

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS CIVILES**

**TEMA:  
PÓRTICOS PLANOS DE SECCIÓN VARIABLE COMO ALTERNATIVA DE  
CONSTRUCCIÓN PARA INDUSTRIAS QUE REQUIERAN UN MAYOR  
NIVEL DE ASEPSIA.**

**AUTORES:**

**CHANGOLUISA VENEGAS STALIN RONALDO  
VEGA VILLAMAR NATALY SILVANA**

**TUTOR:**

**TORRES BERNI WILSON RAMIRO**

**Quito, octubre 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Changoluisa Venegas Stalin Ronaldo, con documento de identificación N° 1720887205 y Vega Villamar Nataly Silvana, con documento de identificación N° 1725302838, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación con el tema: PÓRTICOS PLANOS DE SECCIÓN VARIABLE COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA INDUSTRIAS QUE REQUIERAN UN MAYOR NIVEL DE ASEPSIA, mismo que se ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS CIVILES, en la Universidad Politécnica Salesiana; quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores no reservamos los derechos morales de la obra citada anteriormente. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

CHANGOLUISA VENEGAS STALIN  
RONALDO  
C.I.: 1720887205



---

VEGA VILLAMAR NATALY  
SILVANA  
C.I.: 1725302838

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Torres Berni Wilson Ramiro, con C.I: 1710259845, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico: PÓRTICOS PLANOS DE SECCIÓN VARIABLE COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA INDUSTRIAS QUE REQUIERAN UN MAYOR NIVEL DE ASEPSIA, realizado por: Changoluisa Venegas Stalin Ronaldo, con C.I: 1720887205 y Vega Villamar Nataly Silvana, con C.I: 1725302838, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



---

TORRES BERNI WILSON RAMIRO  
C.I.: 1710259845

# PÓRTICOS PLANOS DE SECCIÓN VARIABLE COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN PARA INDUSTRIAS QUE REQUIERAN UN MAYOR NIVEL DE ASEPSIA

## 2D FRAMES WITH VARIABLE SECTION AS AN ALTERNATIVE TO CONSTRUCTION FOR INDUSTRIES THAT REQUIRE A HIGHER LEVEL OF ASEPSIA

Stalin-Changoluisa Vanegas<sup>1</sup>, Nataly-Vega Villamar<sup>2</sup>, Wilson-Torres Berni<sup>3</sup>

### Resumen

El presente proyecto se enfoca en el estudio de estructuras metálicas tipo galpón de sección variable. Consta de 2 partes: la primera que obtiene la matriz de rigidez para un elemento con n número de cartelas y la segunda, la aplicación de la primera parte en la resolución de un pórtico.

El proceso de resolución se encuentra basado en métodos matriciales que consisten en obtener coeficientes de flexibilidad para transformarlos en coeficientes de rigidez, mediante el análisis de integrales, con el objetivo de desarrollar un programa a través de un software de investigación y gestión matemática (Matlab), para el diseño y análisis de estas secciones.

Los resultados obtenidos se realizaron para distintas combinaciones de carga de la Norma NEC-SE-CG 2015, realizando la verificación de diseño por esfuerzos combinados y verificación por corte basados en el AISC 360-16, para cada una de ellas.

### Palabras Clave:

Rigidez, flexibilidad, programa, verificación, esfuerzos combinados, sección variable, pórtico, elementos.

### Abstract

This project focuses on the study of tapered sections for industrial structures. It consists of two parts: the first one that obtains the stiffness matrix for an element with n variable sections in one element and the second part, the application of the first part in the resolution of a frame.

The resolution process is based on matrix methods that consist in of obtaining flexibility coefficients to transform them into stiffness coefficients, through the resolution of integrals, with the aim of developing a program through a mathematical research and management software (Matlab), for the design and analysis of these sections.

The results obtained were carried out for different load combinations of the NEC-SE-CG 2015 Standard, performing the design verification by combined forces and shear based on the AISC 360-16, for each one.

### Keywords

Stiffness, flexibility, programming, verification, combined stresses, variable section, frame, elements

<sup>1</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

<sup>3</sup> Docente de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: [schangoluisav@est.ups.edu.ec](mailto:schangoluisav@est.ups.edu.ec), [nvegav@est.ups.edu.ec](mailto:nvegav@est.ups.edu.ec)

## 1. Introducción

Desde el comienzo de la revolución industrial, el ser humano ha desarrollado numerosas actividades, que han dinamizado la economía mundial, por lo que se ha requerido de estructuras que permitan garantizar este auge. Dentro de estas, se encuentra la construcción de galpones de almacenamiento que no solo satisfagan la disponibilidad de espacio, sino que además puedan garantizar un nivel de limpieza e higiene adecuado para sus productos o materias primas. [1]

Las estructuras de acero son muy conocidas en la construcción de naves industriales porque ofrecen un rápido ensamblaje, poco peso y la posibilidad de prefabricación. Sin embargo, los precios de mantenimiento resultan ser algo costosos e incluso no tan eficientes, pues las naves industriales conformadas por cerchas, generan la acumulación de agentes contaminantes. Es por ello que se pretende presentar como alternativa la implementación de secciones variables de alma llena para la conformación de estas estructuras. [2]

Una de las principales actividades que impulsan la economía de nuestro país es el sector industrial. Pues son estos los encargados de transformar la materia prima en productos comerciables, los mismos que satisfacen a la población ecuatoriana. El presente trabajo, al igual que otros existentes [3], pretende determinar el análisis y diseño de secciones variables (tapered section) como alternativa para la construcción de pórticos. Con lo cual, se puede ofrecer una alternativa de construcción para naves industriales. [4]

Los beneficios de implementar esta idea dentro de la construcción permitirán: evitar la constante limpieza de estas estructuras, optimizar el uso de recursos, tiempo y procesos de mantenimiento. [5]

La investigación se basa en los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, tanto a nivel teórico como práctico. Primero, en base a conceptos y definiciones sobre comportamiento estructural; y segundo, mediante un software de programación y gestión matemática como Matlab [6]. Como resultado de este trabajo se generará un software de análisis y diseño que permitirá la verificación de espesores para elementos de sección variable.

## 2. Marco teórico

El proyecto consta de 2 partes: la primera, que genera la matriz de rigidez para un elemento acartelado y la segunda, que aplica el desarrollo teórico en un pórtico de secciones variables.

### 2.1. Métodos matriciales

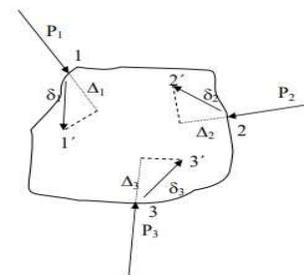
Los métodos matriciales que se usarán en el presente trabajo se conocen como Método de la flexibilidad y Método de la rigidez, los cuales están basados en el álgebra matricial, estos métodos pueden organizarse hasta formar un procedimiento altamente sistematizado para el análisis de una estructura. [7]

#### Método de Flexibilidad

Se usan matrices de flexibilidad de los elementos, suponiendo las fuerzas redundantes de la estructura como incógnitas, y estableciendo ecuaciones fundamentalmente de compatibilidad, las mismas que hacen referencia a la continuidad de los desplazamientos a lo largo de toda la estructura. Dichas relaciones de compatibilidad deben ser satisfechas en todos los nodos de la estructura, incluso en los que posean algún tipo de restricción. [7]

Resueltas las redundantes se continúa resolviendo la estructura como si se tratase de una isostática. En la figura 1 se presentan desplazamientos y giros (coeficientes de flexibilidad) en dirección de una carga unitaria aplicada. En una estructura plana el movimiento de un nudo (o sección, si se trata de barras) tiene tres componentes: dos traslaciones y un giro. [8]

Figura 1: Desplazamiento y giro del punto de aplicación de la carga unitaria  $P_i$  en la dirección de dicha carga. [8]

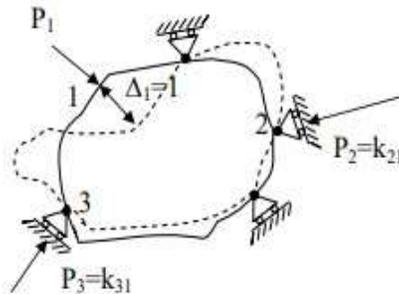


**Método de la Rigidez**

Para la resolución de la estructura por este método se usa un conjunto de ecuaciones simultáneas, ecuaciones de compatibilidad (relaciona deformaciones de barras con los desplazamientos nodales), ecuaciones constitutivas (relaciona las fuerzas en los extremos de barras con los desplazamientos nodales) y ecuaciones de equilibrio. [9]

Primero se determinarán desplazamientos los cuales se sustituyen en la relación fuerza – deformación de cada elemento y así determinar sus fuerzas internas como se observa en la figura 2. [9]

Figura 2: Relación Fuerza- Deformación. [8]



**Tipos de cargas a considerarse en el diseño estructural:**

- Cargas permanentes (D): Se generan por el peso de elementos estructurales y no estructurales que descansan sobre la estructura, su valor es dependiente del tipo de material. El peso propio de los elementos estructurales actúa de manera permanente desde que es montada. [10]
- Cargas accidentales: Su existencia conlleva gran incertidumbre y tienen un valor muy elevado, no se las puede anticipar y el diseño principal responde en su mayoría a soportar este tipo de cargas, se manifiestan en sismos, viento, tsunamis, etc. [10]
  - Sobrecarga de uso (L): Depende del uso al que está destinada la edificación, lo conforman las personas, muebles, equipos, accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, etc. [10]

Para este proyecto se usará la Tabla 9 de

la Norma NEC-SE-CG 2015 [10], sección cubiertas.

- Sobrecarga de Granizo (S): Es el peso acumulado en corto tiempo de granizo, se lo considera en regiones del país con más de 1500 msnm, para esto se debe considerar de forma general la geometría de la cubierta. Para cubiertas con pendientes menores del 15%, se debe considerar una carga de granizo mínima de 0.50 kN/m<sup>2</sup>. [10]
- Sobrecarga de viento (W): Depende de la zona eólica, la altura y topografía del terreno, forma, posición y orientación de los elementos respecto al viento, el sentido del viento es horizontal con cualquier orientación, [11]

$$V_b = V\sigma \tag{1}$$

Donde:

V<sub>b</sub>= Velocidad corregida del viento, m/s.  
 V= Velocidad instantánea máxima del viento en m/s, registrada a 10 m de altura sobre el terreno;  
 σ= Coeficiente de corrección.; se encuentra en la Tabla 5 de la Norma NEC-SE-CG 2015 [10]

Cálculo Presión del viento:

$$P = \frac{1}{2} \rho * V_b^2 * C_e * C_f \tag{2}$$

Donde:

ρ = Densidad del aire expresada en Kg/m<sup>3</sup>  
 C<sub>e</sub>= Coeficiente de entorno/altura  
 C<sub>f</sub>= Coeficiente de forma; se encuentra en la Tabla 6 de la Norma NEC-SE-CG 2015 [10]

- Carga de sismo (E): los movimientos sísmicos liberan súbitamente energía acumulada por movimientos relativos entre placas tectónicas, la carga sísmica depende de la importancia de la construcción, peligro sísmico de la zona donde se ubicará, período de vibración, expresión (3), y características del suelo,

etc. [11]

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (3)$$

Donde:

C<sub>t</sub>= Coeficiente que depende del tipo de edificio

h<sub>n</sub>= Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, m

T= Periodo de vibración.

Con base en esto se calcula entonces el cortante basal con la expresión (4)

$$V = \frac{I S_a T_a}{R \Phi_P \Phi_E} * W \quad (4)$$

Donde:

I= coeficiente de Importancia.

S<sub>a</sub>= Espectro elástico de diseño de aceleración

Φ<sub>P</sub> y Φ<sub>E</sub>= Coeficientes de irregularidad en planta y elevación.

R= Factor de reducción de resistencia sísmica.

W= Carga sísmica reactiva

T<sub>a</sub>= periodo de vibración en s.

- o Sobrecarga de cubierta (L<sub>r</sub>): Peso que puede gravitar sobre la estructura (por razones de mantenimiento por ejemplo; limpieza), es una carga distribuida uniformemente. [10]

$$L_r = L_o R_1 R_2 \quad (5)$$

Donde:

L<sub>r</sub>= Sobrecarga reducida de Cubierta en proyección horizontal; 0.6 ≤ L<sub>r</sub> ≤ 1.

L<sub>o</sub>= Sobrecarga no reducida en proyección horizontal;

R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>= Factores de reducción; se encuentran en la Tabla 3 y Tabla 4 de la Norma NEC-SE-CG 2015 [10]

A<sub>T</sub>=Área tributaria soportada por el elemento

F= Pendiente de la cubierta (%)

### **Combinaciones de Carga.**

Las combinaciones de carga presentan diversos estados a los que estaría sometida la estructura desde el instante mismo de su construcción.

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) estas son las combinaciones básicas para el diseño:

1. **1.4 D**
2. **1.2 D + 1.6 L + 0.5 max(L<sub>r</sub> o S o R)**
3. **1.2 D + 1.6 max(L<sub>r</sub> o S o R) + max(L o 0.5W)**
4. **1.2 D + 1 W + L + 0.5 max(L<sub>r</sub> o S o R)**
5. **1.2 D + 1 E + L + 0.2 S**
6. **0.9 D + 1.0 W**
7. **0.9 D + 1.0 E**

**Donde:**

D: Carga muerta

L: Carga Viva

L<sub>r</sub>: Sobrecarga de cubierta

S: Carga de Granizo

E: Carga de Sismo

W: Carga de Viento

### **Diseño de elementos.**

El diseño de miembros de sección variable con alma llena no varía cualitativamente de los miembros prismáticos, ya que están sujetos a los mismos estados límites [12], descritos a continuación:

### **Tensión axial**

Se diseña de acuerdo a las disposiciones de la AISC-360-16. [13] Capitulo D2 sin modificaciones. Las secciones variables están sujetas a estados límites de fluencia y ruptura por tracción. [12]

La resistencia disponible se determina en las ubicaciones de área mínima bruta o efectiva, para miembros en tensión y flexión combinada o miembros con tensión que varía a lo largo de la longitud. [12]

Estado límite: Fluencia en sección bruta, expresión (6).

$$P_n = F_y A_g \quad (6)$$

Donde:

A<sub>g</sub>= Área bruta, cm<sup>2</sup>

F<sub>y</sub>= Fluencia mínima, kgf/cm<sup>2</sup>

Para este caso no se aplica el límite por ruptura por

tensión ya que no hay perforaciones en las secciones.

