

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Programa en MATLAB para realizar el análisis estructural
paramétrico de edificaciones con muros de mampostería no
estructural**

Juan Andrés Gómez Guerra

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 07 de Diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Programa en MATLAB para realizar el análisis estructural
paramétrico de edificaciones con muros de mampostería no
estructural**

Juan Andrés Gómez Guerra

Juan Carlos Pantoja Moyano, Ingeniero Civil

Quito, 07 de Diciembre de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Andrés Gómez Guerra

Código: 00200282

Cédula de identidad: 1720070851

Lugar y fecha: Quito, 07 de Diciembre de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Ecuador se ubica en el cinturón de fuego del pacífico sobre las placas tectónicas Sudamericana y de Nazca, por lo que el país sufre de alta actividad sísmica, por lo que la ciudad de Quito se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). Por esta razón, en este trabajo final, se presenta un programa en MATLAB para realizar el análisis estructural paramétrico de edificaciones con muros de mampostería no estructural para considerar el efecto de rigidez adicional producido por estas. El método matricial de la rigidez se utiliza para obtener la respuesta lineal elástica de una estructura, al considerar un modelo matemático de elementos finitos, cuyas propiedades se expresan de forma matricial (Uribe Escamilla, 2000; Hibbeler, 2012); y generar una rutina en MATLAB que siga este principio. El programa final demuestra resultados exactos que son comparados con el software comercial SAP2000, al realizar un análisis paramétrico de tipologías estructurales existentes en la ciudad de Quito.

Palabras clave: programa en MATLAB, método matricial de la rigidez, análisis estructural paramétrico, muros de mampostería no estructural, tipologías estructurales.

ABSTRACT

Ecuador is in the Pacific ring of fire on the South American and Nazca tectonic plates, thus the country suffers from high seismic activity, therefore the city of Quito is in an area of high seismic risk (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). For this reason, in this final work, a program in MATLAB is presented to perform the parametric structural analysis of buildings with masonry infill panels to consider the stiffness effect added. The matrix method of stiffness is used to obtain the elastic linear response of a structure, when considering a mathematical model of finite elements, for which properties are expressed in a matrix way (Uribe Escamilla, 2000; Hibbeler, 2012); and generate a routine in MATLAB that follows this principle. The final program shows exact results that are compared with the commercial software SAP2000, when performing a parametric analysis of existing structural typologies in the city of Quito.

Keywords: MATLAB program, stiffness matrix method, parametric structural analysis, non-structural masonry infill panels, structural typologies.

TABLA DE CONTENIDO

I.	DEDICATORIA.....	13
II.	OBJETIVOS	14
2.1.	Objetivos Generales.....	14
2.2.	Objetivos Específicos.....	14
III.	INTRODUCCIÓN.....	15
IV.	DESARROLLO DEL TEMA	16
4.1.	Marco Teórico.....	16
4.1.1.	Reseña histórica.....	16
4.1.2.	Análisis matricial lineal elástico	16
4.1.3.	Fundamentos del análisis matricial lineal elástico	17
4.1.4.	Fuerzas de empotramiento perfecto	18
4.1.5.	Muros de mampostería como puntal a compresión.....	18
4.2.	Metodología.....	22
4.2.1.	Sistema de coordenadas.....	23
4.2.2.	Materiales.....	23
4.2.3.	Carga sobrepuesta.....	23
4.2.4.	Carga sísmica.....	25
4.2.5.	Simplificaciones y consideraciones	26
4.2.6.	Revisión del programa.....	27
4.3.	Resultados.....	28
4.3.1.	Tipologías de análisis.....	28
4.3.2.	Resultados tipología 1.....	31
4.3.3.	Comprobación de tipología 1 con SAP2000	35

4.3.4.	Resultados tipología 2.....	39
4.3.5.	Resultados tipología 3.....	41
4.3.6.	Resultados tipología 4.....	44
4.4.	Análisis de Resultados.....	47
V.	CONCLUSIONES.....	50
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
VII.	Anexo A: Programa en matlab.....	52
VIII.	Anexo B: guía par uso del programa.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los materiales utilizados en las tipologías estructurales en el programa.....	33
Tabla 2. Cargas sísmicas aplicada en ambas direcciones en la tipología estructural 1 de la ciudad de Quito.	34
Tabla 3. Cargas sísmicas aplicada en ambas direcciones en la tipología estructural 3 de la ciudad de Quito.	43
Tabla 4. Cargas sísmicas aplicada en ambas direcciones en la tipología estructural 4 de la ciudad de Quito.	46
Tabla 5. Desplazamientos de las tipologías y porcentaje de aumento de desplazamiento entre las deformaciones en ambos ejes.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macro modelos del puntal a compresión propuestos para simular el efecto del muro de mampostería no estructural (Crisafulli & Carr, 2007).....	19
Figura 2. Puntal a compresión resultante de una muro con apertura l_v por h_v en el centro.	20
Figura 3. Sistema de coordenadas globales y locales utilizados en el programa.....	23
Figura 4. Carga sobreimpuesta en una losa y su arreglo en forma de carga distribuida sobre las vigas de la estructura.....	24
Figura 5. Carga distribuida en la viga resultante del peso del muro de mampostería no estructural asentado sobre esta.	25
Figura 6. Carga aplicada en los pórticos de un mismo sentido en una estructura tridimensional simétrica bajo carga sísmica E_x	26
Figura 7. Tipología estructural 1 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).	29
Figura 8. Tipología estructural 2 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).	29
Figura 9. Tipología estructural 3 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).	30
Figura 10. Tipología estructural 4 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).	31
Figura 11. Tipología estructural 1 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.....	32
Figura 12. Geometría de la viga (izquierda) y de la columna (derecha) utilizadas en las tipologías estructurales en el programa.	33
Figura 13. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 1.	34
Figura 14. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 1 en el programa.	35
Figura 15. Vista tridimensional de la tipología 1 en SAP2000, con vigas, columnas y muros.	36

Figura 16. Vista en elevación de los pórticos paralelos al eje X centrales (izquierda) y en el perímetro (derecha) con sus respectivos puntales a compresión en SAP2000.	36
Figura 17. Vista en elevación del pórtico paralelo al eje Y en el perímetro con sus respectivos puntales a compresión en SAP2000.	37
Figura 18. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 1 en SAP2000.	38
Figura 19. Vista en plata de la deformación del último piso ante las cargas impuestas en la tipología 1 en SAP2000.	39
Figura 20. Tipología estructural 2 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.	40
Figura 21. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 2.	40
Figura 22. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 2 en el programa.	41
Figura 23. Tipología estructural 3 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.	42
Figura 24. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 3.	43
Figura 25. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 3 en el programa.	44
Figura 26. Tipología estructural 4 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.	45
Figura 27. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 4.	46
Figura 28. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 4 en el programa.	47
Figura 29. Propiedades del hormigón para utilizar en el programa.	52

Figura 30. Dimensiones de la columna para utilizar el programa.	53
Figura 31. Dimensiones de la viga y carga sobre impuesta para utilizar el programa.	53
Figura 32. Propiedades, dimensiones, apertura y peso específico de la mampostería para utilizar el programa.	54
Figura 33. Dimensiones del pórtico tridimensional para utilizar el programa.	55
Figura 34. Indicador de existencia de paredes para utilizar el programa.....	55
Figura 35. Indicador de pórticos con paredes de mampostería para utilizar el programa.	56
Figura 36. Carga sísmica aplicada en el pórtico por piso para utilizar en el programa.	56

I. DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis papás, abuelos, mi ñaña y mis amigos que siempre confiaron en mí y me apoyaron hasta el final.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivos Generales

- Programar una rutina en MATLAB para para realizar el análisis estructural paramétrico de edificaciones con muros de mampostería no estructural.

2.2.Objetivos Específicos

- Establecer los materiales, geometría de las secciones, cargas y dimensiones de la estructura como variables de entrada del programa.
- Realizar el análisis estructural de pórticos rectangulares en el espacio.
- Analizar las tipologías más comunes de Quito con el programa.
- Comprobar los resultados obtenidos con el programa en SAP2000.

III. INTRODUCCIÓN

Ecuador se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del pacífico, asentándose sobre la Placa Sudamericana y teniendo frontera con la Placa de Nazca; esto convierte al país en una región con alta sismicidad. En la Norma Ecuatoriana de la Construcción se indica que Ecuador tiene 6 zonas sísmicas caracterizadas en función del peligro sísmico de la zona (2015), la ciudad de Quito se ubica en una de alto peligro sísmico, por lo que las edificaciones en la ciudad deben cumplir con los diseños necesarios propuestos por la NEC-15.

En los barrios ubicados en las afueras de la ciudad de Quito, específicamente del centro-norte de la ciudad, se evidencia una segregación residencial de clases sociales (Herrero Olarte, Villa, & Sandoval, 2019). Estos barrios comparten una característica en común, y son las tipologías de estructuras con muros de mampostería confinada.

El presente trabajo expone un programa en MATLAB para obtener los desplazamientos de una estructura bajo cargas sísmicas y gravitacionales, al considerar los efectos de los muros de mampostería no estructural como puntales a compresión, que aumentan la rigidez lateral de la edificación.

La finalidad del programa es realizar un análisis estructural paramétrico a las tipologías estructurales más comunes de la ciudad de Quito. El programa utiliza simplificaciones en el material, geometría y dimensiones de una estructura; para realizar un análisis que se fundamenta en el método matricial de la rigidez dentro del rango lineal elástico de deformaciones. La funcionalidad del programa es determinada mediante el software comercial SAP2000, donde se comprueba las deformaciones obtenidas por ambos programas.

Se tiene como intención desarrollar a futuro un programa que calcule la curva de capacidad de estas mismas tipologías.

IV. DESARROLLO DEL TEMA

4.1. Marco Teórico

4.1.1. Reseña histórica

El análisis matricial para estructuras surge en la década de los 50, como una solución al incremento en el tiempo de análisis de estructuras complejas. El método de análisis matricial de rigidez programa la solución matemática de edificaciones en un ordenador, de forma rápida precisa (Blanco, Cervera, & Suárez, 2015).

4.1.2. Análisis matricial lineal elástico

El método matricial de la rigidez la respuesta lineal elástica de una estructura, al considerar un modelo matemático de elementos finitos, cuyas propiedades se expresan de forma matricial (Uribe Escamilla, 2000; Hibbeler, 2012). Este análisis resulta en desplazamientos y rotaciones en los nodos, al igual que fuerzas y momentos en los apoyos. Se define como rigidez la resistencia de un elemento a deformarse por fuerzas externas (Blanco, Cervera, & Suárez, 2015), de tal forma que el análisis estructural sigue los siguientes pasos:

1. Fuerza o desplazamiento aplicado en la estructura.
2. Fuerzas internas en los elementos.
3. Deformación de los elementos.
4. Deformación de la estructura.

La rigidez de cada elemento relaciona su desplazamiento, de este con la fuerza externa aplicada en la estructura, escribiendo esto en forma de una ecuación matricial se tiene que:

$$[F] = [K][\delta]$$

Donde $[F]$ es el vector de fuerzas aplicadas, $[K]$ es la matriz de rigidez que depende de la geometría y el material de cada elemento o en general de la estructura; y $[\delta]$ es el vector de desplazamientos (Uribe Escamilla, 2000).

4.1.3. Fundamentos del análisis matricial lineal elástico

El método de la rigidez, al tratarse de un análisis lineal elástico, sigue los principios de compatibilidad, equilibrio, linealidad y principio de superposición (Blanco, Cervera, & Suárez, 2015). La matriz de Rigidez se construye aplicando un desplazamiento unitario en uno de los nodos de un elemento, mientras al otro se le asigna un desplazamiento igual a 0; esto resulta en las fuerzas internas que se desarrollan en los extremos del elemento, que se requieren para lograr el equilibrio en el elemento. Repitiendo el procedimiento en sus 12 grados de libertad, se obtiene la rigidez resistente a cada una de las deformaciones en los nodos, estas son 3 desplazamientos y 3 giros en ambos nodos (Uribe Escamilla, 2000; Hibbeler, 2012).

