-0.525Ex+0.75L |
| COMB3 | D+W | COMB13 | D+0.525Ey+0.75L |
| COMB4 | D-W | COMB14 | D-0.525Ey+0.75L |
| COMB5 | D+0.7Ex | COMB15 | 0.6D+W |
| COMB6 | D-0.7Ex | COMB16 | 0.6D-W |
| COMB7 | D+0.7Ey | COMB17 | 0.6D+0.7Ex |
| COMB8 | D-0.7Ey | COMB18 | 0.6D-0.7Ex |
| COMB9 | D+0.75W+0.75L | COMB19 | 0.6D+0.7Ey |
| COMB10 | D-0.75W+0.75L | COMB20 | 0.6D-0.7Ey |

8. Análisis del sistema estructural del modelo de vivienda

A lo largo del documento se presentó la estructura de los pórticos del modelo de vivienda como un sistema sometido a cargas normal, sin embargo, se rescata que para lograr buenos resultados es necesario añadir una cercha de guadua en el eje 3, esto debido a que en esta zona según la arquitectura queda la cocina y comedor, pero no tiene divisiones, lo que generaba una luz bastante grande para las correas de guadua y además una sobrecarga en la columna.



8.1. Derivas

Una vez se corrió el programa el SAP 2000 como se aprecia en la imagen anterior, se exportó la tabla de deformaciones de acuerdo al sismo en X (U_x) y el sismo en Y (U_y) y con los valores obtenidos, se calcularon las derivas máximas con la fórmula que ofrece

la NSR-10 (A.6.3-1) y se programó una condición, la cual indica si se cumple o no con la condición de deriva máxima (Tabla A.6.4-1).

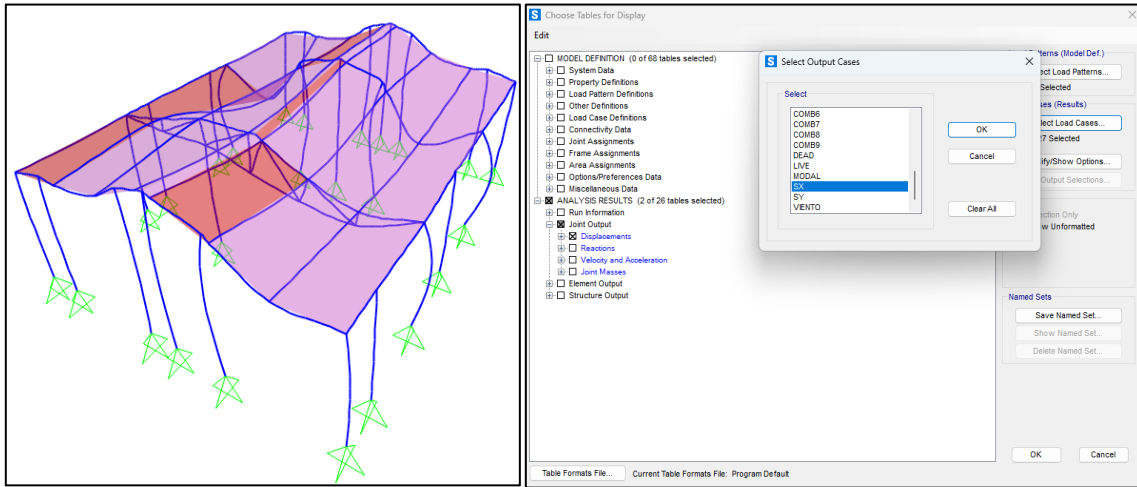


Tabla A.6.4-1
Derivas máximas como porcentaje de h_{pi}

$$\Delta_{max}^i = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (\delta_{tot,j}^i - \delta_{tot,j}^{i-1})^2} \quad (A.6.3-1)$$

| Estructuras de: | Deriva máxima |
|--|---|
| concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2 | 1.0% ($\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$) |
| de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3 | 0.5% ($\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$) |