**Flexión.**

Se basa en la especificación AISC-360-16 [13] en la sección F2. El procedimiento es algebraicamente válido para casos con esfuerzos de flexión uniformes a través de una barra. [12]

$$M_n = M_p = F_y Z_x \tag{7}$$

Donde:

$Z_x$ = Módulo de sección plástico en torno al eje x,  $cm^3$

$F_y$ = Fluencia mínima,  $kgf/cm^2$

- Cuando:  $L_b \leq L_p$

Se usa la expresión (7)

- Cuando:  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right)] \leq M_p \tag{8}$$

- Cuando:  $L_b \leq L_p$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \tag{9}$$

Donde:

$C_b$ = Factor de modificación por pandeo lateral-torsional

$M_n$ = Momento nominal

$M_p$ = Momento plástico

$S_x$ = módulo de sección elástica en torno al eje x

$F_{cr}$ = Tensión crítica,  $kgf/cm^2$

**Compresión.**

Los miembros de sección variable utilizados en construcciones metálicas tienen frecuentemente almas delgadas con respecto a la compresión axial de la columna. Por lo que, para los elementos no esbeltos, las disposiciones que se aplican corresponden a las Secciones E3 y E4. [12]

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{10}$$

Donde:

$A_g$ = Área bruta

$F_{cr}$ = Fluencia crítica,  $kgf/cm^2$

La tensión de pandeo por flexión,  $F_{cr}$ , se determina:

Cuando:  $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \circ \quad \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$

$$F_{cr} = (0.658 \frac{F_y}{F_e}) F_y \tag{11}$$

Cuando:  $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \circ \quad \frac{F_y}{F_e} > 2.25$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \tag{12}$$

Para miembros con tensión de pandeo por flexión la tensión crítica se calcula de la siguiente manera:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \tag{13}$$

Para miembros solicitados a flexión y carga axial

- Cuando:  $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1 \tag{14}$$

- Cuando:  $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1 \tag{15}$$

Donde:

$P_r$ = resistencia de compresión axial requerida

$P_c$ = resistencia de compresión axial disponible

$M_r$ = resistencia de flexión requerida

$M_c$ = resistencia de flexión disponible

**Verificación de corte**

La resistencia a corte de la sección se la cuantifica con base en la expresión (16).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_{v1} \tag{16}$$

Donde:

$V_n$ = Resistencia nominal de corte

$F_y$ = Tensión mínima de fluencia especificada para el tipo de acero empleado

$A_w$ = Área del alma, o altura total por el espesor del

alma

$C_{v1}$  = Coeficiente de corte

9	22.15	0.000
---	-------	-------

Finalmente debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{Vu}{\Phi Vn} < 1 \quad (17)$$

Donde  $\Phi = 0.9$  para secciones armadas a partir de placas soldadas

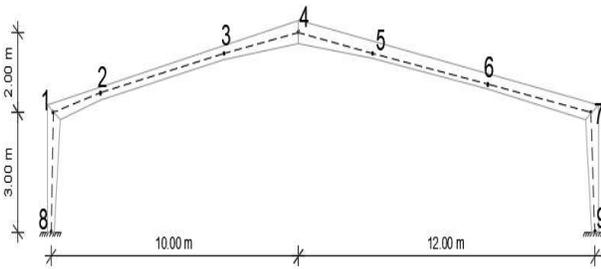
### 3. Metodología

#### 3.1. Prediseño

##### 3.1.1. Prediseño de pórtico para el galpón

Las dimensiones para el pórtico dependerán de la disponibilidad de espacio en el lugar del proyecto y de los requerimientos del contratista.

Figura 3: Ejemplo de Pórtico



Se ha definido un pórtico ubicado en la ciudad de Quito, el cual posee una luz entre columnas de 22m. El uso asimétrico se adoptó para validación del programa. La altura de las columnas es de 3m y la altura al cumbrero es de 5 m, como se muestra en la figura 3, en las Tabla 1 y Tabla 2, se puede identificar las coordenadas, longitudes de cada tramo y elemento del ejemplo del pórtico.

Tabla 1: Coordenadas del Pórtico (unidades: m)

Nodo	X	Y
1	0.075	3.000
2	2.060	3.474
3	7.060	4.474
4	10.075	5.000
5	13.088	4.474
6	19.088	3.474
7	22.075	3.000
8	0.000	0.000

El análisis del pórtico se lo realiza considerando el más desfavorable, uno intermedio, la separación entre estos es de 6m.

Tabla 2: Longitudes y numeración de tramos.

Tramo	Longitud (m)	Elemento
1 – 2	2.0408	1
2 – 3	5.0990	
3 – 4	3.0605	
4 – 5	3.0430	2
5 – 6	6.0828	
6 – 7	3.0417	
8 – 1	3.0009	3
9 – 7	3.0009	4

##### 3.1.2. Prediseño de elementos acartelados.

Boixader [14] entrega fórmulas sencillas en función de la luz (L) para predimensionar un modelo que sirva de partida para el análisis.

Para vigas:

- Pórtico a dos aguas sección variable en encuentro con pilar: Peralte:  $L/35$
- Pórtico a dos aguas sección variable en cumbrera. Peralte:  $L/60$
- Pórtico a dos aguas sección variable en zona uniforme. Peralte:  $L/80$

Para columnas:

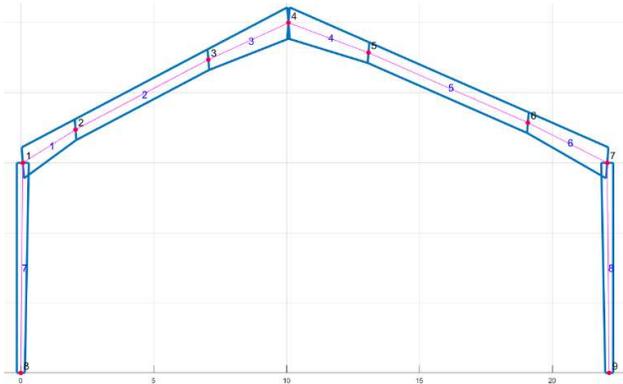
- En cabeza de pilar variable: Peralte: igual a arranque dintel
- En base empotrada de pilar variable: Peralte: peralte cabeza/3

Entonces se define que el peralte de la viga de sección variable en la unión con la columna sea de 0.45m, peralte de la viga de sección constante se tomará 0.30m. En cuanto a las columnas se define un peralte de 0.30m para la base empotrada y 0.45m en la parte superior. En la Figura 4 se puede apreciar el modelo del Pórtico en base al prediseño, y en la Tabla 3 los peraltes de las cartelas. Los espesores

**Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia**

son adoptados considerando que las secciones sean compactas, para el ejemplo se usa: 0.014m para los patines; y 0.008m para el alma.

**Figura 4:** dimensiones de cartelas de los elementos del pórtico.



**Tabla 3:** Peralte de cartelas del pórtico.

Tramo	Lado izquierdo (m)	Lado derecho (m)
1 - 2	0.45	0.30
2 - 3	0.30	0.30
3 - 4	0.30	0.45
4 - 5	0.45	0.30
5 - 6	0.30	0.30
6 - 7	0.30	0.45
8 - 1	0.30	0.45
9 - 7	0.30	0.45

**3.2. Cargas consideradas para el diseño estructural:**

**3.2.1. Carga muerta**

Se ha tomado en cuenta la experiencia en la construcción de galpones con un valor 0.01 tf/m<sup>2</sup>.

**3.2.2. Carga viva**

Se ha tomado en cuenta la carga por cubierta [10] con un valor 0.07 tf/m<sup>2</sup>.

**3.2.3. Carga viento**

Se ha tomado como velocidad máxima del viento el valor correspondiente a 21 m/s (mínimo según la NEC-SE-CG [10]), el coeficiente de corrección igual a 0.86 y el de forma 1.3 ya que el proyecto se ubica en una zona suburbana con una altura menor a los 5m. Densidad del aire de 1.25 kgf/m<sup>3</sup> [10]. En cuanto al coeficiente de entorno la normativa usada

no aclara que valor adoptar por lo que se ha referido al “Ministerio de Vivienda Español” con 1.3. [15] Por lo que la carga utilizada corresponde a 0.0351 tf/m<sup>2</sup>.

**3.2.4. Carga granizo**

Si bien la pendiente es superior al 15% se ha decidido tomar en cuenta esta carga para efectos de análisis por lo que su valor corresponde a pendientes menores del 15% igual a 0.05 tf/m<sup>2</sup>. [10]

**3.2.5. Sobrecarga viva**

Se ha tomado en cuenta una reducción de la carga viva con R1 de 0.6 ya que el área tributaria es de 66 m<sup>2</sup> y R2 de 1 por pendiente de 20%, por lo que el valor es de 0.042 tf/m<sup>2</sup>.

**3.2.6. Sismo estático**

Considerando la ubicación del proyecto, se determina zona sísmica V, suelo tipo D (característico de Quito), por lo que se tiene z=0.4, Fa=1.2, Fd=1.4 y Fs=1.5. Por lo tanto, se ha obtenido un valor de 0.96 s como periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico. El periodo fundamental de la estructura se lo determina considerando la estructura de acero sin arriostramiento con Ct=0.072 y α=0.8, obteniendo 0.26 s. La aceleración espectral se define con η=2.48 (Provincias de la Sierra) con un valor de 1.19g. Finalmente se calcula el porcentaje de cortante basal definiendo R=6 (pórticos de acero, según NEC-SE-DS [16]) I=1 (nivel de importancia para estructuras comunes) Φp=1, Φe =0.9 (coeficientes de regularidad en planta y elevación).

**3.3. Matriz de rigidez de un elemento acartelado**

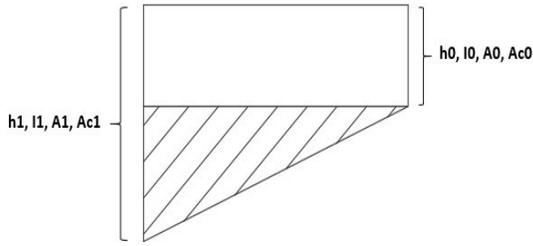
En esta primera parte se obtiene la matriz de rigidez para un elemento acartelado, para el ejemplo se tomará en cuenta el elemento 1 mencionado en la tabla 2. Para ello, en primera instancia, se requiere calcular los coeficientes de flexibilidad, luego en base a estos se calculará los coeficientes de rigidez considerando la rigidez a corte.

**3.3.1. Factores de relación**

En la figura 5., se presenta una sección de tipo variable, en la que sus propiedades varían de un

extremo al otro.

**Figura 5:** Propiedades de un tramo de sección variable



Para tomar en cuenta el cambio de sección a lo largo de una distancia “x” es necesario establecer factores de relación (mayor sobre menor) para el peralte de la sección (18), área bruta (19), área de corte (20) y momento de inercia (21), Existe la posibilidad de que el análisis se lo haga sin considerar deformaciones por corte, para este caso se deberá confirmar en el programa que así se requiere.

$$rh = \frac{h1}{h0} \quad (18)$$

$$ra = \frac{A1}{A0} \quad (19)$$

$$rac = \frac{Ac1}{Ac0} \quad (20)$$

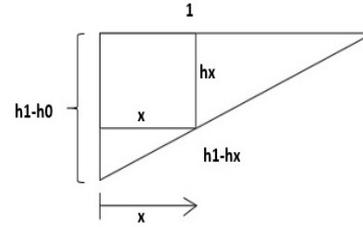
$$ri = \sqrt[3]{\frac{I1}{I0}} \quad (21)$$

**Tabla 4:** Propiedades de un tramo de sección variable.

Tramo	rh	ra	rac	Ri
1 - 2	1.50	1.10	1.50	1.35
2 - 3	1.00	1.00	1.00	1.00
3 - 4	1.50	1.10	1.50	1.35
4 - 5	1.50	1.10	1.50	1.35
5 - 6	1.00	1.00	1.00	1.00
6 - 7	1.50	1.10	1.50	1.35
8 - 1	1.50	1.10	1.50	1.35
9 - 7	1.50	1.10	1.50	1.35

Para obtener una ecuación que permita resolver una sección variable debemos establecer la variación de altura que se produce a lo largo de la distancia “x” tal y como se muestra en la figura 6 (se va a suponer solo el caso de variación lineal para el peralte).

**Figura 6:** Variación lineal para el peralte



Las expresiones (22), (23), (24), (25) sirven para obtener el valor de la propiedad dependiendo del valor de x.

$$hx = h0 * (rh - x * (rh - 1)) \quad (22)$$

$$Ax = A0 * (ra - x * (ra - 1)) \quad (23)$$

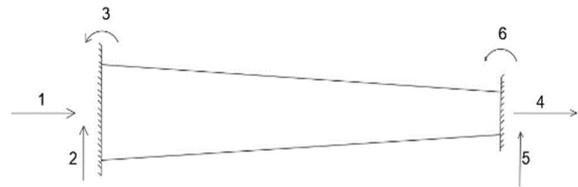
$$Acx = Ac0 * (rac - x * (rac - 1)) \quad (24)$$

$$Ix = I0 * (ri - x * (ri - 1)) \quad (25)$$

### 3.3.2. Matriz de flexibilidad por tramos

El peralte de una sección varia de un punto a otro. La resolución de la estructura se basa en el análisis de cada elemento por tramos, lo que significa que el procedimiento se irá repitiendo de tramo en tramo. En la figura 7, se muestra los GDL que se considera para cada tramo, tomando en cuenta que el Método de la flexibilidad resuelve los valores del lado derecho. [7]

**Figura 7:** GDL para un tramo



El análisis por lo tanto involucra la integración de estos coeficientes ( $f_{nm}$ ), tomando en cuenta que las propiedades se expresan en función de las ecuaciones (23), (24) y (25), por lo que la matriz final sería igual a la que se muestra en la expresión (26). [17]

$$F = \begin{bmatrix} \int_0^1 \frac{(L-x)}{EA_x} dx & 0 & 0 \\ 0 & \int_0^1 \frac{(L-x)^3}{EI_x} dx + \int_0^1 \frac{(L-x)}{GA_{Cx}} dx & \int_0^1 \frac{(L-x)^2}{EI_x} dx \\ 0 & \int_0^1 \frac{(L-x)^2}{EI_x} dx & \int_0^1 \frac{(L-x)}{EI_x} dx \end{bmatrix} \quad (26)$$

**Nota:** Si no se considera deformaciones por corte se debe eliminar la segunda integral en el coeficiente  $f_{22}$ .

La matriz de flexibilidad para el ejemplo se muestra en el Anexo 1.