Para que la matriz de rigidez de una estructura o de un elemento este correctamente planteada debe satisfacer las siguientes condiciones:

- La sumatoria de los términos de cada columna en la matriz de rigidez da igual a 0.
- Los valores de la diagonal siempre son positivos.
- La matriz de rigidez es simétrica en su diagonal.

El reconocimiento de los términos en la solución del análisis estructural se fundamenta en la numeración de nodos, elementos y grados de libertad. Para la aplicación de la metodología matricial, se debe definir un sistema de coordenadas globales que permita identificar la posición de los elementos en la estructura en el espacio. Además, para cada elemento se establece un sistema de coordenadas locales, que posibilita la identificación de las respuestas

en el plano del elemento en análisis. La orientación de un elemento arbitrariamente orientado en el espacio depende de la matriz de transformación que es consecuente de la ubicación del elemento en el espacio. Para obtener la matriz de rigidez en el sistema de coordenadas locales de un elemento se utiliza la matriz de transformación para girar su posición.

$$[K] = [T]^T [\bar{K}] [T]$$

4.1.4. Fuerzas de empotramiento perfecto

Las fuerzas de empotramiento perfecto corresponden a las reacciones dadas en los apoyos del elemento por la acción de una carga externa aplicada en cualquier parte del elemento. Para el análisis se considera un elemento doblemente empotrado con las mismas propiedades y longitud, al cual se le aplican las cargas bajo las cuales se encuentra el elemento original (Hibbeler, 2012). El efecto de las fuerzas de empotramiento perfecto en un elemento es superpuesto en sus nodos y sobre la posible carga puntual aplicada (Uribe Escamilla, 2000). Expresado matricialmente, las fuerzas totales sobre un elemento son:

$$[F] = [K][\delta] + [F_0]$$

Donde $[F_0]$ corresponde al vector de las fuerzas de empotramiento en los nodos de la estructura.

4.1.5. Muros de mampostería como puntal a compresión

Los muros de mampostería forman parte del pórtico resistente a momento, en consecuencia su aporte a la estructura es aumentar la rigidez del piso en el que se encuentra. Francisco Crisafulli propone tres macro modelos, que se observan en la Figura 1, para la determinación de un tipo de configuración de puntales a compresión que simulan la resistencia del muro de mampostería

en su plano (2007) y aporta rigidez axial en su eje inclinado a la estructura (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

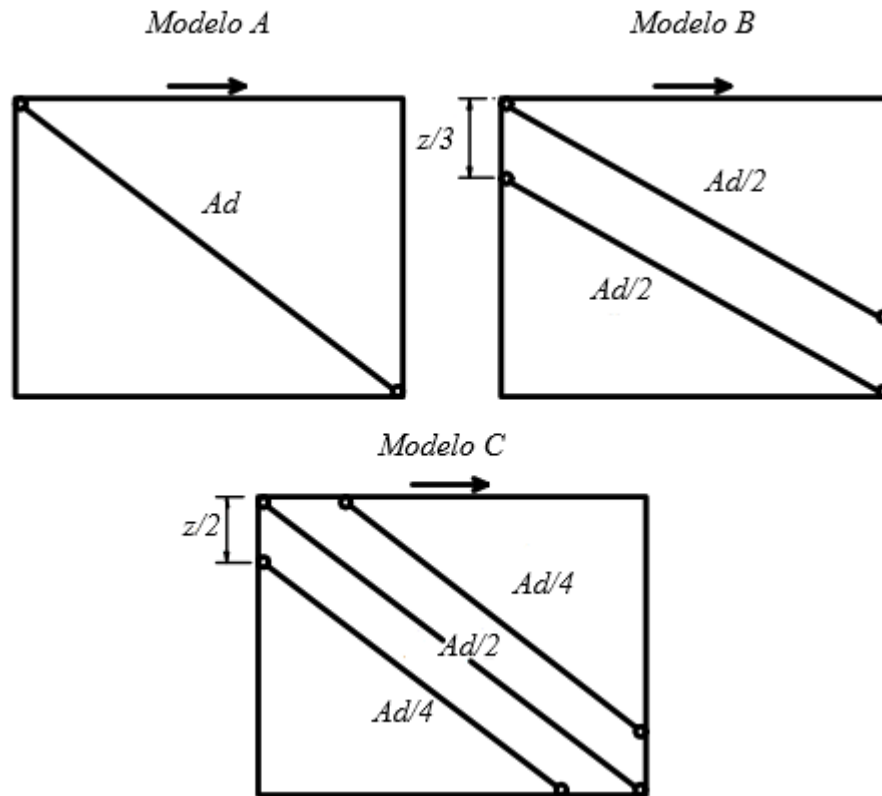


Figura 1. Macro modelos del puntal a compresión propuestos para simular el efecto del muro de mampostería no estructural (Crisafulli & Carr, 2007).

Los muros de mampostería proveen una mayor rigidez a la estructura, sin embargo, una irregular distribución en planta de estos elementos genera un aumento en la torsión en dicho piso (Tarque, Candido, Camata, & Spacone, 2015). Este fenómeno se debe a un traslado del centro de rigideces hacia donde se encuentra la mayoría de los muros; de modo que se recomienda simetría en planta con la ubicación de los muros para evitar este tipo de fenómenos.

El puntal tendrá la geometría descrita por el material y geometría del muro de mampostería, esto incluye posibles aperturas en las mismas, factor que reducirá las dimensiones del puntal

(Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015). En la Figura 2 se observa el detallamiento del puntal a compresión en un panel de viga-columna, con una apertura lv por hv . La simplificación de un solo puntal debe entenderse que trabajará a tensión y a compresión dependiendo de la orientación de la carga lateral, en consecuencia se tiene dos puntales cruzados.

Tanto el módulo de elasticidad como la relación de Poisson son el resultado de un análisis empírico a el tipo de mampostería utilizado en el muro, a lo largo de la diagonal de la muro, esto es la longitud del puntal (Cavaleri, Papia, Macaluso G., Di Trapani, & Colajanni, 2013).

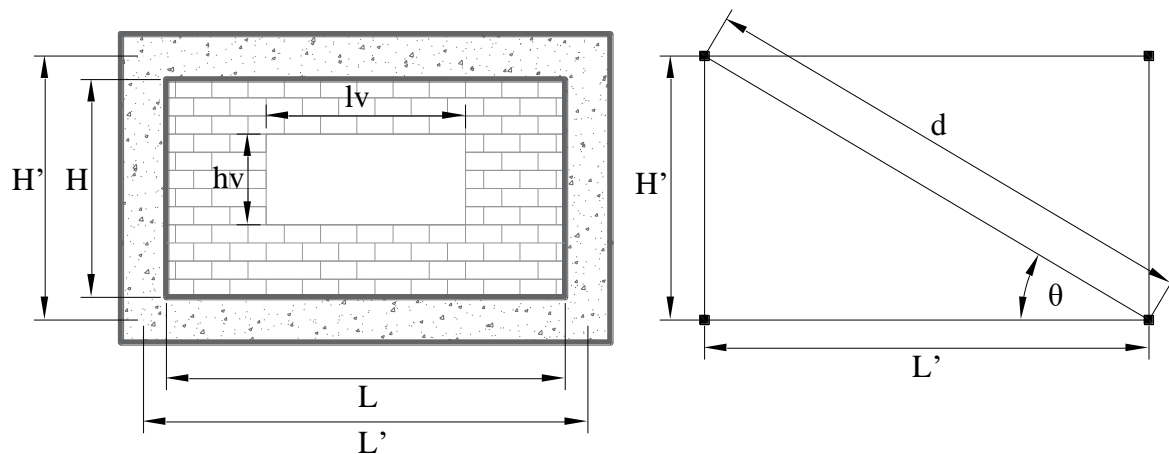


Figura 2. Puntal a compresión resultante de una muro con apertura lv por hv en el centro.

La altura del puntal a compresión es el valor de incógnita que depende de cada muro y su apertura, por lo que diferentes configuraciones de apertura en diferentes muros resultan en puntales que aporten más o menos rigidez a la configuración de vigas y columnas en la que se encuentre.

La altura del puntal w depende de los siguientes parámetros:

- λ^* representa las características mecánicas de la muro (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$\lambda^* = \frac{E_d}{E_f} \times \frac{th'}{A_c} \left(\frac{h'^2}{l'^2} + \frac{1}{4} \times \frac{A_c}{A_b} \times \frac{l'}{h'} \right)$$

Donde E_d es el módulo de elasticidad de diagonal de la mampostería, E_f es el módulo de elasticidad del hormigón, t es el espesor de la mampostería, A_c es el área transversal de la columna, h' es la altura de piso entre nodos, l' es la longitud de la viga entre nodos A_b es el área transversal de la viga.

- α_w relación de la apertura del muro (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$\alpha_w = \frac{l_v \times h_v}{l \times h}$$

Donde l_v y h_v son las dimensiones de la apertura en la muro, l y h son la longitud de la viga desde los apoyos y la altura de piso desde los apoyos respectivamente.

- r es el factor de reducción que depende de la apertura (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$r = 1 - 2\alpha_w^{0.54} + \alpha_w^{1.14}$$

Donde los términos de esta ecuación ya fueron descritos en las secciones anteriores.

- γ es un exponente que indica la interacción entre la apertura en el muro y las cargas verticales (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$\gamma = 1 + \frac{0.5r}{(h/l)^4}$$

Donde los términos de esta ecuación ya fueron descritos en las secciones anteriores.

- k indica la influencia de las cargas verticales y se ve afectado por el factor γ para tomar en cuenta a apertura del muro (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$k = [1 + (18\lambda^* + 200)\varepsilon_v]$$

$$k^\gamma = k$$

Donde ε_v es la deformación vertical de las columnas.

- β y c que son factores empíricos dependientes de la relación de Poisson (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$\beta = 0.146 + 0.0073v_d + 0.126v_d^2$$

$$c = 0.249 - 0.0116v_d + 0.567v_d^2$$

Donde v_d es la relación de Poisson diagonal de la mampostería.

- La altura del puntal se define de la siguiente manera en función de la longitud diagonal (Asteris, Cavaleri, Di Trapani, & Sarhosis, 2015).

$$w = \left[r \times k^\gamma \times \frac{l}{h} \times \frac{c}{\lambda^{*\beta}} \right] \times d$$

Donde los términos de esta ecuación ya fueron descritos en las secciones anteriores.

4.2. Metodología

El desarrollo del programa toma en cuenta consideraciones y simplificaciones que facilitan los cálculos que debe realizar MATLAB para obtener los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas en la estructura. Estas simplificaciones facilitan la programación y a la vez permiten que el programa sea orientado hacia cálculos estructurales dentro del rango lineal elástico. Continuación se detallan las consideraciones y simplificaciones del programa.

4.2.1. Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas globales y locales de la estructura y de un elemento arbitrariamente orientado en el espacio, son denotadas en la Figura 2, donde el eje X es horizontal, el eje Z es vertical y el eje Y se orienta hacia la pantalla; y los ejes x, y, z tienen la misma orientación pero girados en función del elemento arbitrariamente orientado.