| TABLE: Joint Displacements | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|------------|------------|----------------|------|--------|--------------------------|
| Joint | Ux | Uy | ΔX | ΔY | Δ_{max} | h | | $\Delta_{max} \leq 1\%h$ |
| Text | m | m | m | m | m | m | 1%h | |
| 1A2 | 0,008801 | 0,012784 | 0,008801 | 0,012784 | 0,01552058 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 1A1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 1A'2 | 0,008827 | 0,01382 | 0,008827 | 0,01382 | 0,01639842 | 2,5 | 0,025 | Cumple Deriva |
| 1A'1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 1B'2 | 0,008819 | 0,016136 | 0,008819 | 0,016136 | 0,01838873 | 3 | 0,03 | Cumple Deriva |
| 1B'1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 1C2 | 0,008824 | 0,016576 | 0,008824 | 0,016576 | 0,01877836 | 3,15 | 0,0315 | Cumple Deriva |
| 1C1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 1C'2 | 0,008819 | 0,016104 | 0,008819 | 0,016104 | 0,01836065 | 3 | 0,03 | Cumple Deriva |
| 1C'1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 1D'2 | 0,008827 | 0,013826 | 0,008827 | 0,013826 | 0,01640348 | 2,5 | 0,025 | Cumple Deriva |
| 1D'1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 1E2 | 0,008801 | 0,012724 | 0,008801 | 0,012724 | 0,01547119 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 1E1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2A2 | 0,009502 | 0,012786 | 0,009502 | 0,012786 | 0,01593015 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 2A1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2'A2 | 0,00987 | 0,012786 | 0,00987 | 0,012786 | 0,01615236 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 2'A1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2''A2 | 0,010766 | 0,012795 | 0,010766 | 0,012795 | 0,01672181 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 2''A1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2B2 | 0,009507 | 0,018324 | 0,009507 | 0,018324 | 0,02064345 | 2,9 | 0,029 | Cumple Deriva |
| 2B1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2C2 | 0,009508 | 0,020763 | 0,009508 | 0,020763 | 0,02283647 | 3,15 | 0,0315 | Cumple Deriva |

| | | | | | | | | |
|------|----------|----------|----------|----------|------------|------|--------|---------------|
| 2C1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2D2 | 0,009506 | 0,018286 | 0,009506 | 0,018286 | 0,02060927 | 2,9 | 0,029 | Cumple Deriva |
| 2D1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2E2 | 0,009502 | 0,012724 | 0,009502 | 0,012724 | 0,01588043 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 2E1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 2'E2 | 0,010507 | 0,012723 | 0,010507 | 0,012723 | 0,01650066 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 2'E1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 3A2 | 0,010787 | 0,0128 | 0,010787 | 0,0128 | 0,01673916 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 3A1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 3B2 | 0,010763 | 0,014587 | 0,010763 | 0,014587 | 0,01812795 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 3B1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 3E2 | 0,010833 | 0,012729 | 0,010833 | 0,012729 | 0,0167147 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 3E1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 3'E2 | 0,010563 | 0,012721 | 0,010563 | 0,012721 | 0,01653484 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 3'E1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 4A2 | 0,010299 | 0,0128 | 0,010299 | 0,0128 | 0,01642892 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 4A1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 4A'2 | 0,010329 | 0,013841 | 0,010329 | 0,013841 | 0,01727025 | 2,5 | 0,025 | Cumple Deriva |
| 4A'1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 4B'2 | 0,010321 | 0,016129 | 0,010321 | 0,016129 | 0,01914857 | 3 | 0,03 | Cumple Deriva |
| 4B'1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 4C2 | 0,01033 | 0,016541 | 0,01033 | 0,016541 | 0,01950163 | 3,15 | 0,0315 | Cumple Deriva |
| 4C1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 4D2 | 0,010336 | 0,015713 | 0,010336 | 0,015713 | 0,01880774 | 2,9 | 0,029 | Cumple Deriva |
| 4D1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 4E2 | 0,010326 | 0,01272 | 0,010326 | 0,01272 | 0,01638367 | 2,3 | 0,023 | Cumple Deriva |
| 4E1 | 0 | 0 | | | | | | |

La estructura del modelo de vivienda cumple con derivas, ya que en lo que respecta al eje X se obtuvo una deriva máxima de 0.010833m y en el eje Y se obtuvo una deriva máxima de 0.020763m; ninguna se supera el 1% de la altura de piso del modelo de vivienda.