### 3.3.3. Matriz de rigidez por tramos

Se colocan desplazamientos unitarios en la dirección de los grados de libertad para encontrar los coeficientes de rigidez producidos por ese desplazamiento y con base en el concepto de matriz de flexibilidad se puede plantear la expresión (27).

$$\{\Delta e\} = [F] * \{F e\} \quad (27)$$

Donde:

$\Delta e$ : Vector de desplazamientos unitarios.

F: Matriz de flexibilidad del tramo.

$F e$ : Vector de fuerzas del extremo derecho del elemento.

Despejando el vector  $F e$  (expresión 28) se obtienen las fuerzas debido a desplazamientos unitarios, es decir coeficientes de rigidez.

$$\{K\} = [F]^{-1} * \{\Delta\} \quad (28)$$

Si se desea es obtener los coeficientes de rigidez en las direcciones 1,2 y 3 resulta más sencillo plantear equilibrio en la barra.

La matriz de rigidez para el ejemplo por cada tramo se muestra en el Anexo 2.

### 3.3.4. Matriz de rotación por tramos

La inclinación de los ejes es una consideración importante, por lo que es necesario otorgarles a los tramos las respectivas rotaciones respecto al eje horizontal, para de esta manera llegar a propiedades

referidas al sistema de coordenadas globales. A continuación, en la expresión (29), se presenta la matriz de rotación para un tramo de elemento.

$$Tt = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Una vez que la matriz de rigidez de cada tramo se encuentre ensamblada se debe realizar su rotación con la expresión (30).

$$[Ktr] = [Tt] * [Ktrs] * [Tt]^T \quad (30)$$

Donde:

Ktr: Matriz de rigidez del tramo en sistema global de coordenadas.

Ktrs: Matriz de rigidez del tramo en sistema local de coordenadas

### 3.3.5. Numeración de GDL para un elemento

Un elemento se constituye por la unión de varios tramos, para obtener la matriz de rigidez de un elemento acartelado, se numeran todos los desplazamientos posibles en los nudos que lo conforman considerando que cada elemento puede desplazarse como se muestra en la figura 8.

Figura 8: GDL para un elemento con tres tramos



Esta numeración a diferencia de la indicada en el ítem 3.3.4., dependerá del número de tramos, pero siempre mantendrá los valores de 1, 2 y 3 para el extremo izquierdo y de 4, 5 y 6 para el derecho.

### 3.3.6. Condensación estática

Obtenida la matriz de rigidez extendida del elemento se debe condensar con el fin de obtener una matriz de rigidez que considera solo los grados de libertad de los extremos derecho e izquierdo. Esta se presenta como una matriz cuadrada  $[n \times n]$  como se muestra en la expresión (31), donde n es igual al número total de desplazamientos del elemento

acartelado

$$Kt = \begin{bmatrix} [K_{aa}] & [K_{ab}] \\ [K_{ba}] & [K_{bb}] \end{bmatrix} \quad (31)$$

Obtenida la matriz [Kt] se extraen los grados de libertad de los que se busca obtener la matriz de rigidez por lo que usaremos la siguiente expresión. (32)

$$[K_e] = [K_{aa}] - [K_{ab}] * [K_{bb}]^{-1} * [K_{ba}] \quad (32)$$

Donde:

Ke: Matriz de rigidez condensada del elemento

Kaa: Bloque de la matriz de [Kt] relacionada con la dirección de los GDL que se quiere mantener.

Kab, Kba: Bloques de la matriz [Kt] cuyas dimensiones se definen con base en los GDL a mantener y los GDL a condensar

Kbb: Bloque de la matriz [Kt] relacionada con la dirección de los GDL que se quieren condensar

La matriz de rigidez por el ejemplo se muestra en el Anexo 3.

### 3.4. Análisis estructural de un pórtico con secciones acarteladas.

La segunda parte del proyecto, involucra la aplicación de las matrices de rigidez de los elementos para la resolución del pórtico descrito en el ítem 3.1.2. Con este objetivo se procede a numerar los GDL y desplazamientos restringidos de la estructura tal como se observa en la figura 3. Tomar en cuenta que en esta figura también se observa los nodos de la estructura, que servirán para dar la orientación a cada uno de los tramos y la definición de los elementos.

Las matrices de flexibilidad se encuentran en el Anexo 4

Las matrices de rigidez por tramos se encuentran en el Anexo 5

Las matrices de rigidez por elemento se encuentran en el Anexo 6

#### 3.4.1. Matriz de rigidez de la estructura

Con la matriz de rigidez para cada elemento debemos repetir el proceso desde el ítem 3.3., con la diferencia que cada tramo va a tener su matriz de

rigidez, por lo que sus coeficientes deberán ser colocados según la dirección de cada desplazamiento de la estructura mediante la matriz de colocación [L] y de esta manera conseguir la matriz de rigidez extendida de la misma.

$$[K_s] = [L]_a * [K_e]_a * [L]^T_a \quad (33)$$

$$[K] = \sum [K_s] \quad (33)$$

Ks: Matriz de rigidez del elemento como parte de la estructura

K: Matriz de rigidez extendida de la estructura

La matriz de rigidez extendida de la estructura se muestra en el Anexo 7.

#### 3.4.2. Matriz de rigidez de la estructura "K<sub>QQ</sub>"

Para la resolución de la estructura es necesario extraer la matriz [K<sub>QQ</sub>] que se encuentre inmersa en [K] como se muestra en la expresión (34).

$$K = \begin{bmatrix} [K_{QQ}] & [K_{QR}] \\ [K_{RQ}] & [K_{RR}] \end{bmatrix} \quad (34)$$

Donde:

K: Matriz de rigidez extendida de la estructura

K<sub>QQ</sub>: Bloque de la matriz de rigidez de la estructura cuya dimensión depende del número GDL de la estructura.

K<sub>QR</sub>, K<sub>RQ</sub>: Bloques de la matriz de rigidez extendida de la estructura cuyas dimensiones se definen en función de los GDL de la estructura y los desplazamientos restringidos de la estructura.

K<sub>RR</sub>: Bloque de la matriz de rigidez extendida de la estructura cuya dimensión depende del número de desplazamientos restringidos de la estructura.

La matriz de rigidez de la estructura se muestra en el Anexo 8.

#### 3.4.3. Vector de cargas

El vector de cargas Qap de dimensión nx1 se encuentra con base en la expresión (35)

$$\{Q_{ap}\} = [\{Q\} - \{FEP_{GDLd}\}] \quad (35)$$

Donde:

Q: Vector de fuerzas aplicadas en los nodos y en la dirección de los GDL desconocidos.

FEP<sub>GDLd</sub>: Vector de fuerzas de empotramiento perfecto en la dirección de los GDL de la estructura.

En vista que en este proyecto solo existen cargas de vano, El vector “Q es nulo.

### 3.4.4. Fuerzas de empotramiento perfecto

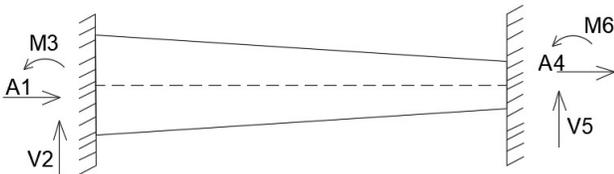
Todo elemento estructural se encuentra sometido a la aplicación de cargas. En el presente estudio, el análisis se enfoca en encontrar fuerzas de empotramiento perfecto por cada tramo acartelado. Las cargas que la estructura puede recibir en las vigas y columnas pueden ser de tipo puntual, por la presencia de correas y rigidizadores o de tipo uniformemente distribuida como el peso propio. Debido a que las vigas del galpón pueden variar en su número de correas, se va a aplicar la superposición de cada caso de fuerzas. Es decir, que, si un tramo posee dos cargas puntuales o una puntual y una distribuida, el tramo será sometido al análisis de fuerzas de empotramiento tantas veces como casos de cargas tenga y luego sumará sus resultados entre sí.

#### 3.4.4.1. Fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas locales

Todo tramo que contenga en su longitud al menos una carga de tipo puntual o distribuida requiere de la obtención de sus fuerzas de empotramiento perfecto.

Si se tiene un tramo perfectamente empotrado como se muestra en la figura 9, basta con liberar el extremo derecho para convertirlo en isostático y aplicar el método de la flexibilidad.

Figura 9: Fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas locales.



Para conseguir el desplazamiento 4 en la isostática debido a cargas reales  $\phi_{BL}$  será necesario otorgar una carga unitaria en esa dirección, considerando además que el área de la sección se encuentra variando a lo largo de la longitud se tiene:

$$\phi_B = \int_0^c \frac{N_L * N_{44}}{A_x * E} \quad (36)$$

Donde:

$N_L$ : Fuerza axial a lo largo de la barra debido a cargas reales.

$N_{44}$ : Fuerza axial a lo largo de la barra debido a una carga unitaria en la dirección 4.

$E$ : Módulo de elasticidad del tramo

De la misma manera se procede para la obtención del desplazamiento 5 en la isostática debido a cargas reales (considerando deformaciones por corte) obteniendo la expresión (37).

$$\delta_B = \int_0^c \frac{M_L * M_{65}}{I_x * E} + \int_0^c \frac{V_L * V_{55}}{A_c * G} \quad (37)$$

Donde:

$M_L$ : Momento a lo largo de la barra debido a cargas reales.

$M_{65}$ : Momento a lo largo de la barra debido a una carga unitaria en la dirección 5.

$V_L$ : Cortante a lo largo de la barra debido a cargas reales.

$V_{55}$ : Cortante a lo largo de la barra debido a una carga unitaria en la dirección 5.

En caso de no considerar deformaciones por corte se debe eliminar la segunda expresión de la ecuación (37).

Finalmente, para obtener el giro por flexión en la dirección 6 en la isostática frente a cargas reales se tiene la expresión (38).

$$\theta_B = \int_0^c \frac{M_L * M_{66}}{I_x * E} \quad (38)$$

Donde:

$M_{66}$ : Momento a lo largo de la barra debido a un momento unitario en la dirección 6.

Una vez obtenidos los coeficientes para el lado B se puede obtener  $A_4$ ,  $V_5$  y  $M_6$  aplicando la expresión (39):

$$\begin{pmatrix} A_4 \\ V_5 \\ M_6 \end{pmatrix} = [F]^{-1} * \begin{pmatrix} \phi_B \\ \delta_B \\ \theta_B \end{pmatrix} \quad (39)$$

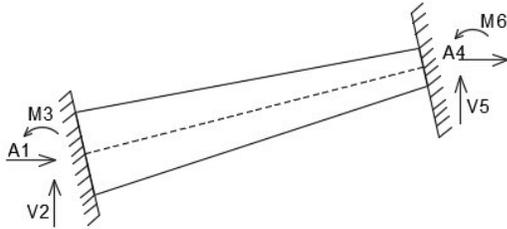
Finalmente se obtiene  $A_1$ ,  $V_2$  y  $M_3$  con ecuaciones

de equilibrio.

### 3.4.4.2. Fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas globales

Para poder generar el vector en coordenadas globales, como se muestra en la figura 10.

Figura 10: Fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas globales.



Incluso un tramo acartelado aparentemente horizontal va a presentar un giro respecto al eje en que fue definido en el sistema de coordenadas locales, por lo que es necesario rotarlas mediante la ecuación (40).

$$\{FEP_G\} = [Tt] * \{FEP_L\} \quad (40)$$

Donde:

FEP<sub>G</sub>: Vector de fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas globales

FEP<sub>L</sub>: Vector de fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas locales.

Una vez rotadas se necesita colocar las fuerzas de la estructura en base a la ecuación (41)

$$\{FEP_S\} = [L] * \{FEP_G\} \quad (41)$$

Donde:

FEP<sub>S</sub>: Vector de fuerzas de empotramiento perfecto de la barra como parte de la estructura.

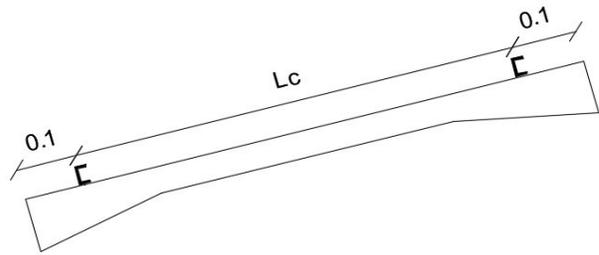
Para cada una de las combinaciones de carga se ensamblan los vectores de carga, tomando en cuenta las fuerzas de empotramiento perfecto ya que existen cargas de vano sobre los elementos. En el anexo 9 se puede ver para cada combinación el vector final de carga para el cual se resuelve la estructura

### 3.4.5. Ubicación de las cargas

Si las cargas son de tipo puntual, su ubicación dependerá del lugar de colocación de las correas, por

lo que se necesita definir el número de las mismas. Se considera que los extremos del elemento otorgan un espaciamiento de 0.1m para colocar las primeras como se muestra en la figura 11. La longitud “Lc” por lo tanto deberá dividirse para una separación asumida entre 1.5 a 2m, el resultado debe aproximar o ser un número entero y adicionarse 1. Para el ejemplo se dispone 2m de separación para cada lado con 6 correas para el lado izquierdo y 7 para el derecho.