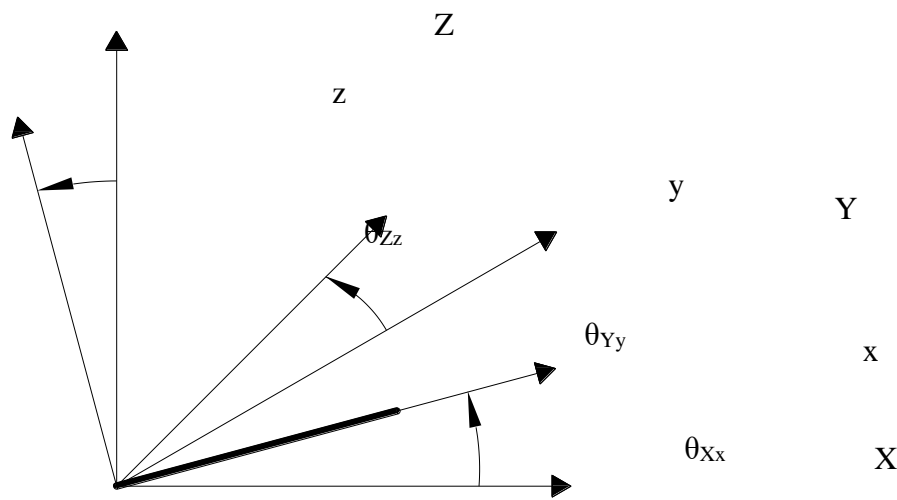


Figura 3. Sistema de coordenadas globales y locales utilizados en el programa.

4.2.2. Materiales

El material utilizado en el programa es hormigón de resistencia a la compresión de 21 MPa, relación de Poisson de 0.20 y un peso específico de 21.35 kN/m³. Para la mampostería se utiliza una resistencia a la compresión de 1.85 MPa, relación de Poisson de 0.20 y un peso específico de 12 kN/m³ (Celi & Pantoja, 2016; Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

4.2.3. Carga sobreimpuesta

La carga sobreimpuesta corresponde a cargas gravitacionales que son la carga muerta y viva. La carga aplicada en las vigas es simplificada al multiplicar la carga por unidad de metro

cuadrado aplicada en una losa multiplicada por el área que ocupa, y dividido para la longitud total de las vigas en el eje X y en el eje Y; escrito en forma de ecuación se tiene:

$$w_v = \gamma_{\text{Área}} \times \frac{L_x \times L_y}{2 \times (L_x + L_y)}$$

Donde $\gamma_{\text{Área}}$ corresponde a la sumatoria del peso muerto más la carga viva por metro cuadrado de la losa, L_x y L_y corresponden a las longitudes del vano en X y en Y del panel de losa de la cual pertenece la viga de análisis; y resulta en w_v , la carga aplicada en las vigas. Esta carga será el doble en las vigas centrales. La Figura 4 muestra una vista en planta de la carga sobrepuesta resultante de la carga aplicada en la losa.

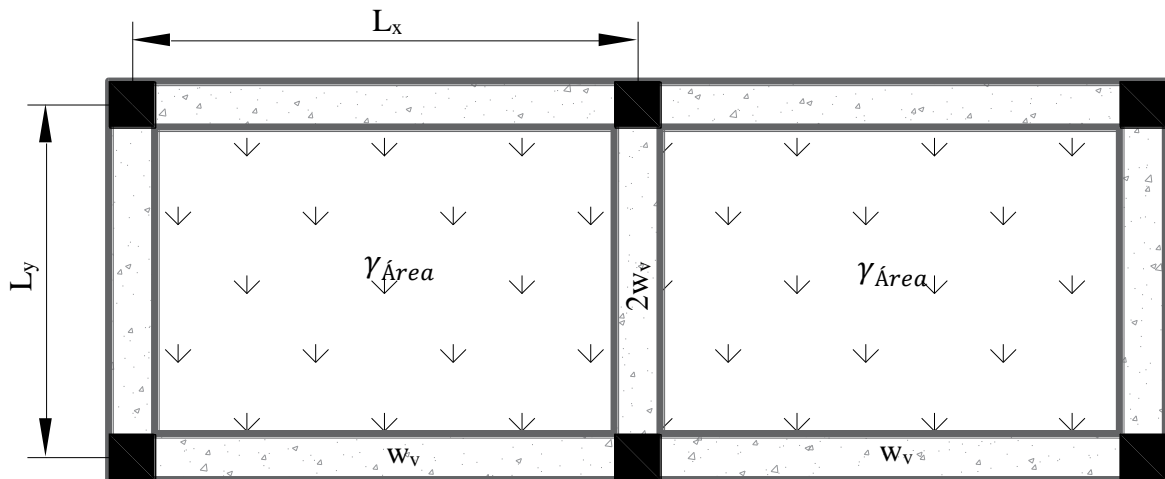


Figura 4. Carga sobrepuesta en una losa y su arreglo en forma de carga distribuida sobre las vigas de la estructura.

El peso propio de las columnas es aplicado como una carga puntual en los nodos i y j , y equivalen a la mitad del peso de la columna de acuerdo con su área transversal y longitud.

La carga de la muro de mampostería sobre las vigas corresponde al volumen multiplicado por su peso específico y dividido por la longitud de la viga, y se determina con la siguiente ecuación:

$$w_m = \frac{V_m * \gamma_m}{L'} = \frac{[(L \times H) - (h_v \times l_v)] * t * \gamma_m}{L'}$$

Donde el Volumen de mampostería resulta de la diferencia entre el área completa que puede ocupar la muro, menos el área de la apertura y por el espesor de la mampostería. Los parámetros de la ecuación se observan en la Figura 5.

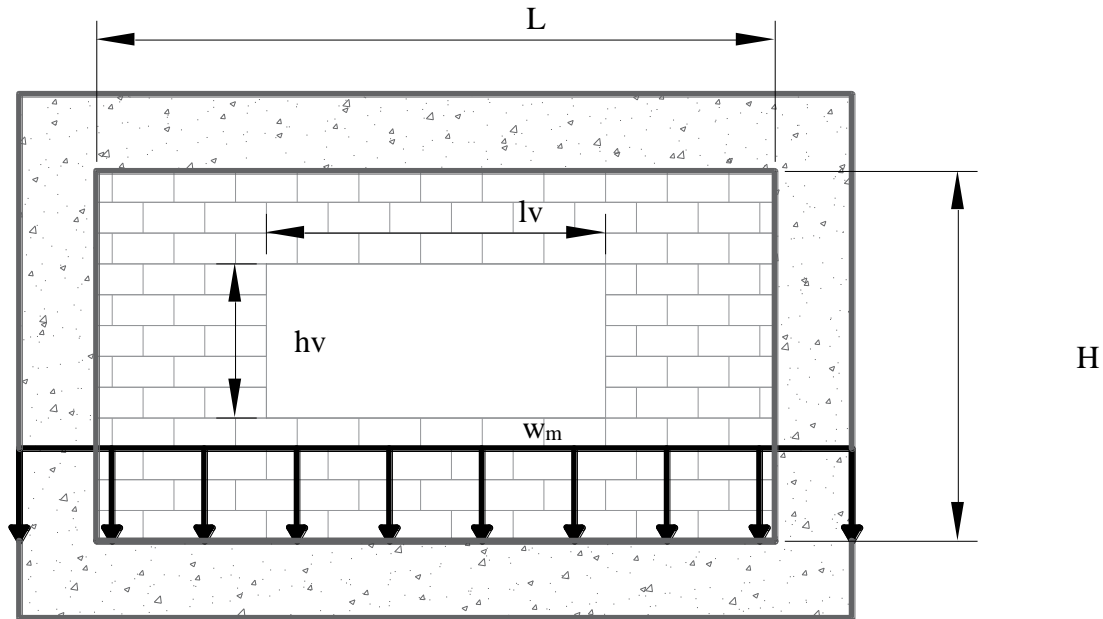


Figura 5. Carga distribuida en la viga resultante del peso del muro de mampostería no estructural asentado sobre esta.

4.2.4. Carga sísmica

La carga sísmica se considera estática y horizontal en las direcciones X y Y. No se toma en cuenta diafragma rígido para transmitir las cargas de un nodo maestro hacia todos los nodos de un mismo piso, sin embargo, al tener pórticos iguales la rigidez de cada uno de estos permite asignar una carga igual en todos los nodos del piso. Para dos pórticos iguales paralelos en el eje X con rigideces k_A y k_B respectivamente, la carga sísmica E_x se distribuye con respecto a la rigidez del pórtico aplicado en función de la rigidez total en un sentido, sin embargo, dos

pórticos iguales tienen una rigidez igual, consecuente la carga sísmica será la mitad en cada pórtico como se observa en la Figura 6. Se desarrolla el concepto mencionado en ecuaciones:

$$k_x = k_A + k_B$$

$$E_{xA} = \frac{k_A}{k_x}, E_{xB} = \frac{k_B}{k_x}$$

$$E_x = E_{xA} + E_{xB}, E_{xA} = E_{xB}$$

$$E_{xA} = E_{xB} = \frac{E_x}{2}$$

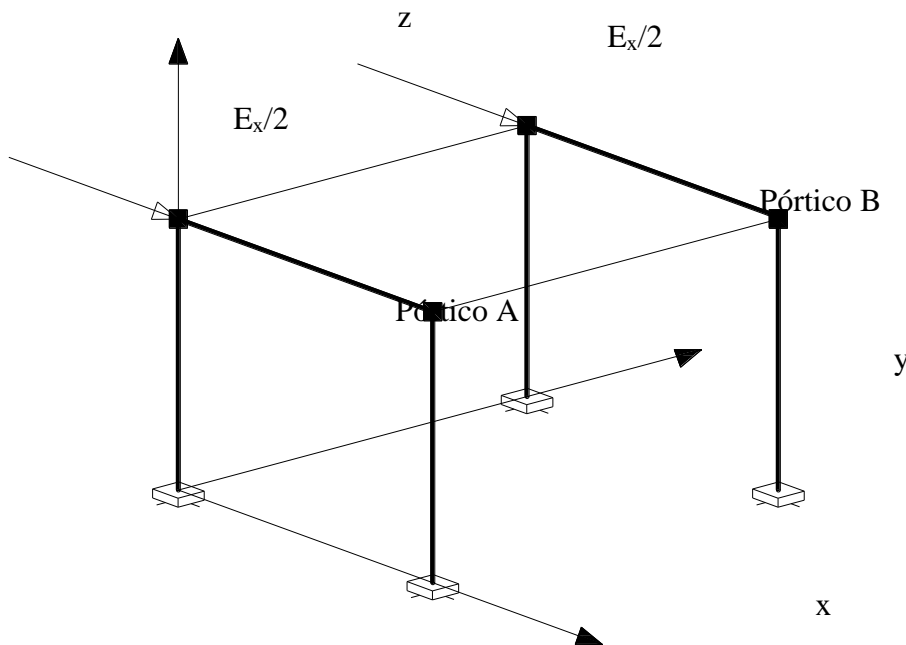


Figura 6. Carga aplicada en los pórticos de un mismo sentido en una estructura tridimensional simétrica bajo carga sísmica E_x .

4.2.5. Simplificaciones y consideraciones

La primera simplificación consiste en el tipo de estructura en el espacio que se puede analizar. Esta consiste en pórticos de tipo marco con regularidad y simetría en planta; y al igual con la altura de pisos, valor que sería el mismo entre eje de las vigas del piso superior con el de

análisis. Esta simplificación también imposibilita vigas en voladizos, sin embargo, facilita la numeración automática de los nodos y los grados de libertad que son asignados a cada elemento del pórtico.

La segunda simplificación reside en las cargas aplicadas en las vigas y las cargas puntuales en los nodos del pórtico. El tipo de carga que se puede aplicar es una carga distribuida en todas las vigas de la estructura, considerando la mitad de esta carga aplicada en las vigas de perímetro. Las cargas puntuales solo serán aplicadas como cargas laterales en los nodos pertenecientes a un mismo piso. Esta simplificación reduce la dificultad de la programación de la rutina de MATLAB.