8.2. Método de Esfuerzos Admisibles

Obteniendo un diseño óptimo en cuanto a derivas, ahora es necesario comprobar que los elementos de la estructura del modelo de vivienda no estén sobrecargados. Para esto se implementa el método de esfuerzos admisibles como lo menciona el apartado G.12.7.1. de la NSR-10. Este método consiste en comparar los esfuerzos que generan las cargas que se aplican a la estructura (Esfuerzos actuantes) con los esfuerzos máximos del material con el que está hecha la estructura (Esfuerzos admisibles).

En este caso, en la estructura del modelo de vivienda en guadua el método se llevó a cabo de la siguiente manera:

8.2.1. Datos Iniciales

Para empezar, se tienen unos datos iniciales correspondientes a la geometría de la sección transversal de la guadua que se usa en la estructura, como todo el análisis de la estructura se realizó en el software SAP2000, se pensó siempre en guadua con secciones comerciales, además se tiene en cuenta el contenido de humedad en la que se despacha la guadua y la temperatura del lugar donde se proyecta la estructura, ver tabla (1.):

| 1. Datos Iniciales | | |
|----------------------------|-----------------|-----------|
| | Unidad | Valor |
| Diámetro Exterior [De] | mm | 150 |
| Espesor [t] | mm | 15 |
| Área Neta | mm ² | 6361,73 |
| Inercia | mm ⁴ | 234747657 |
| Módulo de Sección | mm ³ | 195623 |
| Contenido de humedad | % | 12 |
| Temperatura promedio Tunja | °C | 13 |

Datos como el área neta, inercia y modulo de sección se calculan con las siguientes formulas:

$$A = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - (D_e - 2t)^2) \quad (G.12.8-1) \quad I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$S = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32 D_e} \quad (G.12.8-5)$$

8.2.2. Coeficientes de Modificación

Aunque la NSR-10 afortunadamente cuenta con los valores de esfuerzos admisibles para la guadua angustifolia kunth con una humedad del 12%, se debe tener en cuenta la realidad del lugar donde se proyecta la estructura del modelo de vivienda y demás aspectos para que el material trabaje de la mejor manera. Para ello, se debe hacer un ajuste en los esfuerzos admisibles de acuerdo a unos coeficientes de modificación los cuales representan las variaciones de la realidad que se menciona, como se aprecia en la siguiente tabla:

| 2. Coeficientes de Modificación [C _i] | | |
|---|---|----------------|
| Coef. Por duración de carga [C _D] | 1 | 0,9 |
| Coef. Por contenido de humedad [C _m] | 1 | Tabla G.12.7-5 |
| Coef. Por temperatura [C _t] | 1 | Tabla G.12.7-6 |
| Coef. Por acción conjunta [C _r] | 1 | G.12.7.9 |
| Coef. Por estabilidad lateral [C _L] | 1 | G.12.8.10.3 |

Para el coeficiente de modificación por duración de carga la NSR-10 dice en G.12.7.6 que se considera que la duración normal de una carga son 10 años.

Los valores de los esfuerzos admisibles que se deben modificar y módulos de elasticidad que ofrece la NSR-10 son:

| 3. Módulos de Elasticidad [E] y Esfuerzos Admisibles [F _i] | | | |
|--|-----|-------|----------------|
| Módulo Promedio [E _{0,5}] | Mpa | 9.500 | Tabla G.12.7-2 |
| Módulo Percentil 5 [E _{0,05}] | Mpa | 7.500 | |
| Módulo Mínimo [E _{min}] | Mpa | 4.000 | |
| Esfuerzo admisible a Flexión [F _b] | Mpa | 15 | Tabla G.12.7-1 |
| Esfuerzo admisible a Tracción [F _t] | Mpa | 18 | |

| | | |
|---|-----|-----|
| Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [F _c] | Mpa | 14 |
| Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [F _p] | Mpa | 1,4 |
| Esfuerzo admisible a Corte [F _v] | Mpa | 1,2 |