Figura 11: Distribución de correas en viga



### 3.4.6. Desplazamientos en GDL y reacciones

Finalmente se obtienen los desplazamientos en los GDL de la estructura y las reacciones en la dirección de los nudos restringidos (expresiones 42a y 42b). Con base en la resolución de todos los desplazamientos de los nodos de la estructura es posible calcular las fuerzas de extremo de todos los tramos planteados en la estructura completa.

$$\{\Delta s\} = [K_{QQ}]^{-1} * \{Qap\} \quad (42a)$$

$$\{R\} = [K_{RQ}] * \{\Delta s\} + \{FEP_{GDLc}\} \quad (42b)$$

Donde:

FEP<sub>GDLd</sub>: Vector de reacciones.

FEP<sub>GDLd</sub>: Vector de fuerzas de empotramiento

Estos desplazamientos son tantos como GDL de estructura existan, por lo que es conveniente llevarlos a los tramos mediante la matriz de colocación transpuesta (expresión 43).

$$\{\Delta e\} = [L]^T * \{\Delta s\} \quad (43)$$

Donde:

Δe: Vector de desplazamientos de extremo por tramos.

### 3.4.7. Fuerzas internas

Para la obtención de axiales, cortantes y momentos

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

para cada tramo se debe pasar de desplazamientos de extremo en coordenadas globales a coordenadas locales (expresión 44) y de estos obtener las fuerzas de extremo en coordenadas locales (expresión 45).

$$\{\Delta e_L\} = [Tt]^T * \{\Delta e\} \quad (44)$$

Donde:

$\Delta e_L$ : Vector de desplazamientos en coordenadas locales.

Sin embargo, las sollicitaciones internas conviene verlas en ejes locales por lo que se debe realizar:

$$\{F_{e_L}\} = [Ktrs] * \{\Delta e_L\} + \{FEP_L\} \quad (45)$$

Donde:

$F_{e_L}$ : Vector de fuerzas internas en coordenadas locales.

#### 4. Resultados

Los desplazamientos y giros obtenidos se muestran en las Tablas 5a, 5b y 5c para cada combinación y en la figura 12 se muestra la ubicación de los grados de libertad.

**Tabla 5a:** desplazamientos en los GDL del pórtico.

DESP	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
$\Delta x_1$ (m)	-0.0069	-0.0083	-0.0117	-0.0102	-0.0070	-0.0067	-0.0044
$\Delta x_2$ (m)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	4.1643E-05
$\theta_3$ (rad)	0.0009	0.0011	0.0016	0.0014	0.0009	0.0009	0.0006
$\Delta x_4$ (m)	-0.0064	-0.0078	-0.0109	-0.0095	-0.0066	-0.0062	-0.0041
$\Delta x_5$ (m)	-0.0023	-0.0028	-0.0040	-0.0035	-0.0024	-0.0023	-0.0015
$\theta_6$ (rad)	-0.0030	-0.0037	-0.0052	-0.0045	-0.0031	-0.0030	-0.0020
$\Delta x_7$ (m)	-0.0018	-0.0022	-0.0031	-0.0027	-0.0018	-0.0017	-0.0011
$\Delta x_8$ (m)	-0.0268	-0.0323	-0.0457	-0.0399	-0.0276	-0.0261	-0.0173
$\theta_9$ (rad)	-0.0039	-0.0047	-0.0067	-0.0058	-0.0040	-0.0038	-0.0025
$\Delta x_{10}$ (m)	-0.0005	-0.0006	-0.0009	-0.0007	-0.0005	-0.0005	-0.0002915
$\Delta x_{11}$ (m)	-0.0351	-0.0423	-0.0598	-0.0521	-0.0360	-0.0342	-0.0226
$\theta_{12}$ (rad)	-0.0019	-0.0023	-0.0032	-0.0028	-0.0019	-0.0018	-0.0012
$\Delta x_{13}$ (m)	-0.0010	-0.0012	-0.0017	-0.0015	-0.0010	-0.0010	-0.0006
$\Delta x_{14}$ (m)	-0.0378	-0.0455	-0.0642	-0.0561	-0.0387	-0.0368	-0.0242
$\theta_{15}$ (rad)	0.0009	0.0011	0.0015	0.0013	0.0009	0.0008	0.0006
$\Delta x_{16}$ (m)	0.0034	0.0041	0.0057	0.0050	0.0035	0.0033	0.0022
$\Delta x_{17}$ (m)	-0.0095	-0.0114	-0.0162	-0.0141	-0.0097	-0.0093	-0.0061
$\theta_{18}$ (rad)	0.0054	0.0065	0.0092	0.0081	0.0056	0.0053	0.0035
$\Delta x_{19}$ (m)	0.0050	0.0061	0.0086	0.0075	0.0052	0.0049	0.0033
$\Delta x_{20}$ (m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.1962E-05
$\theta_{21}$ (rad)	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001

**Tabla 5b** desplazamientos en los GDL del pórtico.

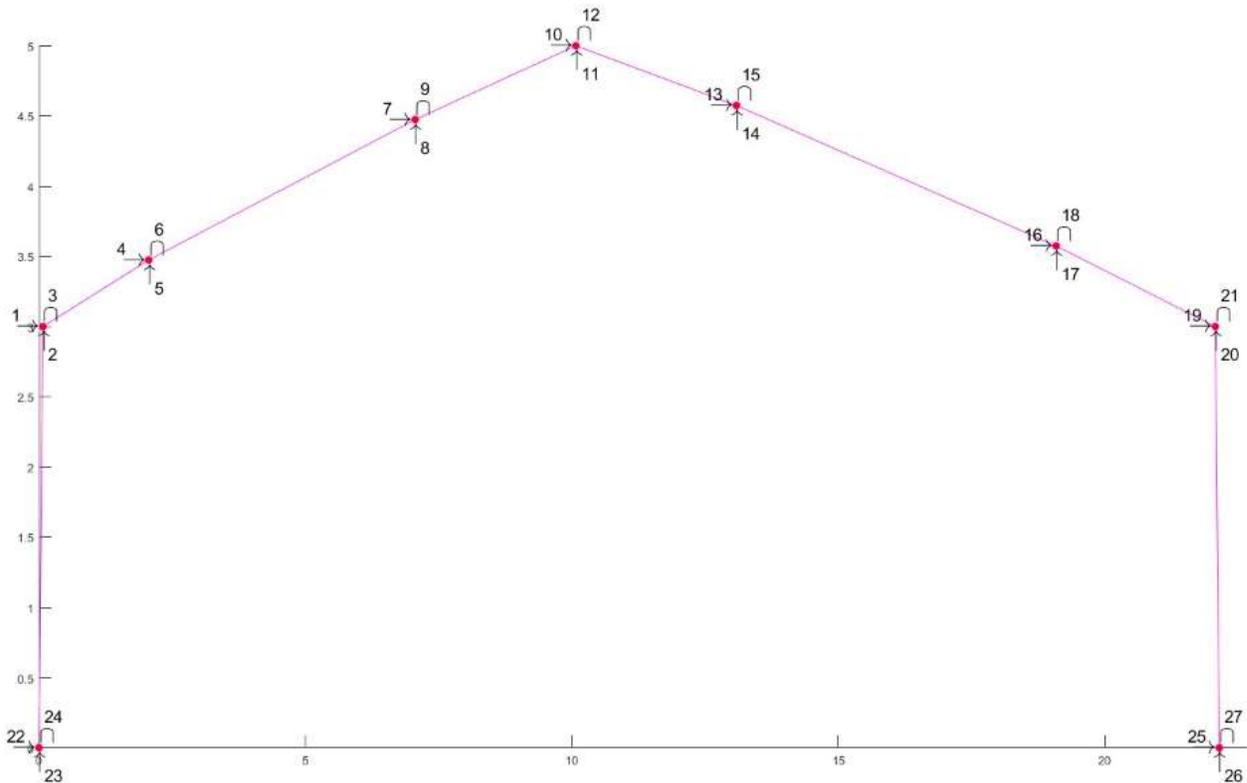
DESP	D	L	W	S	Lr	E
$\Delta x_1$ (m)	-0.0049	-0.0006	-0.0022	-0.0029	-0.0023	0.0000
$\Delta x_2$ (m)	4.75E-05	5.85E-06	2.14E-05	2.92E-05	2.34E-05	-1.11E-06
$\theta_3$ (rad)	0.0007	7.89E-05	0.0003	0.0004	0.0003	0.0000
$\Delta x_4$ (m)	-0.0046	-0.0005	-0.0021	-0.0027	-0.0022	0.0001
$\Delta x_5$ (m)	-0.0017	-0.0002	-0.0008	-0.0010	-0.0008	0.0000
$\theta_6$ (rad)	-0.0022	-0.0003	-0.0010	-0.0013	-0.0010	-5.30E-06
$\Delta x_7$ (m)	-0.0013	-0.0002	-0.0006	-0.0008	-0.0006	0.0000
$\Delta x_8$ (m)	-0.0192	-0.0023	-0.0089	-0.0114	-0.0091	8.34E-06
$\theta_9$ (rad)	-0.0028	-0.0003	-0.0013	-0.0017	-0.0013	0.0000
$\Delta x_{10}$ (m)	-0.0004	-4.37E-05	-0.0001	-0.0002	-0.0002	0.0000

**Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia**

**Tabla 5c** desplazamientos en los GDL del pórtico.

DESP	D	L	W	S	Lr	E
$\Delta x_{11}$ (m)	-0.0251	-0.0030	-0.0116	-0.0149	-0.0119	0.0000
$\theta_{12}$ (rad)	-0.0014	-1.61E-04	-0.0006	-0.0008	-0.0006	9.18E-06
$\Delta x_{13}$ (m)	-0.0007	-8.73E-05	-0.0003	-0.0004	-0.0003	0.0000
$\Delta x_{14}$ (m)	-0.0270	-0.0032	-0.0125	-0.0160	-0.0128	0.0001
$\theta_{15}$ (rad)	0.0006	7.45E-05	0.0003	0.0004	0.0003	3.17E-06
$\Delta x_{16}$ (m)	0.0024	0.0003	0.0011	0.0014	0.0011	0.0000
$\Delta x_{17}$ (m)	-0.0068	-0.0008	-0.0032	-0.0040	-0.0032	0.0000
$\theta_{18}$ (rad)	0.0039	0.0005	0.0018	0.0023	0.0018	-1.02E-05
$\Delta x_{19}$ (m)	0.0036	0.0004	0.0017	0.0021	0.0017	0.0000
$\Delta x_{20}$ (m)	1.25E-05	1.69E-06	6.20E-06	8.44E-06	6.76E-06	6.99E-07
$\theta_{21}$ (rad)	1.13E-04	1.33E-05	5.77E-05	6.67E-05	5.33E-05	0.0000

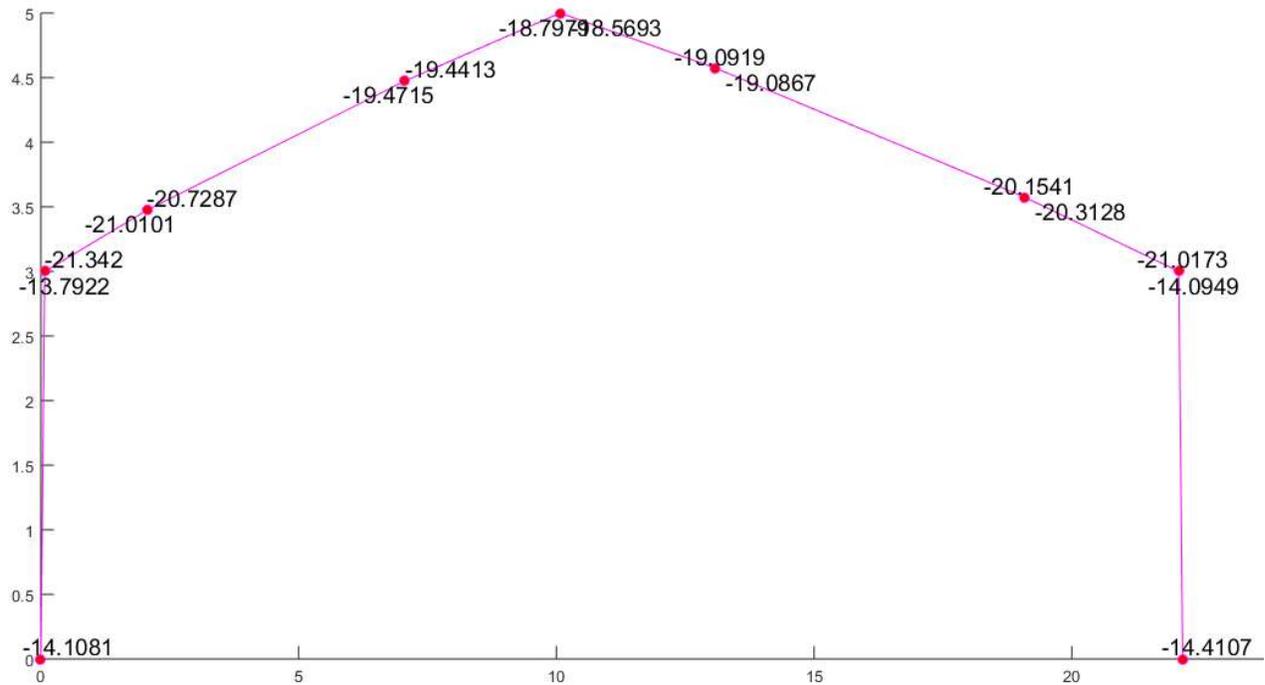
**Figura 12:** Desplazamientos y giros en orden de grados de Libertad