La tercera simplificación refiere a los muros de mampostería y donde se pueden colocar. Cada pórtico bidimensional en la estructura tiene como opción la inclusión de muros en cada cuadro de vigas y columnas; estos muros tendrán la misma apertura para los pórticos de un mismo sentido, en caso de ser especificada. Esta simplificación al igual que la anterior, reduce la dificultad de programación.

Como última consideración se tiene la numeración de los pórticos para el uso del programa, el conteo es de 1 en el origen hacia arriba hasta el número de pórticos paralelos en el eje X; y la numeración continua en los pórticos paralelos al eje Y de izquierda a derecha desde el último pórtico en Y.

4.2.6. Revisión del programa

Tomando en cuenta las simplificaciones se obtiene un programa capaz numerar todos los elementos existentes en la estructura de acuerdo con una personalización escogida por el usuario a partir del número de vanos y pisos, al igual que sus dimensiones. Conjunto con esto se tiene la inclusión de muros de mampostería en los pórticos para asemejar la estructura a una

real. Los resultados obtenidos por el programa son comprobados con el programa comercial SAP2000.

4.3.Resultados

Una vez desarrollado el programa, se analiza 4 tipologías distintas de estructuras comunes que se encuentran en la ciudad de Quito, y representan un riesgo para las personas que habitan dichas viviendas en un evento sísmico.

4.3.1. Tipologías de análisis

A continuación se observa los diferentes detallamientos de las tipologías estructurales más comunes de Quito. Estos modelos fueron tomados del informe: *Modelo de exposición y funciones de vulnerabilidad de edificios residenciales para la ciudad de Quito* (Celi & Pantoja, 2016), y se presentan en las Figuras 7 a 10.

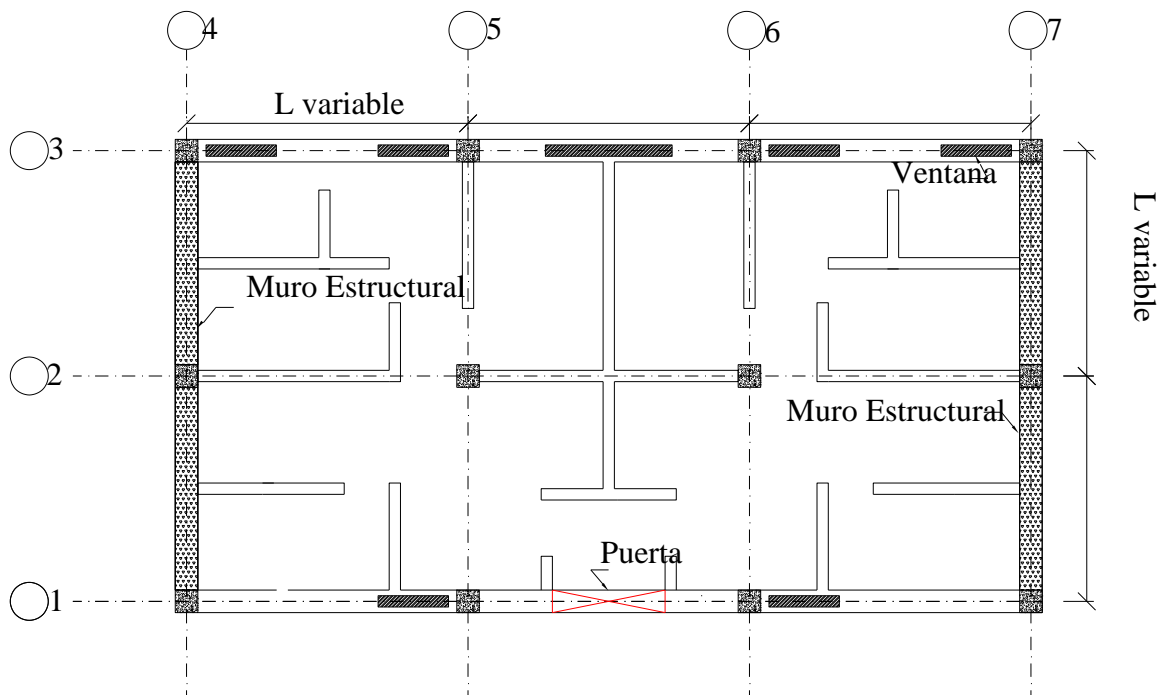


Figura 7. Tipología estructural 1 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).

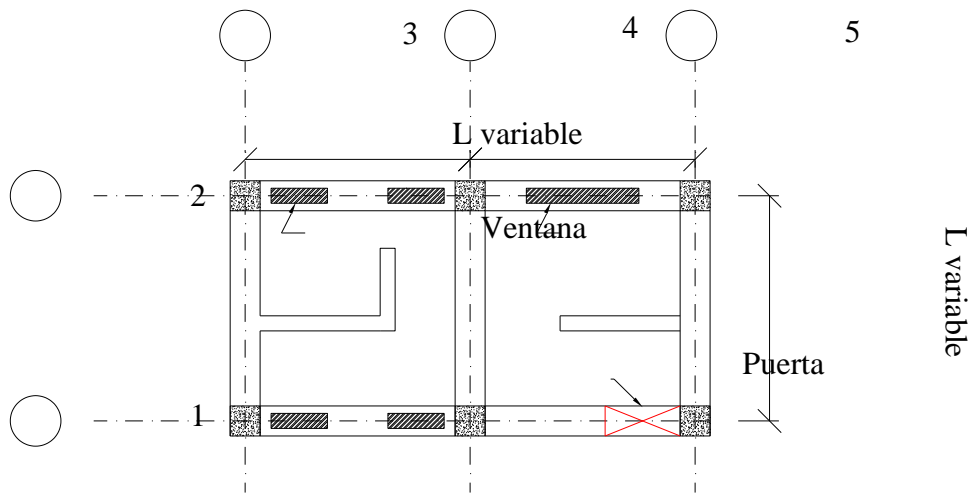


Figura 8. Tipología estructural 2 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).

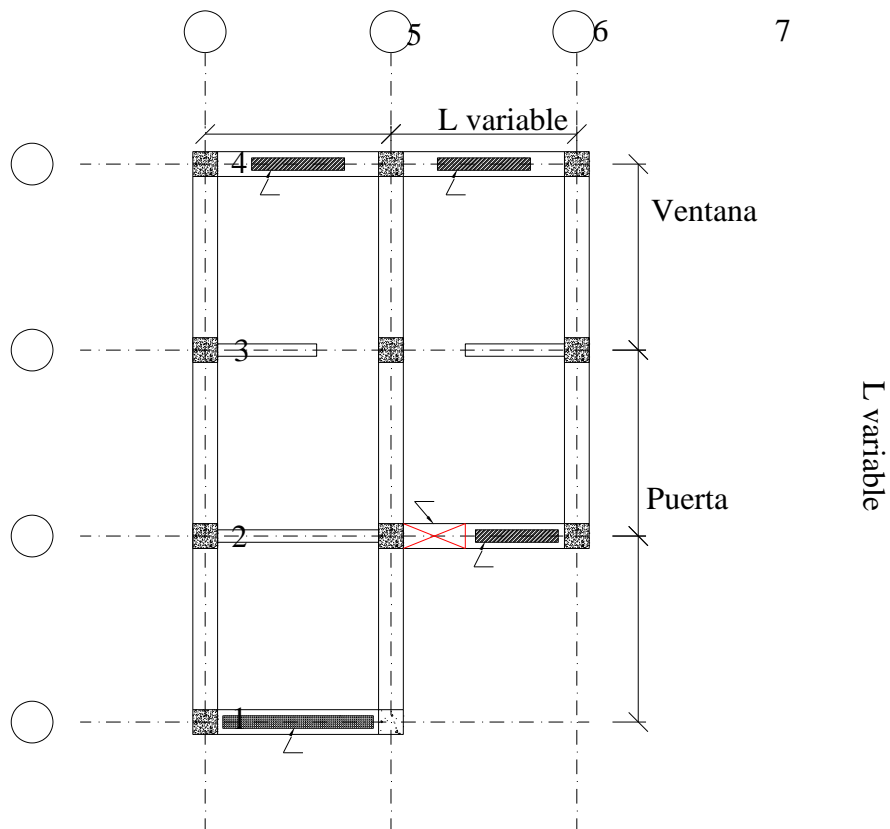


Figura 9. Tipología estructural 3 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).

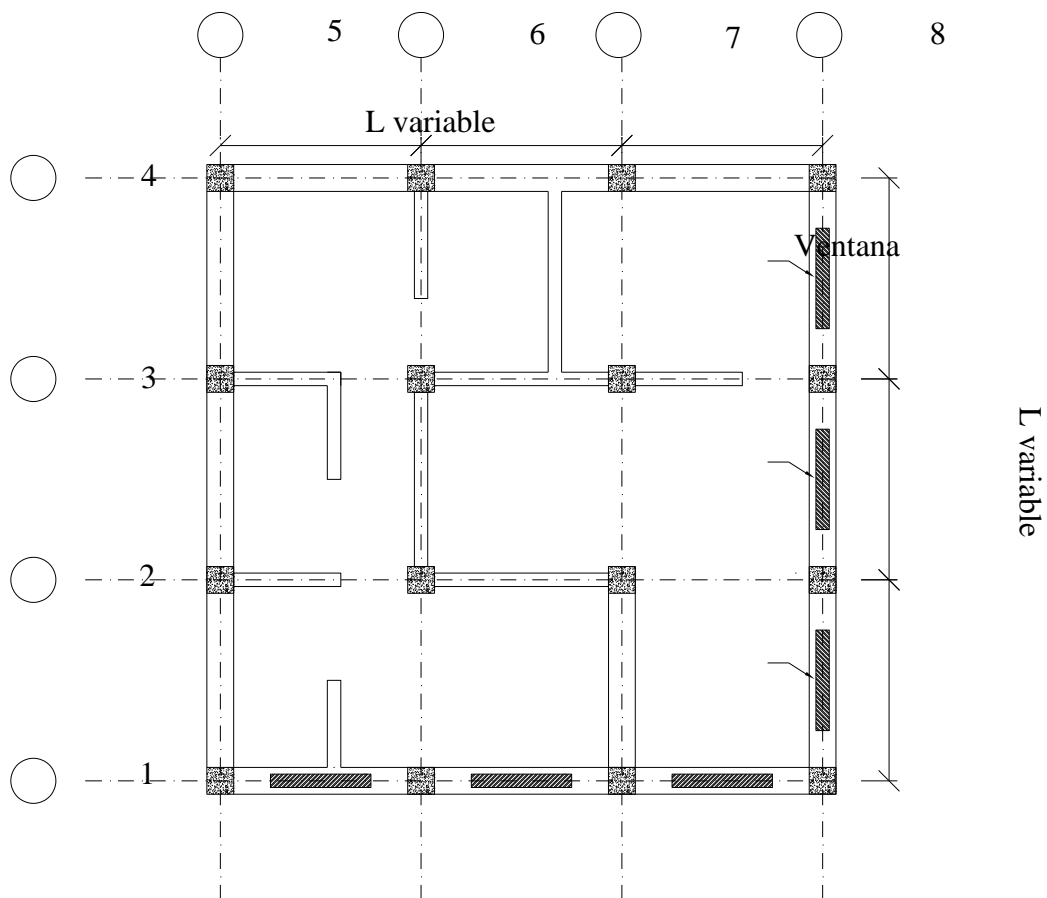


Figura 10. Tipología estructural 4 de la ciudad de Quito (Celi & Pantoja, 2016).

Se tiene que los elementos estructurales de estas tipologías coinciden en las dimensiones transversales, resistencia a la compresión del hormigón y su peso específico. Los muros de mampostería de todas las tipologías son del mismo material por lo que tienen las mismas propiedades mecánicas.

4.3.2. Resultados tipología 1

Las simplificaciones tomadas para este modelo se observan en la Figura 9 y se detallan a continuación:

- Todos los pórticos paralelos al eje X llevan muros de mampostería con una apertura, que simula ventanas.
- Los pórticos paralelos al eje Y que se encuentran en el perímetro de la estructura llevan muros de mampostería macizas.