8.2.3. Esfuerzos Admisibles Modificados

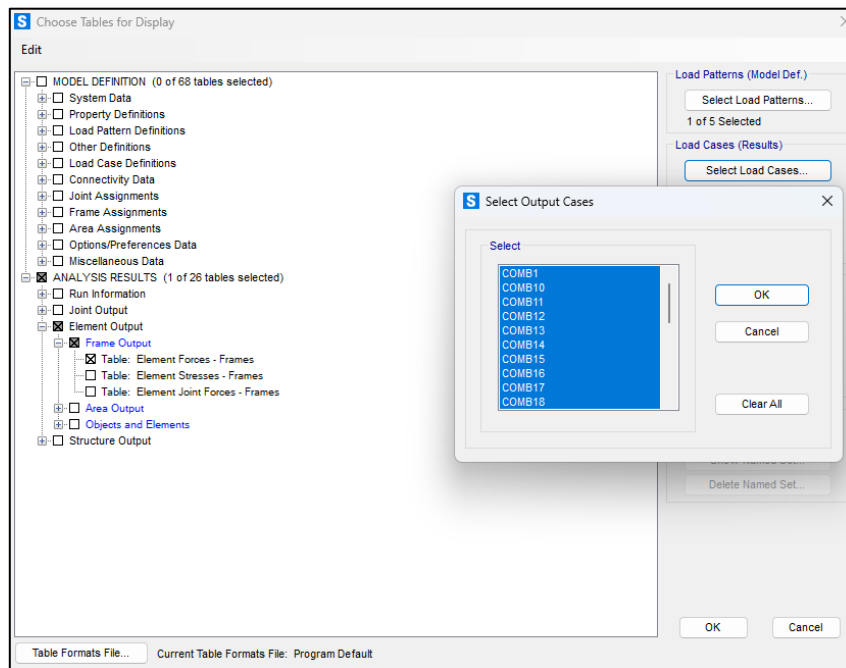
El procedimiento para calcular los esfuerzos admisibles modificados es muy simple, solo se debe multiplicar el valor de cada esfuerzo admisible por los coeficientes de modificación (ver tablas 2., 3. y 4.), así lo dice la NSR-10 con la ecuación G.12.7-3.

$$F'_i = F_i C_D C_M C_T C_L C_F C_P C_e \quad (G.12.7-3)$$

| 4. Esfuerzos Admisibles Modificados [F _i '] | | |
|---|-----|------|
| Esfuerzo admisible a Flexión [F _b] | Mpa | 15 |
| Esfuerzo admisible a Tracción [F _t] | Mpa | 18 |
| Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [F _c] | Mpa | 14 |
| Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [F _p] | Mpa | 1,26 |
| Esfuerzo admisible a Corte [F _v] | Mpa | 1,2 |

8.2.4. Diseño de Elementos

El valor los esfuerzos admisibles modificados es muy importante ya que son los que no pueden superar los esfuerzos actuantes de la estructura del modelo de vivienda. Entonces para conocer los esfuerzos actuantes, es necesario conocer las fuerzas máximas actuantes de la estructura, las cuales se extrajeron de SAP2000 como se aprecia en la imagen:



Estas fuerzas máximas, se extrajeron por cada una de las combinaciones que se insertaron en el modelo. Lo que se hizo a su vez fue filtrar dichas fuerzas máximas por grupos de elementos que son vigas – correas, columnas y columnas compuestas para conocer su comportamiento, así:

| Fuerzas máximas Vigas - Correas | | | | | |
|---------------------------------|---------|-------|--------|---------|---------|
| COMBINACIÓN DE CARGA | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
| | KN | KN | KN | KN-m | KN-m |
| COMB1 | -12,8 | 3,392 | 0,093 | -0,0728 | -1,0324 |
| COMB2 | -11,474 | 2,995 | 0,089 | -0,0695 | -0,9116 |
| COMB3 | -7,718 | 2,232 | -0,322 | -0,3285 | -0,9313 |
| COMB4 | -7,269 | 2,237 | 0,324 | 0,3309 | -0,9029 |
| COMB5 | -7,7 | 2,012 | 0,348 | 0,2395 | 0,8002 |
| COMB6 | -7,7 | 2,012 | 0,348 | 0,2395 | 0,8002 |
| COMB7 | -9,199 | 2,372 | 0,361 | 0,2399 | -0,8264 |
| COMB8 | -7,7 | 2,012 | 0,348 | 0,2395 | 0,8002 |
| COMB9 | -11,642 | 3,316 | -0,25 | -0,2445 | -1,1724 |
| COMB10 | -11,305 | 3,315 | 0,255 | 0,2501 | -1,1715 |
| COMB11 | -11,628 | 3,151 | 0,288 | 0,1812 | -1,0373 |
| COMB12 | -11,628 | 3,151 | 0,288 | 0,1812 | -1,0373 |
| COMB13 | -11,628 | 3,151 | 0,288 | 0,1812 | -1,0373 |
| COMB14 | -11,628 | 3,151 | 0,288 | 0,1812 | -1,0373 |
| COMB15 | -4,721 | 1,717 | -0,312 | -0,329 | -0,8505 |
| COMB16 | 4,292 | 1,733 | 0,313 | 0,3304 | -0,851 |
| COMB17 | -4,702 | 1,331 | 0,322 | 0,2386 | 0,7926 |
| COMB18 | -4,702 | 1,331 | 0,322 | 0,2386 | 0,7926 |
| COMB19 | -4,702 | 1,331 | 0,322 | 0,2386 | 0,7926 |
| COMB20 | -4,702 | 1,331 | 0,322 | 0,2386 | 0,7926 |

| Fuerzas máximas Columnas | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| COMBINACIÓN DE CARGA | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
| | KN | KN | KN | KN-m | KN-m |
| COMB1 | -5,768 | 0,242 | 0,026 | -0,0832 | -0,5684 |
| COMB2 | -5,178 | 0,214 | 0,026 | -0,0813 | -0,5018 |
| COMB3 | -4,522 | -0,358 | 0,023 | -0,0737 | 0,8423 |
| COMB4 | -3,178 | 0,369 | 0,025 | -0,0772 | -0,8663 |
| COMB5 | -3,814 | 0,273 | -0,232 | 0,546 | -0,6408 |
| COMB6 | -3,814 | 0,273 | -0,232 | 0,546 | -0,6408 |
| COMB7 | -4,495 | 0,292 | -0,235 | 0,5513 | -0,6859 |
| COMB8 | -3,814 | 0,273 | -0,232 | 0,546 | -0,6408 |
| COMB9 | -6,014 | -0,383 | 0,025 | -0,08 | 0,8998 |
| COMB10 | -5,123 | 0,394 | 0,026 | -0,0826 | -0,9249 |
| COMB11 | -5,482 | 0,3 | -0,18 | 0,4234 | -0,7046 |
| COMB12 | -5,482 | 0,3 | -0,18 | 0,4234 | -0,7046 |
| COMB13 | -5,482 | 0,3 | -0,18 | 0,4234 | -0,7046 |
| COMB14 | -5,482 | 0,3 | -0,18 | 0,4234 | -0,7046 |
| COMB15 | -3,159 | -0,308 | 0,014 | -0,0435 | 0,7246 |

| | | | | | |
|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
| COMB16 | -2,242 | 0,317 | -0,016 | -0,047 | -0,7455 |
| COMB17 | -2,45 | 0,234 | -0,228 | 0,5353 | -0,5507 |
| COMB18 | -2,45 | 0,234 | -0,228 | 0,5353 | -0,5507 |
| COMB19 | -2,45 | 0,234 | -0,228 | 0,5353 | -0,5507 |
| COMB20 | -2,45 | 0,234 | -0,228 | 0,5353 | -0,5507 |