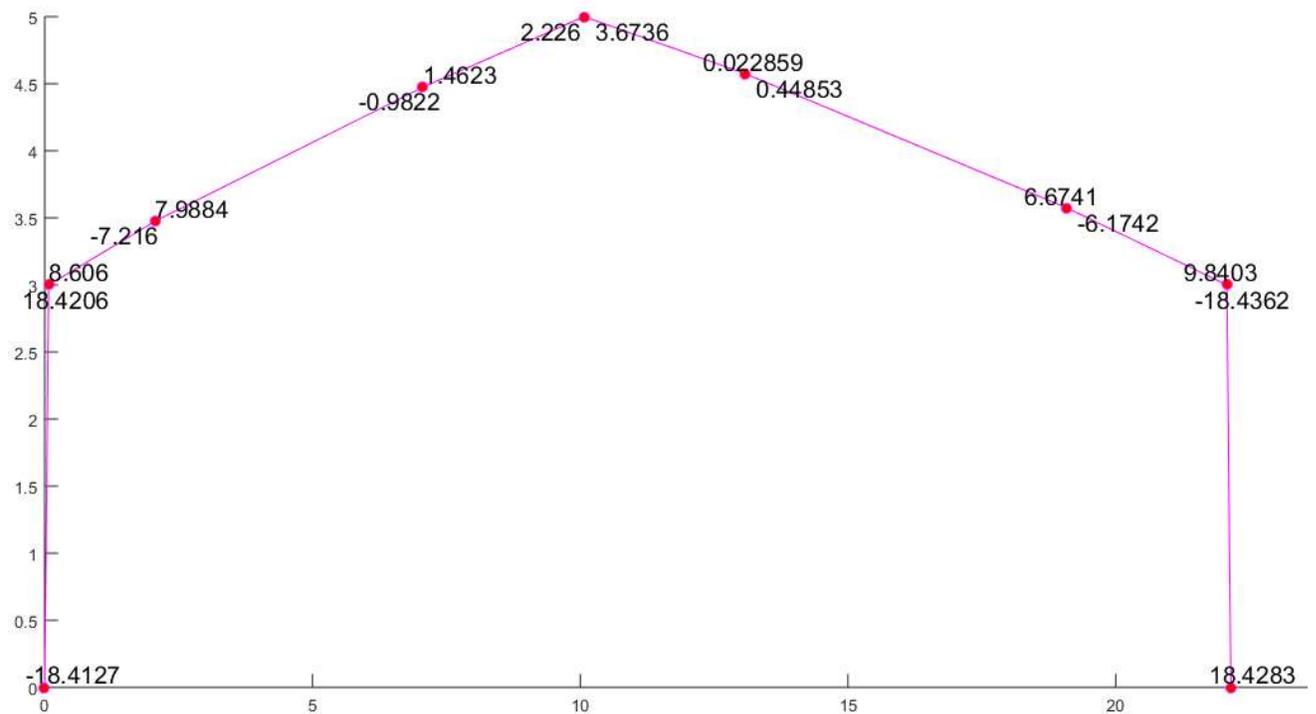
Como ejemplo se muestran los resultados obtenidos para fuerza axial, cortante y momento flector en las Figuras 13, 14 y 15 respectivamente, para la combinación más desfavorable, en este caso la #3. Los resultados de las demás combinaciones se muestran en el anexo 10.

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Figura 13:** Resultados de fuerza Axial (unidades: tf)

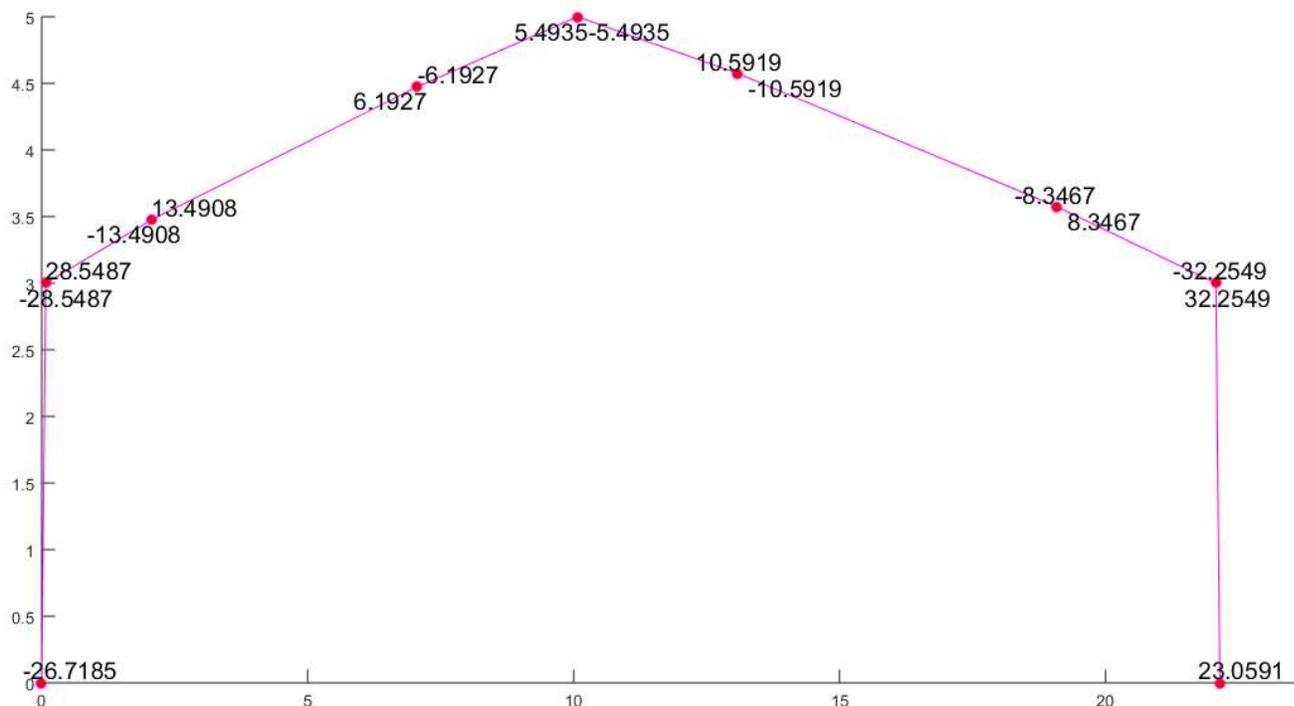


**Figura 14:** Resultados de Cortante (unidades tf)



*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

Figura 15: Resultados de Momento Flector (unidades tf-m)



Las reacciones obtenidas para cada combinación de carga se muestran en la tabla 6.

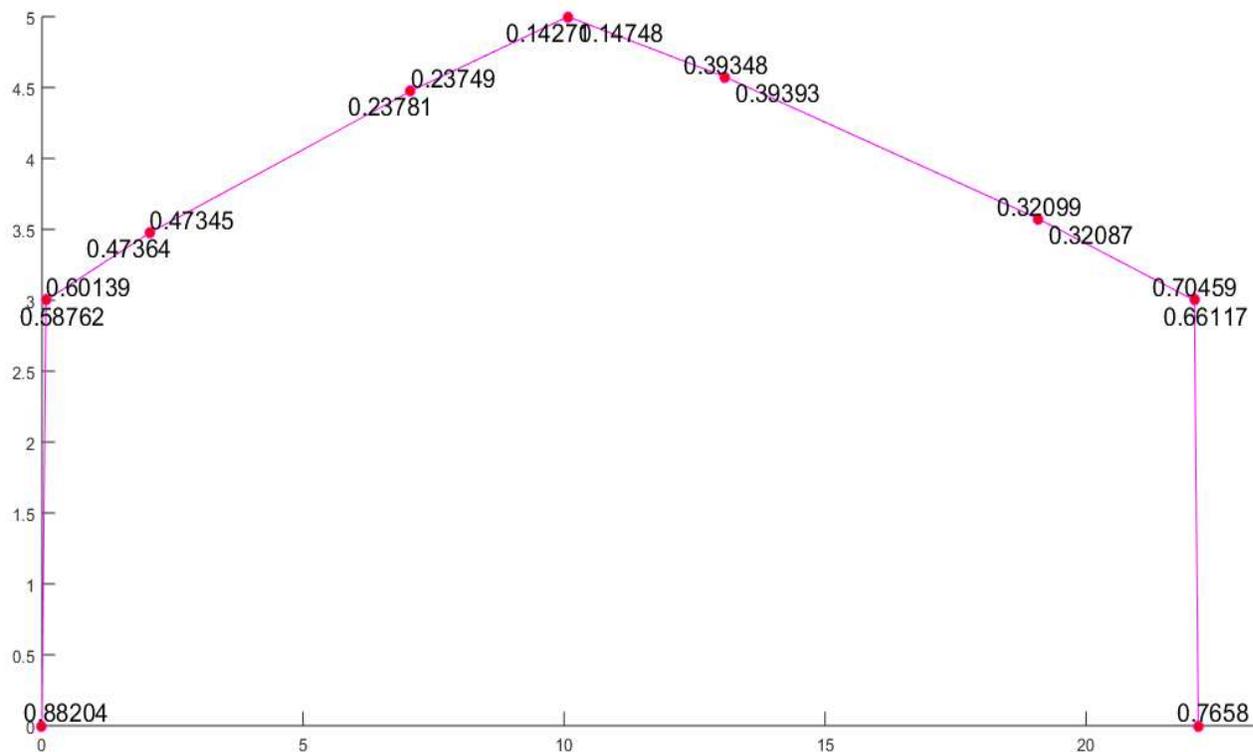
Tabla 6: Reacciones de la estructura

Combinación	NODO 8			NODO 9		
	Reac. en "x" (t)	Reac. en "y" (t)	Momento (t*m)	Reac. en "x" (t)	Reac. en "y" (t)	Momento (t*m)
1	11.0351	8.1931	-15.7209	-11.0351	8.3675	13.5458
2	13.2918	9.7433	-18.9415	-13.2918	9.9531	16.3195
3	18.7596	13.6435	-26.7186	-18.7827	13.9457	23.0592
4	16.3739	11.9699	-23.2964	-16.4201	12.2410	20.1517
5	11.2896	8.3481	-16.0610	-11.3442	8.5304	13.9525
6	10.7371	7.8918	-15.2612	-10.7833	8.0740	13.2293
7	7.0551	5.2653	-10.0257	-7.1097	5.3808	8.7528
D	7.8822	5.8522	-11.2292	-7.8822	5.9768	9.6756
L	0.9349	0.6636	-1.3333	-0.9349	0.6783	1.1485
W	3.6431	2.6248	-5.1549	-3.6893	2.6949	4.5213
S	4.6746	3.3178	-6.6663	-4.6746	3.3913	5.7424
Lr	3.7397	2.6542	-5.3331	-3.7397	2.7130	4.5939
E	-0.0389	-0.0017	0.0806	-0.0157	0.0017	0.0448

Los resultados del diseño por flexotracción o flexocompresión se muestran en la figura 16 para la combinación más desfavorable (combinación 3). Los resultados para las demás combinaciones se muestran en el anexo 11.

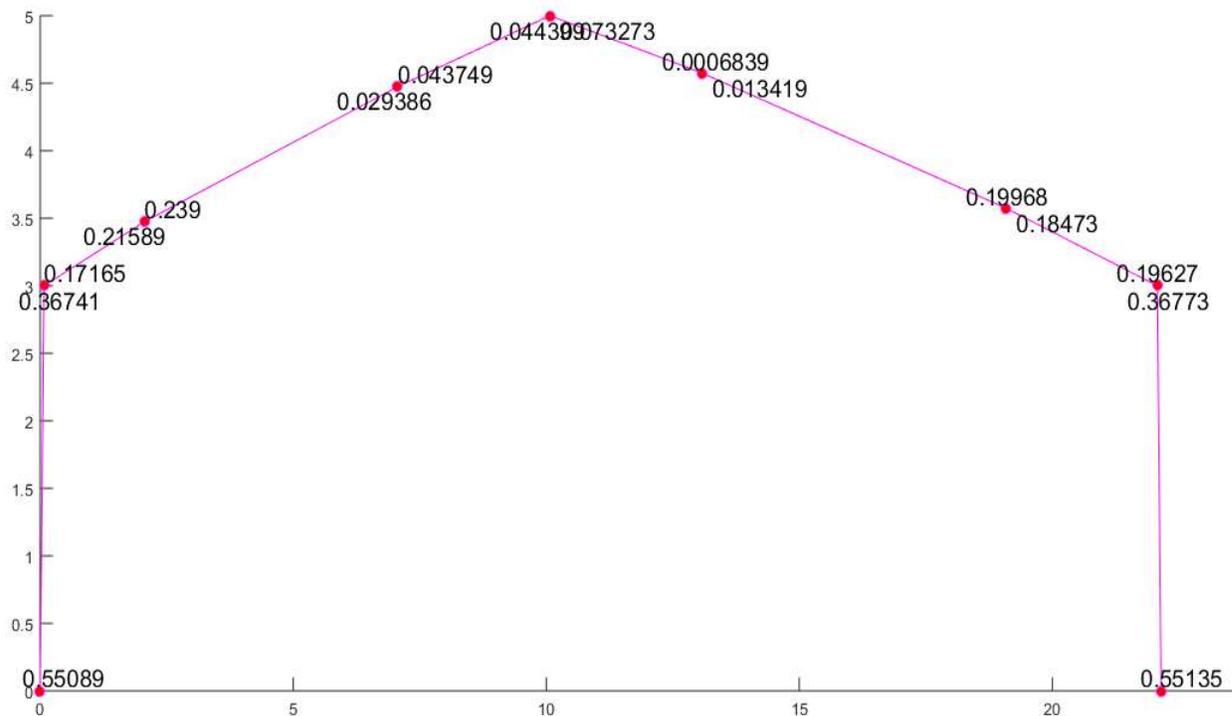
*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Figura 16:** Factores de diseño



Los factores de revisión por corte se presentan en la figura 17. Los demás factores se encuentran en el anexo 12

**Figura 17:** Factores de revisión por Corte



## 5. Conclusiones

En base a los objetivos conseguidos en el desarrollo de las dos partes de esta investigación se ha concluido que:

- De acuerdo al trabajo realizado se verificó que los resultados obtenidos por el programa Matlab son similares al del programa SAP 2000. Teniendo diferencias del 1%. La diferencia que propone la herramienta planteada es transparentar los cálculos basados en el Método de la Flexibilidad y Rigidez en el análisis y diseño de elementos acartelados.
- La comprobación del diseño se la realizó para el extremo izquierdo y derecho de cada tramo, si bien algunos manuales recomiendan analizar puntos intermedios, consideramos que esto podrá ser desarrollado en una siguiente etapa de investigación.
- El estudio no contempla el de las conexiones por lo que sería importante enfocarse en este tema en un proyecto futuro.
- El programa entrega además gráficas que permiten visualizar la geometría de la

estructura, así como los resultados de fuerzas internas, deformaciones y factores de resistencia por lo que en caso de existir alguna duda respecto de la ubicación de estos valores se los pueden verificar en ellas.