Las luces de los vanos de la estructura son iguales en ambas direcciones y corresponden a un valor de 5 metros. Esta tipología comúnmente tiene de 4 a 6 pisos, se realizará el análisis con 6 pisos, lo que corresponde a el peor caso; la altura del piso es de 2.50 metros.

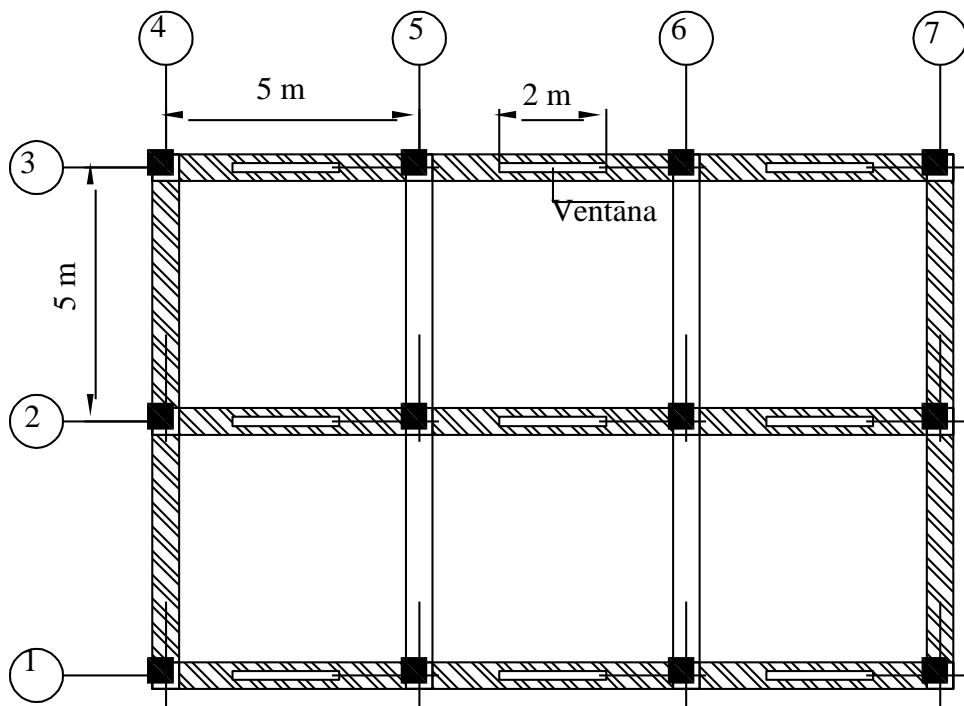


Figura 11. Tipología estructural 1 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.

Las propiedades de los materiales se describen en la sección de metodología y se resumen en la Tabla 1. La geometría de las secciones corresponde a la Figura 12. Junto a esto, la apertura de los muros en X es de 2m x 1m.

Tabla 1. Propiedades de los materiales utilizados en las tipologías estructurales en el programa.

Material	Propiedad	Valor	Unidad
Hormigón Armado	f_c	21	MPa
	ν	0.2	-
	γ_c	21.35	kN/m ³
Mampostería	f_m	1.85	MPa
	ν_d	0.2	-
	γ_m	12	kN/m ³

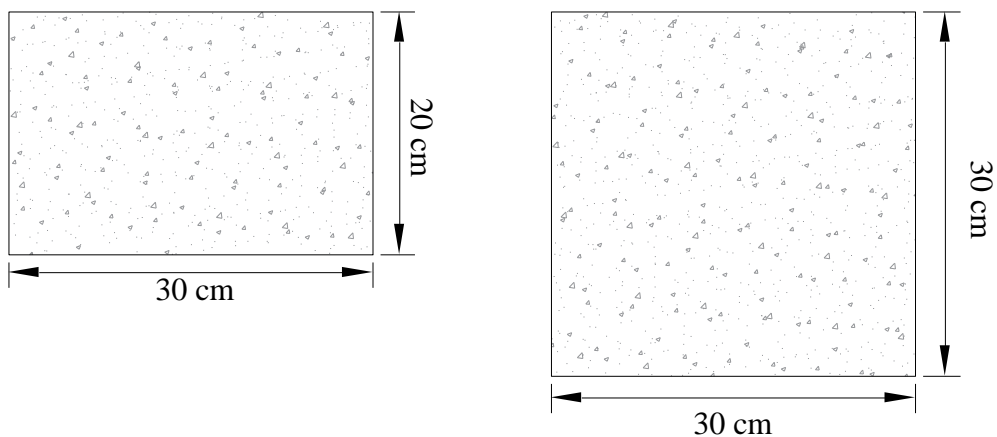


Figura 12. Geometría de la viga (izquierda) y de la columna (derecha) utilizadas en las tipologías estructurales en el programa.

La carga sobreimpuesta en las vigas corresponde a un valor de 11 kN/m más el peso del muro sobre estas. La carga sísmica resulta de un análisis del peso de la estructura, tomando en cuenta que esta está asentada en un suelo tipo C en la ciudad (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015); y la elevación del piso para obtener cargas puntuales respectivas para cada piso. En la Tabla 2 se observa las cargas que se colocan en cada piso en ambas direcciones, X y Y, al igual que un esquema en la Figura 13 para entender la aplicación de la carga.

Tabla 2. Cargas sísmicas aplicada en ambas direcciones en la tipología estructural 1 de la ciudad de Quito.

Cargas de Piso		
Criterio	Valor	Unidad
E1	144.03	kN
E2	288.06	kN
E3	432.08	kN
E4	576.11	kN
E5	720.14	kN
E6	307.43	kN

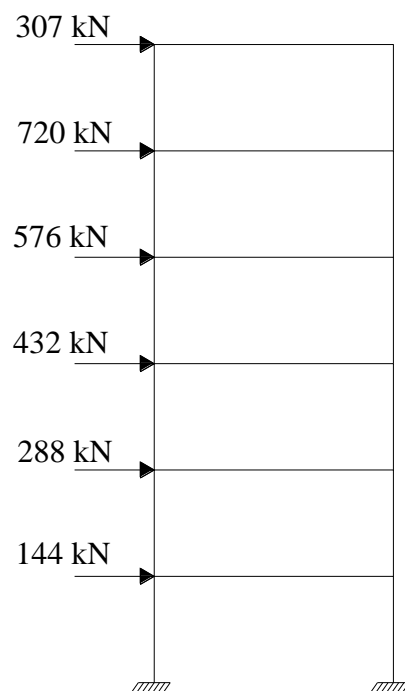


Figura 13. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 1.

El programa calcula las reacciones, desplazamientos en los nodos y fuerzas internas de los elementos, una guía del uso del programa se encuentra en el Anexo B. Para el estudio futuro, los datos necesarios son la deriva del último piso y las fuerzas internas de los elementos, en especial de los muros de mampostería ya que son los primeros elementos en fallar ante un

evento sísmico fuerte. La gráfica de la Figura 14 corresponde a los desplazamientos de los nodos de cada piso ante las cargas impuestas.

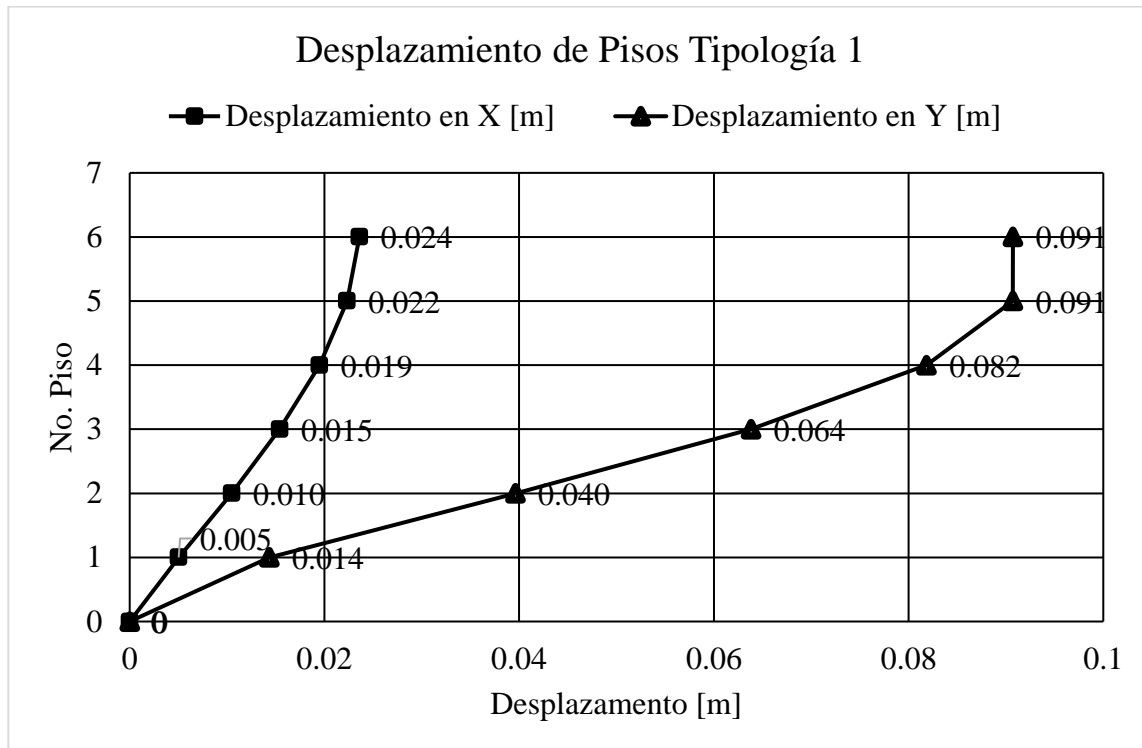


Figura 14. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 1 en el programa.

4.3.3. Comprobación de tipología 1 con SAP2000

Para comprobar la efectividad del programa en MATLAB, se compara un modelo realizado en el software de diseño y análisis estructural SAP2000. Se recrea la estructura de la tipología 1 de acuerdo con la Figura 11, tomando en cuenta que se utilizan puntales de compresión en como muros de mampostería. Las ilustraciones 15, 16 y 17 muestran la configuración de la estructura con los diferentes puntales; se observa como existen 12 tipos de puntales en la dirección del eje X y 6 en el eje Y, esto se debe a la diferencia de carga que sufren los muros dependiendo de su dirección y ubicación (dentro o en el perímetro) en la estructura.

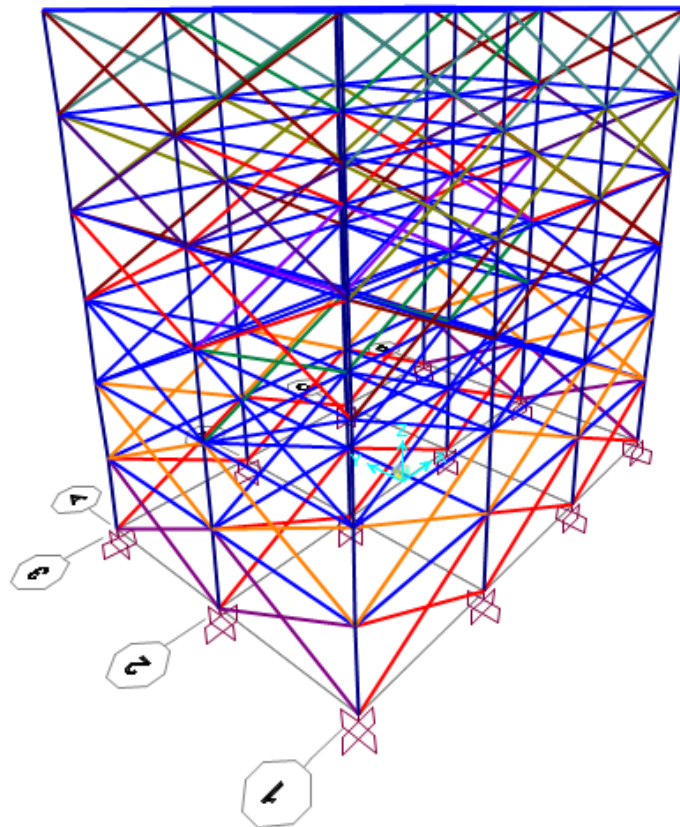


Figura 15. Vista tridimensional de la tipología 1 en SAP2000, con vigas, columnas y muros.