| Fuerzas máximas Columnas Compuestas | | | | | |
|-------------------------------------|---------|--------|-------|---------|---------|
| COMBINACIÓN DE CARGA | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
| | KN | KN | KN | KN-m | KN-m |
| COMB1 | -14,192 | -0,208 | -0,04 | 0,0939 | 0,4878 |
| COMB2 | -12,762 | -0,186 | -0,04 | 0,094 | 0,4377 |
| COMB3 | -8,191 | -1,186 | 0,077 | -0,1811 | 2,7882 |
| COMB4 | -8,755 | 0,942 | 0,087 | -0,2056 | -2,213 |
| COMB5 | -8,795 | -0,899 | 0,339 | -0,7969 | 2,1127 |
| COMB6 | -8,795 | -0,899 | 0,339 | -0,7969 | 2,1127 |
| COMB7 | -10,489 | -0,923 | 0,341 | -0,8006 | 2,1702 |
| COMB8 | -8,795 | -0,899 | 0,339 | -0,7969 | 2,1127 |
| COMB9 | -12,551 | -0,984 | 0,055 | -0,1304 | 2,3132 |
| COMB10 | -12,974 | 0,612 | 0,07 | -0,1639 | -1,4377 |
| COMB11 | -13,004 | -0,769 | 0,265 | -0,6239 | 1,8065 |
| COMB12 | -13,004 | -0,769 | 0,265 | -0,6239 | 1,8065 |
| COMB13 | -13,004 | -0,769 | 0,265 | -0,6239 | 1,8065 |
| COMB14 | -13,004 | -0,769 | 0,265 | -0,6239 | 1,8065 |
| COMB15 | -4,802 | -1,138 | 0,076 | -0,1795 | 2,6731 |
| COMB16 | -5,366 | 0,991 | 0,083 | -0,1956 | -2,328 |
| COMB17 | -5,406 | -0,85 | 0,336 | -0,7894 | 1,9976 |
| COMB18 | -5,406 | -0,85 | 0,336 | -0,7894 | 1,9976 |
| COMB19 | -5,406 | -0,85 | 0,336 | -0,7894 | 1,9976 |
| COMB20 | -5,406 | -0,85 | 0,336 | -0,7894 | 1,9976 |

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, se seleccionaron de todas las combinaciones los valores de las fuerzas máximas actuantes por cada elemento, esto debido a que en este método de diseño estructural siempre se debe trabajar con el peor de los casos, por ende, resulta esta tabla resumen:

| | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|---------------------|---------|--------|--------|---------|---------|
| | KN | KN | KN | KN-m | KN-m |
| Vigas-Correas | -12,8 | 3,392 | 0,361 | 0,3309 | -1,1724 |
| Columnas | -6,014 | 0,394 | -0,235 | 0,5513 | -0,9249 |
| Columnas Compuestas | -14,192 | -1,186 | 0,341 | -0,8006 | 2,7882 |

Y es con estos valores de fuerzas máximas que se deben hallar los esfuerzos actuantes de la estructura del modelo de vivienda. Además, verificar que dichos esfuerzos actuantes no superen los esfuerzos admisibles modificados.

8.2.4.1. Diseño de elementos sometidos a flexión

Para el calculo de cada uno de los esfuerzos, dentro de la ecuación es necesario convertir las unidades de KN a N y usar los valores negativos en valor absoluto, pues así lo solicitan las ecuaciones.

Momento Resistente

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b \quad (G.12.8-4)$$

| Momento Resistente [fb] | | | |
|-------------------------|-----|---------|--------|
| Vigas - Correas | Mpa | 0,00599 | Cumple |
| Columnas | Mpa | 0,00473 | Cumple |
| Columnas Compuestas | Mpa | 0,01425 | Cumple |

Cortante

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v \quad (G.12.8-9)$$

| Cortante [fv] | | | |
|---------------------|-----|-------|--------|
| Vigas - Correas | Mpa | 1,144 | Cumple |
| Columnas | Mpa | 0,133 | Cumple |
| Columnas Compuestas | Mpa | 0,400 | Cumple |

Aplastamiento

$$f_p = \frac{P}{A_n} \leq F'_p$$

| Aplastamiento [fp] | | | |
|---------------------|-----|-------|--------|
| Vigas - Correas | Mpa | 0,853 | Cumple |
| Columnas | Mpa | 0,401 | Cumple |
| Columnas Compuestas | Mpa | 0,946 | Cumple |

8.2.4.2. Diseño de elementos sometidos a Compresión

Como se pudo observar, en todos los elementos, las fuerzas P máximas extraídas de SAP2000 indican que los elementos trabajan a compresión, esto por que son valores negativos, por ende, no hay diseño a tensión.