- La matriz de flexibilidad pudo ser obtenida gracias al análisis de las propiedades geométricas que varían en la longitud del elemento, con base en estos coeficientes se puede obtener la matriz de rigidez. Los dos tipos de coeficientes fueron verificados a través del software SAP 2000.
- Las secciones de alma llena fueron verificadas para el diseño cuyos espesores resultan ser los mínimos para los peraltes mencionados, por lo que pueden ser utilizadas en la práctica en reemplazo de las celosías, con esto el polvo se acumulará en menor cantidad, reduciendo el riesgo de daños por agentes contaminantes.
- El proceso de optimización en el diseño de las secciones es adoptado en base a los resultados de los factores, por lo que cada tramo debe ajustarse manualmente. La automatización podrá ser desarrollado en una siguiente etapa de investigación.

## 6. Referencias

- [1] A. M. Melo Perez, «Análisis de Elementos con Sección Transversal Variable,» México, 2017.
- [2] C. G. Escalante Saiz, «Diseño por el método LRFD de perfiles TE laminados en caliente sujetos a flexión,» 2002. [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12228/Capitulo2.pdf>. [Último acceso: 10 febrero 2021].
- [3] A. M. M. Perez, *ANÁLISIS DE ELEMENTOS CON SECCIÓN TRANSVERSAL VARIABLE*, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2017.
- [4] N. Osorio, *Análisis de mercado del sector industrias manufactureras bajo un enfoque de concentración económica en el periodo 2000-2008 en el Ecuador*, Quito, 2011.
- [5] D. Reche, *Diseño de estructura básica de nave industrial*, Valencia, 2016.
- [6] T. MathWorks, «MathWorks,» Matlab, 1994. [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: junio 21 2021].
- [7] J. M. Gere y W. J. Weaver, *Análisis de Estructuras Reticulares*, España: Compañía Editorial Continental, SA, 2007.
- [8] C. Navarro Ugena y J. L. Pérez Castellanos, «Capítulo 8. - Análisis matricial de estructuras reticuladas,» Diciembre 2020. [En línea]. Available: [http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/ingenieria-estructural/material-de-clase-1/apuntes/Capitulo\\_8.- Analisis\\_matricial\\_de\\_estructuras\\_reticuladas.pdf](http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/ingenieria-estructural/material-de-clase-1/apuntes/Capitulo_8.- Analisis_matricial_de_estructuras_reticuladas.pdf).
- [9] J. McCormac, «Análisis de estructuras - métodos clásico y matricial- 4a ed,» 2008. [En línea]. Available: [http://ing.unne.edu.ar/pub/e3\\_cap4.pdf](http://ing.unne.edu.ar/pub/e3_cap4.pdf).
- [10] NEC, «Cargas (No Sísmicas),» Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Quito, Ecuador, 2015.
- [11] M. P. RODRÍGUEZ, *DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y DE LA CIMENTACIÓN DE UNA NAVE INDUSTRIAL*, Madrid, 2009.
- [12] AISC, «Steel Design Guide,» de *Frame Design Using Web-Tapered Members*, United States of America, United States of

***Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia***

America, 2011, p. 5.

- [13] AISC, *ESPECIFICACIÓN PARA CONSTRUCCIONES DE ACERO*, USA: United States of America, 2016.
- [14] D. B. Cambronero, «Predimensionado de la estructura metálica de una nave,» Estructurando, 15 febrero 2016. [En línea]. Available: <https://estructurando.net/2016/02/15/predimensionado-de-la-estructura-metalica-de-una-nave/>. [Último acceso: 2021 junio 26].
- [15] C. Hacks, «Cortante Basal y Carga de viento en el Tanque Elevado (PARTE 2/4 Ejemplos prácticos),» Civil Hacks, 19 mayo 2017. [En línea]. Available: <http://civilhacks.blogspot.com/2017/05/cortante-basal-parte-24-ejemplos.html>. [Último acceso: 01 julio 2021].
- [16] NEC, PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE, QUITO, ECUADOR : MIDUVI, 2015.
- [17] A. Tena Colunga, «STIFFNESS FORMULATION FOR NONPRISMATIC BEAM ELEMENTS,» New York, 2015.

## 7. ANEXO

### Anexo 1. Matrices de flexibilidad por tramos

Estas matrices responden a las dimensiones correspondientes a los tramos 1-2, 2-3 y 3-4 según la tabla 3, (Unidades: tf -m).

```
val(:, :, 1) =
1.0e-03 *
0.0063      0      0
0      0.3424  0.2182
0      0.2182  0.2510
```

```
val(:, :, 2) =
0.0000      0      0
0      0.0086  0.0025
0      0.0025  0.0010
```

```
val(:, :, 3) =
0.0000      0      0
0      0.0015  0.0007
0      0.0007  0.0004
```

### Anexo 2. Matrices de rigidez por tramos

Estas matrices responden a las dimensiones correspondientes a los tramos 1-2, 2-3 y 3-4 según la tabla 3, (Unidades: tf -m).

```
val(:, :, 1, 1) =
1.0e+05 *
1.4967  0.3418 -0.0178 -1.4967 -0.3418 -0.0132
0.3418  0.1471  0.0746 -0.3418 -0.1471  0.0554
-0.0178  0.0746  0.1297  0.0178 -0.0746  0.0268
-1.4967 -0.3418  0.0178  1.4967  0.3418  0.0132
-0.3418 -0.1471 -0.0746  0.3418  0.1471 -0.0554
-0.0132  0.0554  0.0268  0.0132 -0.0554  0.0893
```

```
val(:, :, 2, 1) =
1.0e+04 *
5.7833  1.1480 -0.0216 -5.7833 -1.1480 -0.0216
1.1480  0.2728  0.1081 -1.1480 -0.2728  0.1081
-0.0216  0.1081  0.3841  0.0216 -0.1081  0.1780
-5.7833 -1.1480  0.0216  5.7833  1.1480  0.0216
-1.1480 -0.2728 -0.1081  1.1480  0.2728 -0.1081
-0.0216  0.1081  0.1780  0.0216 -0.1081  0.3841
```

```
val(:, :, 3, 1) =
1.0e+05 *
1.0221  0.1738 -0.0058 -1.0221 -0.1738 -0.0078
0.1738  0.0561  0.0332 -0.1738 -0.0561  0.0447
-0.0058  0.0332  0.0705  0.0058 -0.0332  0.0326
-1.0221 -0.1738  0.0058  1.0221  0.1738  0.0078
-0.1738 -0.0561 -0.0332  0.1738  0.0561 -0.0447
-0.0078  0.0447  0.0326  0.0078 -0.0447  0.1063
```

### Anexo 3. Matrices de rigidez por elementos

Esta matriz responde a las dimensiones correspondiente a los tramos 1-2, 2-3 y 3-4 según la tabla 2 y 3, (Unidades: tf -m).

```
val(:, :, 1, 1) =
1.0e+04 *
2.8919  0.5724 -0.2144 -2.8919 -0.5724  0.1547
0.5724  0.1226  0.0028 -0.5724 -0.1226  0.0786
-0.2144  0.0028  0.2978  0.2144 -0.0028  0.1587
-2.8919 -0.5724  0.2144  2.8919  0.5724 -0.1547
-0.5724 -0.1226 -0.0028  0.5724  0.1226 -0.0786
0.1547  0.0786  0.1587 -0.1547 -0.0786  0.3179
```

**Anexo 4. Matrices de flexibilidad por tramos para pórtico (Unidades: tf-m).**

```

val(:, :, 1) =
    1.0e-03 *
    0.0063      0      0
    0      0.3424  0.2182
    0      0.2182  0.2510

val(:, :, 2) =
    0.0000      0      0
    0      0.0086  0.0025
    0      0.0025  0.0010

val(:, :, 3) =
    0.0000      0      0
    0      0.0015  0.0007
    0      0.0007  0.0004

val(:, :, 4) =
    0.0000      0      0
    0      0.0010  0.0005
    0      0.0005  0.0004

val(:, :, 5) =
    0.0000      0      0
    0      0.0145  0.0035
    0      0.0035  0.0012

val(:, :, 6) =
    0.0000      0      0
    0      0.0015  0.0007
    0      0.0007  0.0004

val(:, :, 7) =
    0.0000      0      0
    0      0.0015  0.0006
    0      0.0006  0.0004

val(:, :, 8) =
    0.0000      0      0
    0      0.0015  0.0006
    0      0.0006  0.0004
    
```

**Anexo 5. Matrices de rigidez por tramos para pórtico (Unidades: tf-m).**

```

val(:, :, 1, 1) =
    1.0e+05 *
    1.4967  0.3418 -0.0178 -1.4967 -0.3418 -0.0132
    0.3418  0.1471  0.0746 -0.3418 -0.1471  0.0554
    -0.0178  0.0746  0.1297  0.0178 -0.0746  0.0268
    -1.4967 -0.3418  0.0178  1.4967  0.3418  0.0132
    -0.3418 -0.1471 -0.0746  0.3418  0.1471 -0.0554
    -0.0132  0.0554  0.0268  0.0132 -0.0554  0.0893

val(:, :, 2, 1) =
    1.0e+04 *
    5.7833  1.1480 -0.0216 -5.7833 -1.1480 -0.0216
    1.1480  0.2728  0.1081 -1.1480 -0.2728  0.1081
    -0.0216  0.1081  0.3841  0.0216 -0.1081  0.1780
    -5.7833 -1.1480  0.0216  5.7833  1.1480  0.0216
    -1.1480 -0.2728 -0.1081  1.1480  0.2728 -0.1081
    -0.0216  0.1081  0.1780  0.0216 -0.1081  0.3841

val(:, :, 3, 1) =
    1.0e+05 *
    1.0221  0.1738 -0.0058 -1.0221 -0.1738 -0.0078
    0.1738  0.0561  0.0332 -0.1738 -0.0561  0.0447
    -0.0058  0.0332  0.0705  0.0058 -0.0332  0.0326
    -1.0221 -0.1738  0.0058  1.0221  0.1738  0.0078
    -0.1738 -0.0561 -0.0332  0.1738  0.0561 -0.0447
    -0.0078  0.0447  0.0326  0.0078 -0.0447  0.1063

val(:, :, 1, 2) =
    1.0e+05 *
    1.0383 -0.1431  0.0064 -1.0383  0.1431  0.0048
    -0.1431  0.0464  0.0453  0.1431 -0.0464  0.0336
    0.0064  0.0453  0.1066 -0.0064 -0.0453  0.0326
    -1.0383  0.1431 -0.0064  1.0383 -0.1431 -0.0048
    0.1431 -0.0464 -0.0453 -0.1431  0.0464 -0.0336
    0.0048  0.0336  0.0326 -0.0048 -0.0336  0.0707
    
```

**Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia**

```

val(:, :, 2, 2) =
1.0e+04 *
4.9050 -0.8131 0.0131 -4.9050 0.8131 0.0131
-0.8131 0.1617 0.0785 0.8131 -0.1617 0.0785
0.0131 0.0785 0.3285 -0.0131 -0.0785 0.1558
-4.9050 0.8131 -0.0131 4.9050 -0.8131 -0.0131
0.8131 -0.1617 -0.0785 -0.8131 0.1617 -0.0785
0.0131 0.0785 0.1558 -0.0131 -0.0785 0.3285

val(:, :, 3, 2) =
1.0e+05 *
1.0222 -0.1914 0.0064 -1.0222 0.1914 0.0086
-0.1914 0.0630 0.0334 0.1914 -0.0630 0.0450
0.0064 0.0334 0.0707 -0.0064 -0.0334 0.0326
-1.0222 0.1914 -0.0064 1.0222 -0.1914 -0.0086
0.1914 -0.0630 -0.0334 -0.1914 0.0630 -0.0450
0.0086 0.0450 0.0326 -0.0086 -0.0450 0.1067

val(:, :, 1, 3) =
1.0e+05 *
0.0278 0.0261 -0.0346 -0.0278 -0.0261 -0.0467
0.0261 1.0727 0.0009 -0.0261 -1.0727 0.0012
-0.0346 0.0009 0.0714 0.0346 -0.0009 0.0326
-0.0278 -0.0261 0.0346 0.0278 0.0261 0.0467
-0.0261 -1.0727 -0.0009 0.0261 1.0727 -0.0012
-0.0467 0.0012 0.0326 0.0467 -0.0012 0.1075

val(:, :, 1, 4) =
1.0e+05 *
0.0278 -0.0261 -0.0346 -0.0278 0.0261 -0.0467
-0.0261 1.0727 -0.0009 0.0261 -1.0727 -0.0012
-0.0346 -0.0009 0.0714 0.0346 0.0009 0.0326
-0.0278 0.0261 0.0346 0.0278 -0.0261 0.0467
0.0261 -1.0727 0.0009 -0.0261 1.0727 0.0012
-0.0467 -0.0012 0.0326 0.0467 0.0012 0.1075