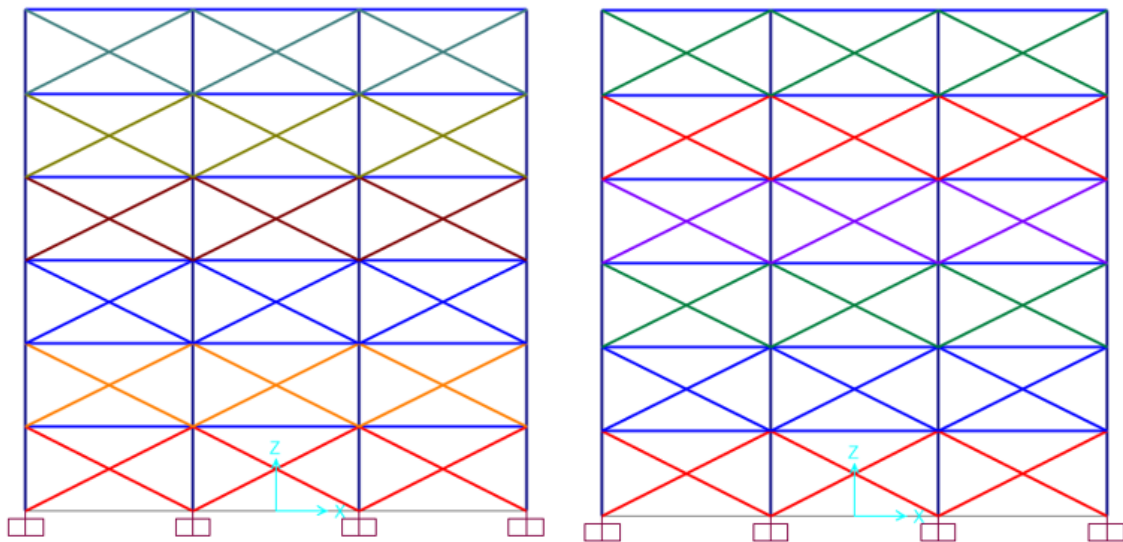


Figura 16. Vista en elevación de los pórticos paralelos al eje X centrales (izquierda) y en el perímetro (derecha) con sus respectivos puntales a compresión en SAP2000.

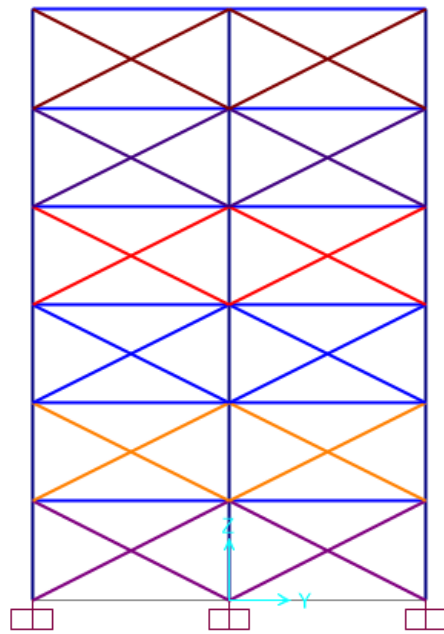


Figura 17. Vista en elevación del pórtico paralelo al eje Y en el perímetro con sus respectivos puntales a compresión en SAP2000.

Las dimensiones de las secciones y materiales utilizadas en SAP2000 son las mismas de las Tabla 1 y Figura 12. De la misma forma las cargas horizontales aplicadas en los nodos son las mismas mostradas en la Tabla 2.

Los resultados obtenidos por SAP2000 resultan iguales a los valores del programa en MATLAB. La Figura 18 muestra la deformación de los pisos por la carga aplicada, que resulta en una gráfica igual a la del programa.

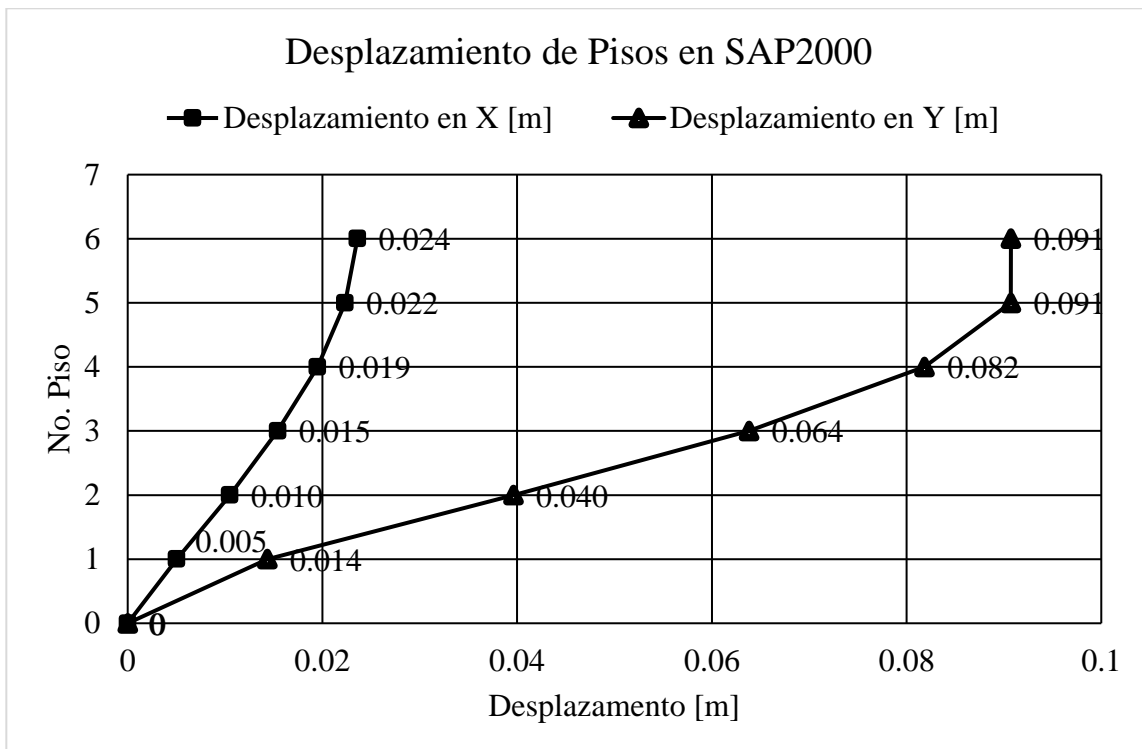


Figura 18. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 1 en SAP2000.

Debido a que en el programa no es posible observar una imagen de la deformación de los pisos, la Figura 19 muestra como se deforma el último piso de la estructura por las cargas aplicadas, el nodo de análisis está señalado en esta.

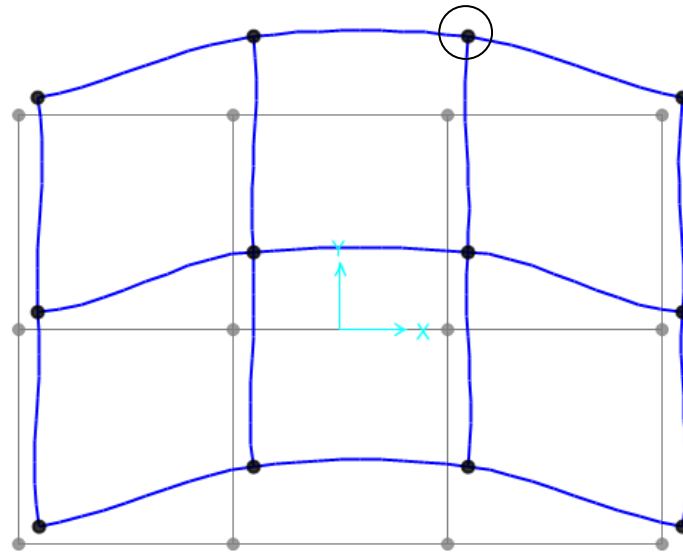


Figura 19. Vista en plata de la deformación del último piso ante las cargas impuestas en la tipología 1 en SAP2000.

4.3.4. Resultados tipología 2

Las simplificaciones tomadas para este modelo se observan en la Figura 20 y se detallan a continuación:

- Todos los pórticos paralelos al eje X llevan muros de mampostería con una apertura, que simula ventanas.
- Los pórticos paralelos al eje Y que se encuentran en el perímetro de la estructura llevan muros de mampostería macizas.

Las luces de los vanos de la estructura son iguales en ambas direcciones y corresponden a un valor de 3 metros. Esta tipología es de un piso, que es el único caso de análisis; la altura del piso es de 2.32 metros.

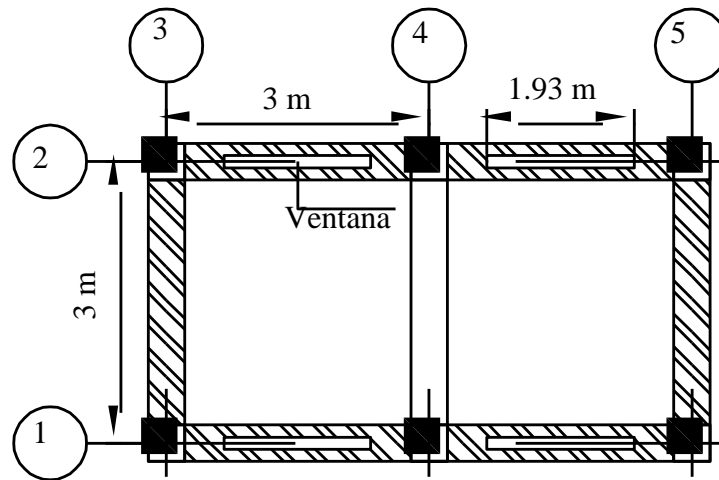


Figura 20. Tipología estructural 2 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.

Las propiedades de los materiales se describen en la sección de metodología y se resumen en la Tabla 1. La geometría de las secciones corresponde a la Figura 12. Junto a esto, la apertura de los muros en X es de 1.93m x 1m.

La carga sobrepuesta en las vigas corresponde a un valor de 11 kN/m más el peso del muro sobre estas. La carga sísmica aplicada, resulta del mismo análisis que se realizó para la tipología 1, por lo que se aplica en el piso corresponde un valor de 47.9429 kN, como se observa en la Figura 21.

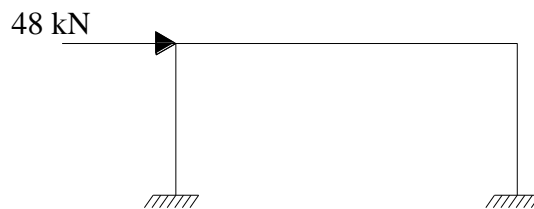


Figura 21. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 2.

El desplazamiento de los nodos superiores es igual obtenido por el programa y se observa en la Figura 22.