De acuerdo a cada uno de los parámetros que requiere el calculo de la compresión, las columnas de la estructura del modelo de vivienda son intermedias, por eso es usa la ecuación G.12.9-8.

$$f_c = \frac{N}{A_n \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_K} \right]^3 \right)} \leq F_c' \quad (\text{G.12.9-8})$$

| Compresión [fc] | | | |
|---------------------|-----|-------|--------|
| Columnas | Mpa | 0,945 | Cumple |
| Columnas Compuestas | Mpa | 2,231 | Cumple |

8.2.4.3. Diseño de elementos Flexo-compresión

Como se mencionó anteriormente, las fuerzas máximas P indican únicamente trabajo a compresión por ende el diseño a flexo-compresión, se obtiene así:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_n/N_{cr})} \quad (\text{G.12.10-3})$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{s,ef} I}{l_c^2} \quad (\text{G.12.10-4})$$

| | |
|-----|------------|
| Ncr | 3284782,39 |
| Km1 | 1,00275 |
| Km2 | 1,00652 |

Se aclara que el coeficiente Km1 corresponde a solo columnas y Km2 corresponde a columnas compuestas.

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{k_m f_b}{F_b} \leq 1.0 \quad (\text{G.12.10-2})$$

| Flexo - Compresión | | | |
|---------------------|-----|-------|--------|
| Columnas | Mpa | 0,068 | Cumple |
| Columnas Compuestas | Mpa | 0,160 | Cumple |

8.2.4.4. Resultados del Método de Esfuerzos Admisibles

A modo de resumen, los resultados de cada uno de los esfuerzos actuantes se muestran en las siguientes tablas. Aunque no es necesario calcular todos los esfuerzos en todos los elementos, lo que se hizo a su vez fue conocer el comportamiento de cada uno ante estos esfuerzos.

| Esfuerzos Actuantes Vigas - Correas | | Esfuerzos Admisibles | |
|---|---------|----------------------|------|
| Esfuerzo admisible a Flexión [F _b] | 0,00599 | < | 15 |
| Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [F _c] | 2,012 | < | 14 |
| Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [F _p] | 0,853 | < | 1,26 |
| Esfuerzo admisible a Corte [F _v] | 1,144 | < | 1,2 |

| Esfuerzos Actuantes Columnas | | | Esfuerzos Admisibles |
|---|---------|---|----------------------|
| Esfuerzo admisible a Flexión [F_b] | 0,00473 | < | 15 |
| Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [F_c] | 0,945 | < | 14 |
| Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [F_p] | 0,401 | < | 1,26 |
| Esfuerzo admisible a Corte [F_v] | 0,133 | < | 1,2 |

| Esfuerzos Actuantes Columnas Compuestas | | | Esfuerzos Admisibles |
|---|---------|---|----------------------|
| Esfuerzo admisible a Flexión [F_b] | 0,01425 | < | 15 |
| Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [F_c] | 2,231 | < | 14 |
| Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [F_p] | 0,946 | < | 1,26 |
| Esfuerzo admisible a Corte [F_v] | 0,400 | < | 1,2 |

Al cumplir todas las condiciones tanto en vigas y correas como columnas y columnas dobles, se concluye que la estructura del modelo de vivienda en guadua sometida a diferentes cargas y combinaciones de carga se encuentra en optimas condiciones de seguridad, permitiendo afirmar que los materiales usados son de calidad y las secciones de los elementos son las adecuadas para que haya un comportamiento estructural eficiente.

Además, los valores obtenidos indican que la estructura está sometida a cargas distribuidas no muy grandes y que a su vez hacen que la estructura sea liviana.

Se debe destacar que el uso de un software como SAP2000, permite optimizar tiempo a la hora de conocer las secciones de cada uno de los elementos y comportamientos de los mismos, pues la NSR-10 en G.12, ofrece un procedimiento "manual", lo cual hace que el diseño de cada uno de los elementos sea un poco extenso.