```

**Anexo 6. Matrices de rigidez por elementos para pórtico (Unidades: tf -m).**

```

val(:, :, 1, 1) =
1.0e+04 *
2.8919 0.5724 -0.2144 -2.8919 -0.5724 0.1547
0.5724 0.1226 0.0028 -0.5724 -0.1226 0.0786
-0.2144 0.0028 0.2978 0.2144 -0.0028 0.1587
-2.8919 -0.5724 0.2144 2.8919 0.5724 -0.1547
-0.5724 -0.1226 -0.0028 0.5724 0.1226 -0.0786
0.1547 0.0786 0.1587 -0.1547 -0.0786 0.3179

val(:, :, 1, 3) =
1.0e+05 *
0.0278 0.0261 -0.0346 -0.0278 -0.0261 -0.0467
0.0261 1.0727 0.0009 -0.0261 -1.0727 0.0012
-0.0346 0.0009 0.0714 0.0346 -0.0009 0.0326
-0.0278 -0.0261 0.0346 0.0278 0.0261 0.0467
-0.0261 -1.0727 -0.0009 0.0261 1.0727 -0.0012
-0.0467 0.0012 0.0326 0.0467 -0.0012 0.1075

val(:, :, 1, 2) =
1.0e+04 *
2.4541 -0.4081 -0.1503 -2.4541 0.4081 0.1610
-0.4081 0.0734 0.0581 0.4081 -0.0734 0.0062
-0.1503 0.0581 0.2607 0.1503 -0.0581 0.1360
-2.4541 0.4081 0.1503 2.4541 -0.4081 -0.1610
0.4081 -0.0734 -0.0581 -0.4081 0.0734 -0.0062
0.1610 0.0062 0.1360 -0.1610 -0.0062 0.2607

val(:, :, 1, 4) =
1.0e+05 *
0.0278 -0.0261 -0.0346 -0.0278 0.0261 -0.0467
-0.0261 1.0727 -0.0009 0.0261 -1.0727 -0.0012
-0.0346 -0.0009 0.0714 0.0346 0.0009 0.0326
-0.0278 0.0261 0.0346 0.0278 -0.0261 0.0467
0.0261 -1.0727 0.0009 -0.0261 1.0727 0.0012
-0.0467 -0.0012 0.0326 0.0467 0.0012 0.1075

```



**Anexo 9:**

**Tabla 6:** Vectores de carga de vano sobre los elementos (unidades: tf - m)

DIRECCIÓN GDL	D	L	W	S	Lr	E
1 (tf)	0.0038	0.0004	0.0016	0.0020	0.0016	0.0546
2 (tf)	-0.6808	-0.0645	-0.2582	-0.3227	-0.2582	0
3 (tf*m)	-0.0670	-0.0048	-0.0191	-0.0239	-0.0191	0
4 (tf)	-0.0093	-0.0012	0.1634	-0.0060	-0.0048	0
5 (tf)	-1.7791	-0.2119	-0.8306	-1.0595	-0.8476	0
6 (tf*m)	-0.9416	-0.1128	-0.4602	-0.5640	-0.4512	0
7 (tf)	0.0069	0.0011	0.1186	0.0056	0.0045	0
8 (tf)	-1.9776	-0.2342	-0.9260	-1.1712	-0.9370	0
9 (tf*m)	0.7613	0.0915	0.3768	0.4576	0.3661	0
10 (tf)	-0.0002	0.0000	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0
11 (tf)	-0.0002	-0.2018	-0.8072	-1.0090	-0.8072	0
12 (tf*m)	0.0031	0.0004	0.0015	0.0018	0.0015	0
13 (tf)	-0.0010	-0.0003	-0.1191	-0.0013	-0.0011	0
14 (tf)	-2.2286	-0.2644	-1.0478	-1.3219	-1.0575	0
15 (tf*m)	-1.2387	-0.1488	-0.6058	-0.7440	-0.5952	0
16 (tf)	-0.0014	-0.0004	-0.1194	-0.0018	-0.0014	0
17 (tf)	-2.2286	-0.2644	-1.0477	-1.3219	-1.0575	0
18 (tf*m)	1.2417	0.1492	0.6072	0.7458	0.5966	0
19 (tf)	0.0013	0.0004	0.0014	0.0018	0.0014	0
20 (tf)	-0.9792	-0.1005	-0.4022	-0.5027	-0.4022	0
21 (tf*m)	0.3693	0.0417	0.1669	0.2086	0.1669	0

**Anexo 10:**

**Tabla 7:** Fuerzas internas de la estructura (unidades: tf, m)

Combinación	Tramo	Elemento	Axial (t)		Cortante (t)		Momento (t*m)	
			inicial	final	inicial	final	inicial	final
1	1 - 2	1	12.5506	-12.3423	5.0474	-4.1747	16.7838	-7.9524
	2 - 3		12.1793	-11.3714	4.6284	-0.5884	7.9524	3.6541
	3 - 4		11.3533	-10.9756	0.8688	1.2968	-3.6541	3.2493
	4 - 5	2	10.8412	-11.1481	2.1476	0.0223	-3.2493	6.2399
	5 - 6		11.1451	-11.8397	0.2530	3.9144	-6.2399	-4.8980
	6 - 7		11.9328	-12.3463	-3.6208	5.7728	4.8980	-18.9458
	8 - 1	3	8.4662	-8.0977	-10.8269	10.8361	-15.7209	-16.7838
	9 - 7	4	8.6407	-8.2722	10.8226	-10.8318	13.5458	18.9458
2	1 - 2	1	15.1179	-14.8764	6.0823	-5.0710	20.2151	-9.5727
	2 - 3		14.6787	-13.6967	5.6179	-0.7081	9.5727	4.3949
	3 - 4		13.6751	-13.2202	1.0457	1.5617	-4.3949	3.9244
	4 - 5	2	13.0582	-13.4276	2.5873	0.0256	-3.9244	7.5117
	5 - 6		13.4242	-14.2615	0.3059	4.7179	-7.5117	-5.9098
	6 - 7		14.3736	-14.8716	-4.3643	6.9555	5.9098	-22.8214
	8 - 1	3	10.0723	-9.7564	-13.0441	13.0520	-18.9415	-20.2151
	9 - 7	4	10.2820	-9.9662	13.0390	-13.0469	16.3195	22.8214

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Tabla 7b:** Fuerzas internas de la estructura (unidades: tf, m)

Combinación	Tramo	Elemento	Axial (tf)		Cortante (tf)		Momento (tf*m)	
			inicial	final	inicial	final	inicial	final
3	1 - 2	1	21.3420	-21.0101	8.6059	-7.2160	28.5485	-13.4907
	2 - 3		20.7287	-19.4714	7.9885	-0.9822	13.4907	6.1927
	3 - 4		19.4413	-18.7980	1.4623	2.2260	-6.1927	5.4936
	4 - 5	2	18.5693	-19.0920	3.6737	0.0228	-5.4936	10.5919
	5 - 6		19.0867	-20.1541	0.4486	6.6740	-10.5919	-8.3467
	6 - 7		20.3128	-21.0173	-6.1743	9.8404	8.3467	-32.2549
	8 - 1	3	14.1081	-13.7922	-18.4127	18.4206	-26.7186	-28.5485
	9 - 7	4	14.4106	-14.0948	18.4283	-18.4362	23.0592	32.2549
4	1 - 2	1	18.6329	-18.3393	7.5322	-6.3028	24.9395	-11.7616
	2 - 3		18.0936	-17.1540	6.9770	-0.8391	11.7616	5.4036
	3 - 4		17.1281	-16.5646	1.2621	1.9682	-5.4036	4.7287
	4 - 5	2	16.3651	-16.8229	3.2309	0.0066	-4.7287	9.2400
	5 - 6		16.8179	-17.6197	0.4088	5.8384	-9.2400	-7.2771
	6 - 7		17.7586	-18.3756	-5.4015	8.6121	7.2771	-28.2028
	8 - 1	3	12.3754	-12.0595	-16.0696	16.0775	-23.2964	-24.9395
	9 - 7	4	12.6475	-12.3316	16.1092	-16.1171	20.1517	28.2028
5	1 - 2	1	12.8995	-12.6902	5.1776	-4.3012	17.1935	-8.1357
	2 - 3		12.5225	-11.6887	4.7676	-0.5989	8.1357	3.7489
	3 - 4		11.6704	-11.2826	0.8871	1.3355	-3.7489	3.3282
	4 - 5	2	11.1452	-11.4601	2.2055	0.0218	-3.3282	6.3925
	5 - 6		11.4572	-12.1705	0.2612	4.0191	-6.3925	-5.0391
	6 - 7		12.2660	-12.6905	-3.7172	5.9260	5.0391	-19.4522
	8 - 1	3	8.6275	-8.3116	-11.0773	11.0853	-16.0610	-17.1935
	9 - 7	4	8.8112	-8.4953	11.1275	-11.1354	13.9526	19.4522
6	1 - 2	1	12.2213	-12.0261	4.9517	-4.1339	16.3670	-7.7045
	2 - 3		11.8649	-11.3455	4.5760	-0.5391	7.7045	3.5426
	3 - 4		11.3287	-10.9580	0.8189	1.3061	-3.5426	3.0598
	4 - 5	2	10.8273	-11.1285	2.1334	-0.0038	-3.0598	6.0562
	5 - 6		11.1249	-11.5714	0.2786	3.8363	-6.0562	-4.7665
	6 - 7		11.6627	-12.0685	-3.5494	5.6614	4.7665	-18.5240
	8 - 1	3	8.1577	-7.9208	-10.5365	10.5424	-15.2612	-16.3670
	9 - 7	4	8.3410	-8.1041	10.5782	-10.5841	13.2293	18.5240
7	1 - 2	1	8.0831	-7.9492	3.2395	-2.6784	10.7536	-5.0871
	2 - 3		7.8447	-7.3253	2.9706	-0.3735	5.0871	2.3499
	3 - 4		7.3138	-7.0709	0.5541	0.8381	-2.3499	2.0761
	4 - 5	2	6.9851	-7.1824	1.3811	0.0138	-2.0761	4.0002
	5 - 6		7.1805	-7.6270	0.1635	2.5155	-4.0002	-3.1546
	6 - 7		7.6868	-7.9526	-2.3264	3.7098	3.1546	-12.1815
	8 - 1	3	5.4399	-5.2030	-6.9213	6.9272	-10.0257	-10.7536
	9 - 7	4	5.5568	-5.3199	6.9730	-6.9789	8.7529	12.1815

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Tabla 7c:** Fuerzas internas de la estructura (unidades: tf, m)

Combinación	Tramo	Elemento	Axial (tf)		Cortante (tf)		Momento (tf*m)	
			inicial	final	inicial	final	inicial	final
D	1 - 2	1	8.9647	-8.8159	3.6053	-2.9819	11.9884	-5.6803
	2 - 3		8.6995	-8.1224	3.3060	-0.4203	5.6803	2.6101
	3 - 4		8.1095	-7.8397	0.6206	0.9263	-2.6101	2.3209
	4 - 5	2	7.7437	-7.9629	1.5340	0.0159	-2.3209	4.4571
	5 - 6		7.9608	-8.4569	0.1807	2.7960	-4.4571	-3.4986
	6 - 7		8.5234	-8.8188	-2.5863	4.1234	3.4986	-13.5327
	8 - 1	3	6.0473	-5.7841	-7.7335	7.7401	-11.2292	-11.9884
	9 - 7	4	6.1719	-5.9087	7.7304	-7.7370	9.6756	13.5327
L	1 - 2	1	1.0635	-1.0481	0.4283	-0.3641	1.4217	-0.6723
	2 - 3		1.0340	-0.9634	0.4026	-0.0497	0.6723	0.3080
	3 - 4		0.9619	-0.9299	0.0734	0.1098	-0.3080	0.2779
	4 - 5	2	0.9185	-0.9444	0.1821	0.0016	-0.2779	0.5276
	5 - 6		0.9442	-1.0032	0.0217	0.3324	-0.5276	-0.4174
	6 - 7		1.0111	-1.0461	-0.3075	0.4896	0.4174	-1.6054
	8 - 1	3	0.6867	-0.6867	-0.9180	0.9180	-1.3333	-1.4217
	9 - 7	4	0.7014	-0.7014	0.9177	-0.9177	1.1485	1.6054
W	1 - 2	1	4.1531	-4.0918	1.7069	-1.4502	5.5774	-2.5922
	2 - 3		4.0353	-4.0353	1.6006	-0.1608	2.5922	1.1935
	3 - 4		4.0301	-3.9023	0.2604	0.4724	-1.1935	0.9710
	4 - 5	2	3.8580	-3.9619	0.7528	-0.0181	-0.9710	2.0448
	5 - 6		3.9602	-3.9602	0.1160	1.3199	-2.0448	-1.6178
	6 - 7		3.9916	-4.1316	-1.2217	1.9503	1.6178	-6.3446
	8 - 1	3	2.7151	-2.7151	-3.5763	3.5763	-5.1549	-5.5774
	9 - 7	4	2.7863	-2.7863	3.6208	-3.6208	4.5213	6.3446
S	1 - 2	1	5.3174	-5.2407	2.1413	-1.8204	7.1086	-3.3614
	2 - 3		5.1698	-4.8168	2.0131	-0.2484	3.3614	1.5399
	3 - 4		4.8093	-4.6495	0.3671	0.5489	-1.5399	1.3894
	4 - 5	2	4.5924	-4.7222	0.9103	0.0080	-1.3894	2.6381
	5 - 6		4.7210	-5.0161	0.1086	1.6618	-2.6381	-2.0872
	6 - 7		5.0556	-5.2306	-1.5374	2.4482	2.0872	-8.0271
	8 - 1	3	3.4336	-3.4336	-4.5902	4.5902	-6.6663	-7.1086
	9 - 7	4	3.5070	-3.5070	4.5884	-4.5884	5.7424	8.0271
Lr	1 - 2	1	4.2539	-4.1926	1.7131	-1.4563	5.6869	-2.6892
	2 - 3		4.1358	-3.8535	1.6104	-0.1987	2.6892	1.2319
	3 - 4		3.8474	-3.7196	0.2937	0.4391	-1.2319	1.1115
	4 - 5	2	3.6739	-3.7778	0.7282	0.0064	-1.1115	2.1105
	5 - 6		3.7768	-4.0128	0.0869	1.3295	-2.1105	-1.6697
	6 - 7		4.0445	-4.1845	-1.2299	1.9586	1.6697	-6.4217
	8 - 1	3	2.7469	-2.7469	-3.6722	3.6722	-5.3331	-5.6869
	9 - 7	4	2.8056	-2.8056	3.6707	-3.6707	4.5939	6.4217

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Tabla 7d:** Fuerzas internas de la estructura (unidades: tf, m)