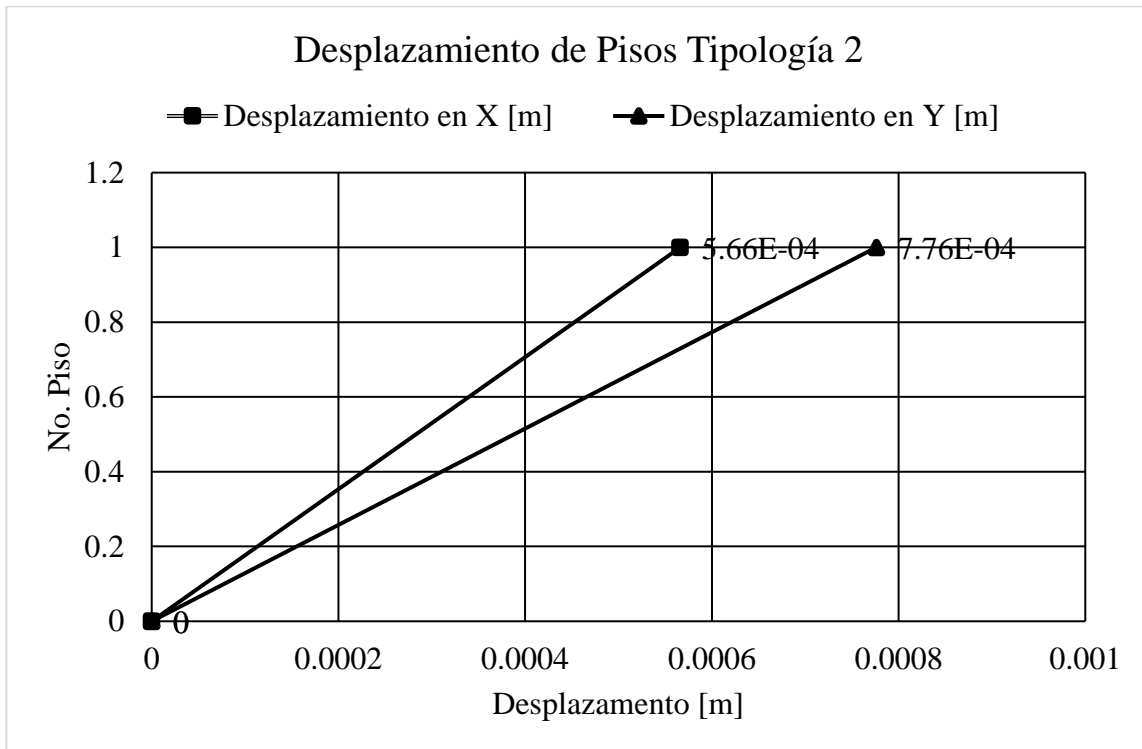


Figura 22. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 2 en el programa.

4.3.5. Resultados tipología 3

Las simplificaciones tomadas para este modelo se observan en la Figura 23 y se detallan a continuación:

- Todos los pórticos paralelos al eje X llevan muros de mampostería con una apertura, que simula ventanas.
- Los pórticos paralelos al eje Y llevan todos muros de mampostería macizas.

Las luces de los vanos de la estructura son iguales en ambas direcciones y corresponden a un valor de 3 metros. Esta tipología comúnmente tiene 2 a 4 pisos de altura, se trabaja con la estructura de mayor altura; la altura del piso es de 2.50 metros.

Las propiedades de los materiales se describen en la sección de metodología y se resumen en la Tabla 1. La geometría de las secciones corresponde a la Figura 12. Junto a esto, la apertura de los muros en X es de 2m x 1m.

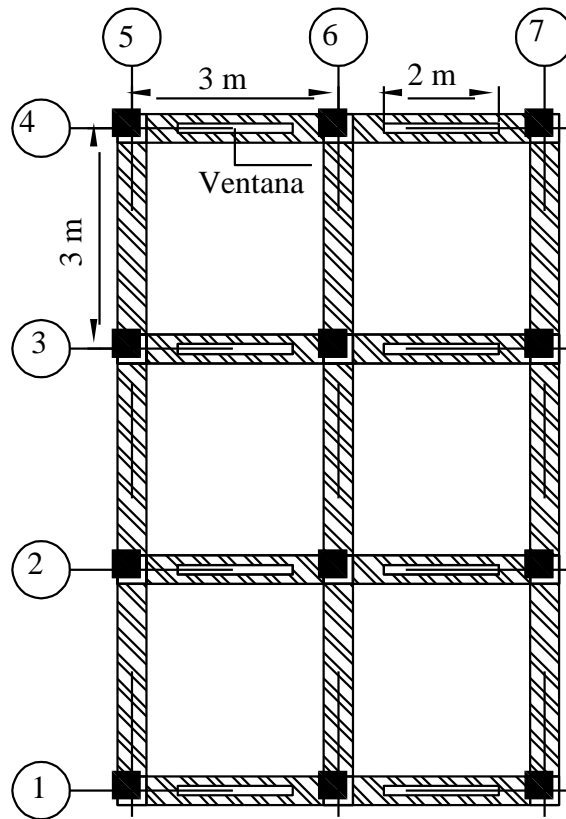


Figura 23. Tipología estructural 3 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.

Las propiedades de los materiales se describen en la sección de metodología y se resumen en la Tabla 1. La geometría de las secciones corresponde a la Figura 12.

La carga sobrepuesta en las vigas corresponde a un valor de 11 kN/m más el peso del muro sobre estas. Mediante un análisis de carga sísmica, tomando en cuenta los mismos parámetros

que para la tipología 1, se determina 4 valores de carga sísmica referentes a el peso de cada piso y a su elevación, estos valores se resumen en la Tabla 3 y se observa en la Figura 24.

Tabla 3. Cargas sísmicas aplicada en ambas direcciones en la tipología estructural 3 de la ciudad de Quito.

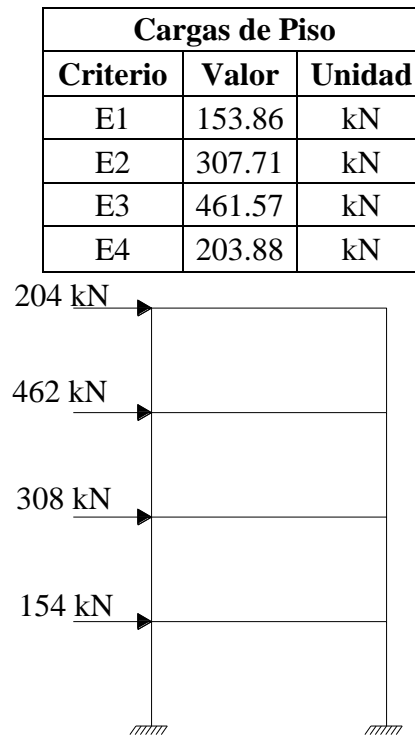


Figura 24. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 3.

Posteriormente se obtiene el desplazamiento de los pisos respuesta de las cargas horizontales aplicadas, la Figura 25 resume los desplazamientos en X y en Y.

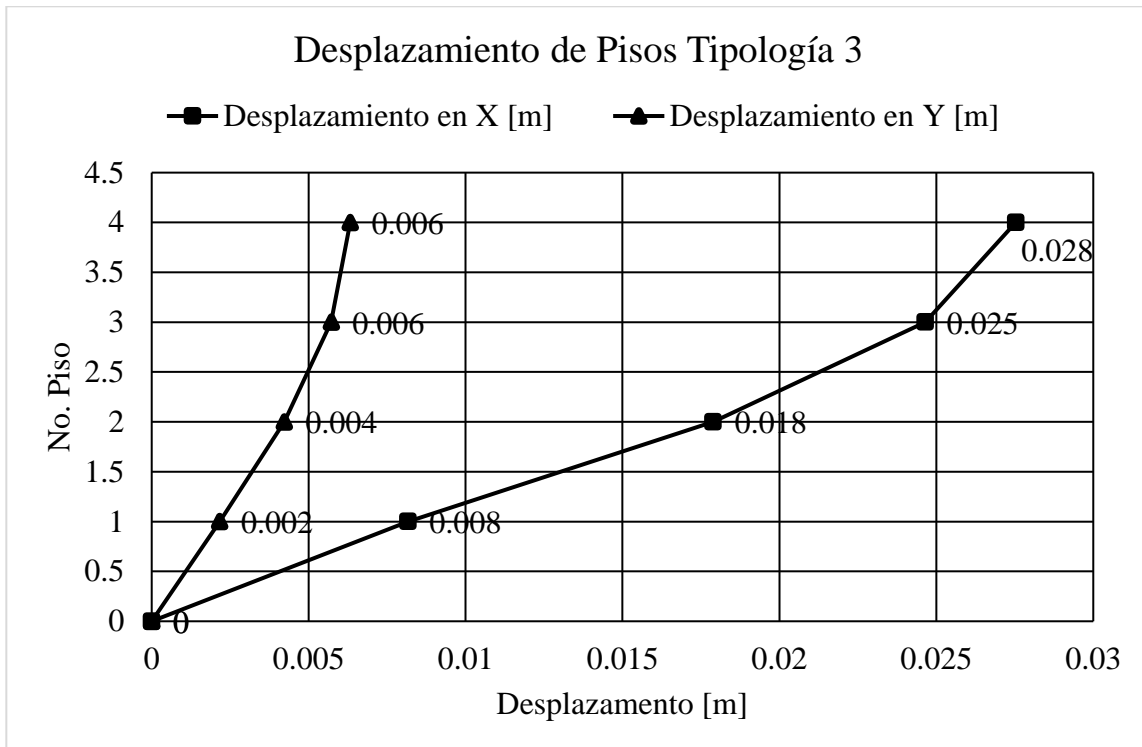


Figura 25. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 3 en el programa.

4.3.6. Resultados tipología 4

Las simplificaciones tomadas para este modelo se observan en la Figura 20 y se detallan a continuación:

- Todos los pórticos paralelos al eje X llevan muros de mampostería con una apertura, que simula ventanas.
- Los pórticos paralelos al eje Y llevan todos muros de mampostería macizas.

Las luces de los vanos de la estructura son iguales en ambas direcciones y corresponden a un valor de 3 metros. Esta tipología comúnmente tiene 2 o 3 pisos de altura, se trabaja con la estructura de mayor altura; la altura del piso es de 2.50 metros.

Las propiedades de los materiales se describen en la sección de metodología y se resumen en la Tabla 1. La geometría de las secciones corresponde a la Figura 12. Junto a esto, la apertura de los muros en X es de 2m x 1m.

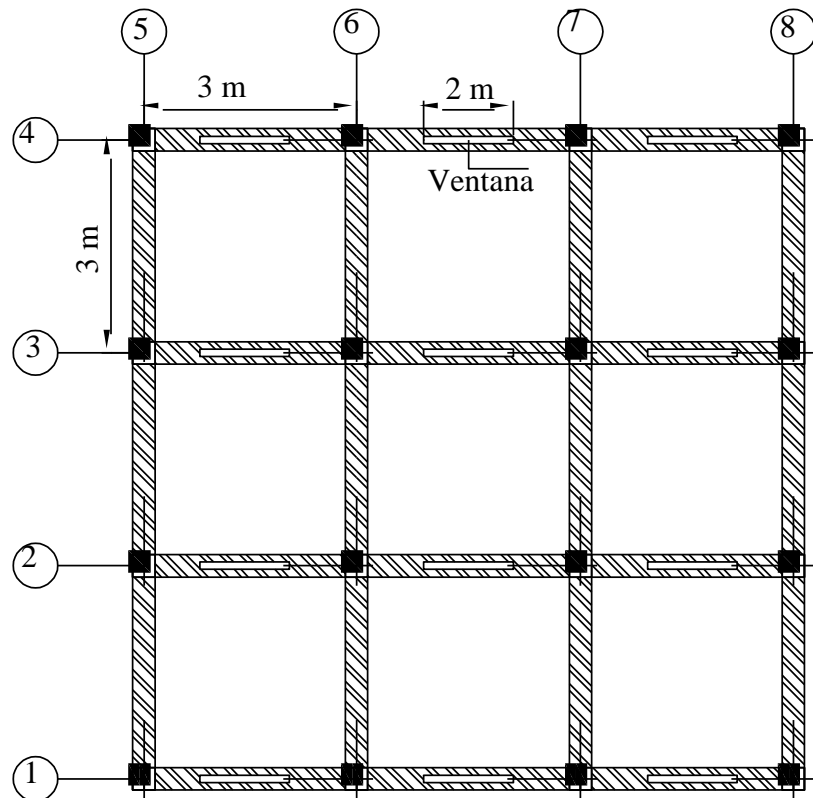


Figura 26. Tipología estructural 4 de la ciudad de Quito simplificada para su evaluación en el programa.