Combinación	Tramo	Elemento	Axial (tf)		Cortante (tf)		Momento (tf*m)	
			inicial	final	inicial	final	inicial	final
E	1 - 2	1	0.0149	-0.0149	-0.0053	0.0053	-0.0360	0.0252
	2 - 3		0.0151	-0.0151	-0.0048	0.0048	-0.0252	0.0008
	3 - 4		0.0152	-0.0152	-0.0044	0.0044	-0.0008	-0.0127
	4 - 5	2	0.0158	-0.0158	0.0005	-0.0005	0.0127	-0.0112
	5 - 6		0.0158	-0.0158	0.0009	-0.0009	0.0112	-0.0059
	6 - 7		0.0157	-0.0157	0.0013	-0.0013	0.0059	-0.0021
	8 - 1	3	-0.0027	0.0027	0.0389	-0.0389	0.0806	0.0360
	9 - 7	4	0.0021	-0.0021	0.0156	-0.0156	0.0449	0.0021

**Anexo 11:**

**Tabla 8a:** Factores de Diseño

Combinación	Tramo	Elemento	Lado izq.	Lado der.	Combinación	Tramo	Elemento	Lado izq.	Lado der.
1	1 - 2	1	0.3536	0.2791	D	1 - 2	1	0.2525	0.1994
	2 - 3		0.2790	0.1401		2 - 3		0.1993	0.1001
	3 - 4		0.1399	0.0841		3 - 4		0.0999	0.0601
	4 - 5	2	0.0870	0.2316		4 - 5	2	0.0621	0.1654
	5 - 6		0.2319	0.1884		5 - 6		0.1656	0.1346
	6 - 7		0.1883	0.4139		6 - 7		0.1345	0.2956
	8 - 1	3	0.5193	0.3454		8 - 1	3	0.3709	0.2467
	9 - 7	4	0.4502	0.3883		9 - 7	4	0.3216	0.2774
2	1 - 2	1	0.4258	0.3360	L	1 - 2	1	0.0300	0.0236
	2 - 3		0.3359	0.1685		2 - 3		0.0236	0.0118
	3 - 4		0.1683	0.1016		3 - 4		0.0118	0.0072
	4 - 5	2	0.1050	0.2788		4 - 5	2	0.0074	0.0196
	5 - 6		0.2791	0.2273		5 - 6		0.0196	0.0160
	6 - 7		0.2272	0.4985		6 - 7		0.0160	0.0351
	8 - 1	3	0.6254	0.4161		8 - 1	3	0.0440	0.0293
	9 - 7	4	0.5421	0.4678		9 - 7	4	0.0381	0.0329
3	1 - 2	1	0.6014	0.4736	W	1 - 2	1	0.1175	0.0911
	2 - 3		0.4734	0.2378		2 - 3		0.0911	0.0464
	3 - 4		0.2375	0.1427		3 - 4		0.0463	0.0263
	4 - 5	2	0.1475	0.3935		4 - 5	2	0.0271	0.0765
	5 - 6		0.3939	0.3210		5 - 6		0.0766	0.0623
	6 - 7		0.3209	0.7046		6 - 7		0.0623	0.1386
	8 - 1	3	0.8820	0.5876		8 - 1	3	0.1702	0.1148
	9 - 7	4	0.7658	0.6612		9 - 7	4	0.1501	0.1301

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Tabla 8b:** Factores de Diseño

Combinación	Tramo	Elemento	Lado izq.	Lado der.	Combinación	Tramo	Elemento	Lado izq.	Lado der.
4	1 - 2	1	0.5253	0.4130	S	1 - 2	1	0.1498	0.1180
	2 - 3		0.4128	0.2078		2 - 3		0.1180	0.0591
	3 - 4		0.2076	0.1235		3 - 4		0.0590	0.0359
	4 - 5	2	0.1276	0.3436		4 - 5	2	0.0371	0.0979
	5 - 6		0.3440	0.2800		5 - 6		0.0980	0.0802
	6 - 7		0.2799	0.6161		6 - 7		0.0802	0.1753
	8 - 1	3	0.7692	0.5134		8 - 1	3	0.2199	0.1463
	9 - 7	4	0.6694	0.5781		9 - 7	4	0.1905	0.1645
5	1 - 2	1	0.3623	0.2857	Lr	1 - 2	1	0.1198	0.0944
	2 - 3		0.2856	0.1438		2 - 3		0.0944	0.0473
	3 - 4		0.1436	0.0863		3 - 4		0.0472	0.0287
	4 - 5	2	0.0892	0.2373		4 - 5	2	0.0297	0.0783
	5 - 6		0.2376	0.1938		5 - 6		0.0784	0.0642
	6 - 7		0.1937	0.4249		6 - 7		0.0642	0.1403
	8 - 1	3	0.5305	0.3539		8 - 1	3	0.1759	0.1171
	9 - 7	4	0.4636	0.3987		9 - 7	4	0.1524	0.1316
6	1 - 2	1	0.3448	0.2706	E	1 - 2	1	0.0007	0.0008
	2 - 3		0.2704	0.1365		2 - 3		0.0008	0.0001
	3 - 4		0.1363	0.0804		3 - 4		0.0001	0.0003
	4 - 5	2	0.0830	0.2254		4 - 5	2	0.0003	0.0004
	5 - 6		0.2257	0.1834		5 - 6		0.0004	0.0002
	6 - 7		0.1834	0.4046		6 - 7		0.0002	0.0001
	8 - 1	3	0.5040	0.3369		8 - 1	3	0.0026	0.0007
	9 - 7	4	0.4395	0.3797		9 - 7	4	0.0014	0.0000
7	1 - 2	1	0.2266	0.1787					
	2 - 3		0.1786	0.0901					
	3 - 4		0.0900	0.0539					
	4 - 5	2	0.0557	0.1485					
	5 - 6		0.1487	0.1213					
	6 - 7		0.1213	0.2661					
	8 - 1	3	0.3313	0.2214					
	9 - 7	4	0.2909	0.2497					

**Anexo 12:**

**Tabla 9a:** Verificación de corte (unidades tf)

Combinación	Tramo	Elemento	Lado izquierdo			Lado derecho		
			Vu (tf)	$\Phi V_n$ (tf)	Condición	Vu (tf)	$\Phi V_n$ (tf)	Condición
1	1 - 2	1	5.0474	50.1358	CUMPLE	-4.1747	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		4.6284	33.4239	CUMPLE	-0.5884	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.8688	33.4239	CUMPLE	1.2968	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	2.1476	50.1358	CUMPLE	0.0223	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.2530	33.4239	CUMPLE	3.9144	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-3.6208	33.4239	CUMPLE	5.7728	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-10.8269	33.4239	CUMPLE	10.8361	33.4239	CUMPLE
	9 - 7	4	10.8226	33.4239	CUMPLE	-10.8318	33.4239	CUMPLE

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Tabla 9b:** Verificación de corte (unidades tf)

Combinación	Tramo	Elemento	Lado izquierdo			Lado derecho		
			Vu (tf)	$\Phi V_n$ (tf)	Condición	Vu (tf)	$\Phi V_n$ (tf)	Condición
2	1 - 2	1	6.0823	50.1358	CUMPLE	-5.0710	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		5.6179	33.4239	CUMPLE	-0.7081	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		1.0457	33.4239	CUMPLE	1.5617	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	2.5873	50.1358	CUMPLE	0.0256	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.3059	33.4239	CUMPLE	4.7179	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-4.3643	33.4239	CUMPLE	6.9555	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-13.0441	33.4239	CUMPLE	13.0520	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	13.0390	33.4239	CUMPLE	-13.0469	33.4239	CUMPLE	
3	1 - 2	1	8.6059	50.1358	CUMPLE	-7.2160	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		7.9885	33.4239	CUMPLE	-0.9822	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		1.4623	33.4239	CUMPLE	2.2260	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	3.6737	50.1358	CUMPLE	0.0228	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.4486	33.4239	CUMPLE	6.6740	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-6.1743	33.4239	CUMPLE	9.8404	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-18.4127	33.4239	CUMPLE	18.4206	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	18.4283	33.4239	CUMPLE	-18.4362	33.4239	CUMPLE	
4	1 - 2	1	7.5322	50.1358	CUMPLE	-6.3028	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		6.9770	33.4239	CUMPLE	-0.8391	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		1.2621	33.4239	CUMPLE	1.9682	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	3.2309	50.1358	CUMPLE	0.0066	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.4088	33.4239	CUMPLE	5.8384	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-5.4015	33.4239	CUMPLE	8.6121	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-16.0696	33.4239	CUMPLE	16.0775	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	16.1092	33.4239	CUMPLE	-16.1171	33.4239	CUMPLE	
5	1 - 2	1	5.1776	50.1358	CUMPLE	-4.3012	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		4.7676	33.4239	CUMPLE	-0.5989	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.8871	33.4239	CUMPLE	1.3355	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	2.2055	50.1358	CUMPLE	0.0218	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.2612	33.4239	CUMPLE	4.0191	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-3.7172	33.4239	CUMPLE	5.9260	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-11.0773	33.4239	CUMPLE	11.0853	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	11.1275	33.4239	CUMPLE	-11.1354	33.4239	CUMPLE	
6	1 - 2	1	4.9517	50.1358	CUMPLE	-4.1339	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		4.5760	33.4239	CUMPLE	-0.5391	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.8189	33.4239	CUMPLE	1.3061	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	2.1334	50.1358	CUMPLE	-0.0038	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.2786	33.4239	CUMPLE	3.8363	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-3.5494	33.4239	CUMPLE	5.6614	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-10.5365	33.4239	CUMPLE	10.5424	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	10.5782	33.4239	CUMPLE	-10.5841	33.4239	CUMPLE	

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

Tabla 9c: Verificación de corte (unidades tf)

Combinación	Tramo	Elemento	Lado izquierdo			Lado derecho		
			Vu (tf)	$\Phi Vn$ (tf)	Condición	Vu (tf)	$\Phi Vn$ (tf)	Condición
7	1 - 2	1	3.2395	50.1358	CUMPLE	-2.6784	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		2.9706	33.4239	CUMPLE	-0.3735	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.5541	33.4239	CUMPLE	0.8381	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	1.3811	50.1358	CUMPLE	0.0138	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.1635	33.4239	CUMPLE	2.5155	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-2.3264	33.4239	CUMPLE	3.7098	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-6.9213	33.4239	CUMPLE	6.9272	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	6.9730	33.4239	CUMPLE	-6.9789	33.4239	CUMPLE	
D	1 - 2	1	3.6053	50.1358	CUMPLE	-2.9819	33.4239	CUMPLE
	2 - 3		3.3060	33.4239	CUMPLE	-0.4203	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.6206	33.4239	CUMPLE	0.9263	50.1358	CUMPLE
	4 - 5	2	1.5340	50.1358	CUMPLE	0.0159	33.4239	CUMPLE
	5 - 6		0.1807	33.4239	CUMPLE	2.7960	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-2.5863	33.4239	CUMPLE	4.1234	50.1358	CUMPLE
	8 - 1	3	-7.7335	33.4239	CUMPLE	7.7401	50.1358	CUMPLE
9 - 7	4	7.7304	33.4239	CUMPLE	-7.7370	50.1358	CUMPLE	
L	1 - 2	1	0.4283	50.1358	CUMPLE	-0.3641	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		0.4026	33.4239	CUMPLE	-0.0497	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.0734	33.4239	CUMPLE	0.1098	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	0.1821	50.1358	CUMPLE	0.0016	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.0217	33.4239	CUMPLE	0.3324	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-0.3075	33.4239	CUMPLE	0.4896	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-0.9180	33.4239	CUMPLE	0.9180	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	0.9177	33.4239	CUMPLE	-0.9177	33.4239	CUMPLE	
W	1 - 2	1	1.7069	50.1358	CUMPLE	-1.4502	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		1.6006	33.4239	CUMPLE	-0.1608	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.2604	33.4239	CUMPLE	0.4724	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	0.7528	50.1358	CUMPLE	-0.0181	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.1160	33.4239	CUMPLE	1.3199	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-1.2217	33.4239	CUMPLE	1.9503	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-3.5763	33.4239	CUMPLE	3.5763	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	3.6208	33.4239	CUMPLE	-3.6208	33.4239	CUMPLE	
S	1 - 2	1	2.1413	50.1358	CUMPLE	-1.8204	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		2.0131	33.4239	CUMPLE	-0.2484	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.3671	33.4239	CUMPLE	0.5489	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	0.9103	50.1358	CUMPLE	0.0080	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.1086	33.4239	CUMPLE	1.6618	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-1.5374	33.4239	CUMPLE	2.4482	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-4.5902	33.4239	CUMPLE	4.5902	33.4239	CUMPLE
9 - 7	4	4.5884	33.4239	CUMPLE	-4.5884	33.4239	CUMPLE	

*Changoluisa – Vega / 2D frames with variable section as an alternative to construction for industries that require a higher level of asepsia*

**Tabla 9d:** Verificación de corte (unidades tf)

Combinación	Tramo	Elemento	Lado izquierdo			Lado derecho		
			Vu (tf)	$\Phi V_n$ (tf)	Condición	Vu (tf)	$\Phi V_n$ (tf)	Condición
Lr	1 - 2	1	1.7131	50.1358	CUMPLE	-1.4563	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		1.6104	33.4239	CUMPLE	-0.1987	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		0.2937	33.4239	CUMPLE	0.4391	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	0.7282	50.1358	CUMPLE	0.0064	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.0869	33.4239	CUMPLE	1.3295	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		-1.2299	33.4239	CUMPLE	1.9586	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	-3.6722	33.4239	CUMPLE	3.6722	33.4239	CUMPLE
	9 - 7	4	3.6707	33.4239	CUMPLE	-3.6707	33.4239	CUMPLE
E	1 - 2	1	-0.0053	50.1358	CUMPLE	0.0053	50.1358	CUMPLE
	2 - 3		-0.0048	33.4239	CUMPLE	0.0048	33.4239	CUMPLE
	3 - 4		-0.0044	33.4239	CUMPLE	0.0044	33.4239	CUMPLE
	4 - 5	2	0.0005	50.1358	CUMPLE	-0.0005	50.1358	CUMPLE
	5 - 6		0.0009	33.4239	CUMPLE	-0.0009	33.4239	CUMPLE
	6 - 7		0.0013	33.4239	CUMPLE	-0.0013	33.4239	CUMPLE
	8 - 1	3	0.0389	33.4239	CUMPLE	-0.0389	33.4239	CUMPLE
	9 - 7	4	0.0156	33.4239	CUMPLE	-0.0156	33.4239	CUMPLE