La carga sobrepuesta en las vigas corresponde a un valor de 11 kN/m en cada una de las vigas. Mediante un análisis de carga sísmica, tomando en cuenta los mismos parámetros que para la tipología 1, se determina 4 valores de carga sísmica referentes a el peso de cada piso y a su elevación, estos valores se resumen en la Tabla 4 y se observa en la Figura 27.

Tabla 4. Cargas sísmicas aplicada en ambas direcciones en la tipología estructural 4 de la ciudad de Quito.

Cargas de Piso		
Criterio	Valor	Unidad
E1	273.87	kN
E2	547.739	kN
E3	272.356	kN

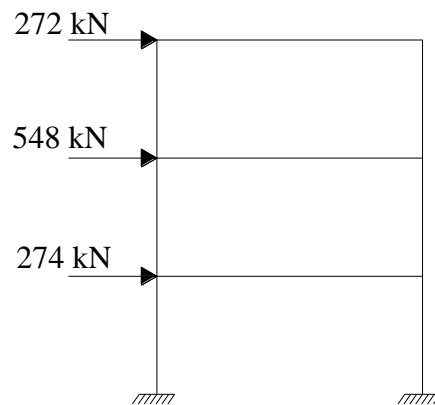


Figura 27. Aplicación de carga sísmica en ambas direcciones en la tipología 4.

Posteriormente se obtiene el desplazamiento de los pisos respuesta de las cargas horizontales aplicadas, la Figura 28 resume los desplazamientos en X y en Y para crear una comparación.

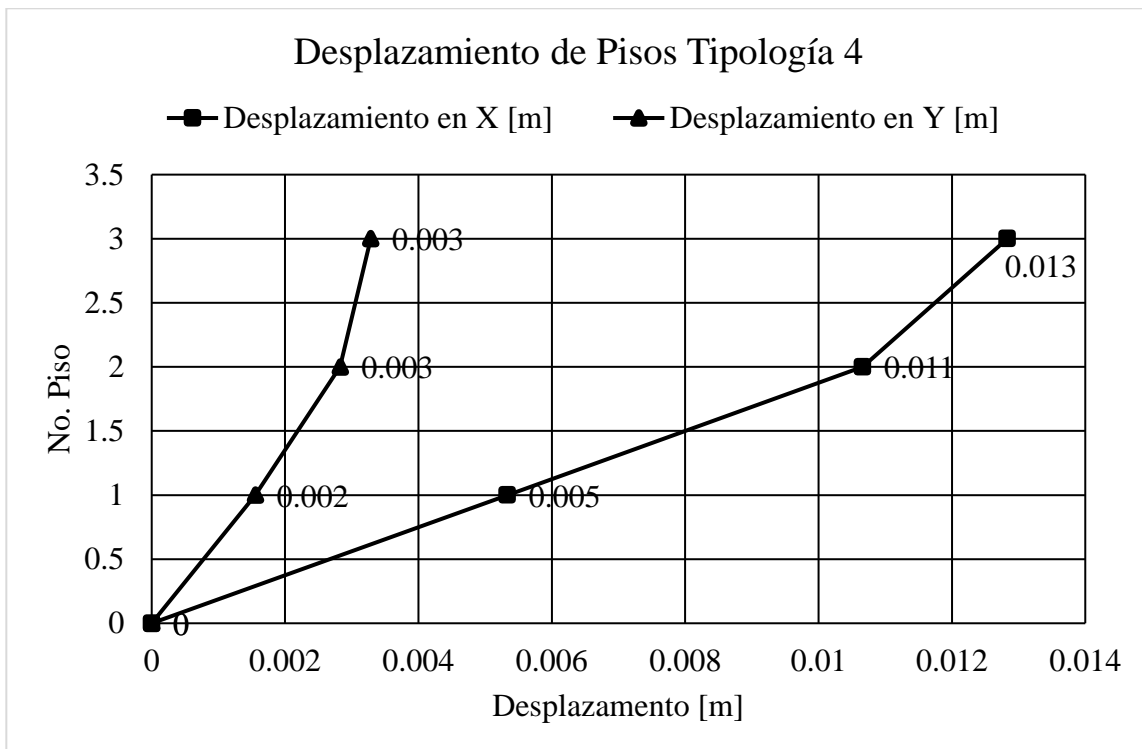


Figura 28. Gráfica de desplazamiento lateral de cada piso ante la acción de las cargas impuestas en la tipología 4 en el programa.

4.4. Análisis de Resultados

El programa en MATLAB obtiene resultados precisos con respecto a SAP2000, resultado que demuestra una correcta codificación y uso del análisis matricial de estructuras. Los datos de la deriva son exactamente iguales y demuestran que las suposiciones asumidas para la toma de cargas en el programa son correctas, por lo que es confiable el uso del programa para análisis estructural paramétrico de pórticos con muros de mampostería. En un futuro se planea modificar el programa para obtener la solución no lineal de la matriz de rigidez y posteriormente dibujar la curva de capacidad de las tipologías analizadas.

A pesar de que las tipologías analizadas presentan simplificaciones, las suposiciones hechas simulan la estructura de la manera más parecida a la realidad. No obstante, se debe tomar en

cuenta que la ausencia del diafragma rígido, a pesar de aplicar la carga horizontal en todos los nodos, no permite que el piso actúe con simetría en cuanto a sus desplazamientos horizontales. Cuando un nodo no está conectado con un puntal de compresión, este se desplaza más con respecto al resto de nodos conectados con puntales; este fenómeno se puede observar en la Figura 19 donde no se tiene muros en los pórticos centrales paralelos al eje Y, por lo que existe una mayor deformación de estos nodos.

Un muro de mampostería maciza es más rígido que una con aperturas, lo que resulta en un puntal con un peralte más alto, proporcionando una mayor rigidez axial en los nodos a los que estos estén conectados. El análisis de los desplazamientos de los pisos se realiza en las columnas con mayor deformación en ambos ejes, debido a esto, los pórticos en paralelos al eje Y que resultan de un muro macizo, no es el desplazamiento máximo considerado en el piso. En consecuencia, en la Tabla 5 se definieron el porcentaje de aumento en deformación del eje más desplazado con respecto al menos desplazado. Por esta razón se dice que el pórtico con mayor desplazamiento en uno de los sentidos es menos rígido que el resto.

Tabla 5. Desplazamientos de las tipologías y porcentaje de aumento de desplazamiento entre las deformaciones en ambos ejes.

Tipología	Piso	MATLAB		
		Desplazamiento en X [m]	Desplazamiento en Y [m]	Porcentaje entre direcciones
1	0	0	0	0
	1	0.005	0.014	185%
	2	0.010	0.040	278%
	3	0.015	0.064	314%
	4	0.019	0.082	320%
	5	0.022	0.091	306%
	6	0.024	0.091	284%
2	0	0	0	0
	1	5.66E-04	7.76E-04	37%
3	0	0	0	0
	1	0.008	0.002	278%
	2	0.018	0.004	324%
	3	0.025	0.006	331%
	4	0.028	0.006	335%
4	0	0	0	0
	1	0.005	0.002	243%
	2	0.011	0.003	277%
	3	0.013	0.003	291%

En general, los desplazamientos resultantes de estas estructuras, pequeñas en su mayoría, es muy grande debido a las cargas aplicadas y se considera que las dimensiones de los elementos estructurales no son capaces de absorber la carga y deformarse en un porcentaje menor respecto a los valores encontrados.

La ausencia del diafragma evita que la rigidez aportada por los muros de mampostería sea transmitida directamente a todo el piso, sino que se transmite únicamente a los nodos a los que el puntal se conecta, por este motivo se tiene deformaciones diferentes en todo el piso, la rigidez del puntal solo aporta al pórtico al que se conecta.

V. CONCLUSIONES

El programa en MATLAB permite al usuario proponer distintos modelos estructurales en el espacio, y someterlo a cargas gravitacionales y laterales estáticas. Asimismo, el programa permite al usuario añadir muros de mampostería a la estructura de hormigón armado, y poner aperturas que simulen ventanas.

Los resultados encontrados demuestran que la ciudad de Quito tiene estructuras con problemas estructurales y deben ser reforzadas para tener una respuesta adecuada cuando llegue el sismo de diseño. Esta respuesta puede ser expandida a un estudio a nivel del país debido a la frecuente construcción de estructuras que corresponden a las tipologías analizadas. Extrapolando la segregación residencial existente en la ciudad y el país, se puede encontrar tipologías muy similares en otros países tercermundistas. Este estudio puede reducir el riesgo de pérdidas de vida ante un sismo, especialmente a Latinoamérica. Es necesario realizar un refuerzo estructural a estructuras con estas tipologías.

El estudio realizado puede ser expandido a un análisis paramétrico no lineal para las tipologías mencionadas en el presente estudio; donde se obtenga la curva de capacidad de estas estructuras, junto con su porcentaje de rotulación, básicamente un análisis no lineal que debe considerar los parámetros de resistencia de los elementos.

Finalmente, la codificación del programa fue la parte más complicada del trabajo, me costó y me tomó mucho tiempo. El análisis matricial tiene complicaciones con respecto a la interacción de los elementos y sobre todo la imposibilidad de programar el diafragma rígido que permite un comportamiento igual en los nodos de un mismo piso. La mayor dificultad del programa fue automatizar el programa para que realice el análisis paramétrico de cualquier estructura rectangular con muros de mampostería.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asteris, P. G., Cavaleri, L., Di Trapani, F., & Sarhosis, V. (2015). *A macro-modelling approach for the analysis of infilled frame structures considering the effects of openings and vertical loads*. London: Taylor & Francis.
- Blanco, E., Cervera, M., & Suárez, B. (2015). *Análisis Matricial de Estructuras*. Barcelona: CIMNE.
- Cavaleri, L., Papia, M., Macaluso G., Di Trapani, F., & Colajanni, P. (2013). *Definition of diagonal Poisson's ratio and elastic modulus for infill masonry walls*. Messina: RILEM.
- Celi, C. A., & Pantoja, J. C. (2016). *Exposure Model and Vulnerability Functions of residential buildings for the City of Quito*. Quito: Global Earthquake Model.
- Crisafulli, F. J., & Carr, A. J. (2007). *Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures*. Canterbury.
- Herrero Olarte, S., Villa, A., & Sandoval, S. (2019). *¿INFLUYE LA DIVERSIDAD ECONÓMICA DEL BARRIO EN SU TASA DE POBREZA? EL CASO DE QUITO*. Quito: ACE 39.
- Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis Estructural*. México: Pearson.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico*. Quito: NEC.
- Tarque, N., Candido, L., Camata, G., & Spacone, E. (2015). *Masonry infilled frame structures: state-of-the-art review of numerical modeling*. Techno Press.
- Uribe Escamilla, J. (2000). *Análisis de Estructuras*. Bogotá: ECOE Ediciones.

VII. ANEXO A: PROGRAMA EN MATLAB

Link de descarga de la rutina en MATLAB, funciones y Excel de DATOS:

<https://drive.google.com/drive/folders/1uyLHF9FUyX0DJP2p-eKelxNYuztmYP0n?usp=sharing>

VIII. ANEXO B: GUÍA PAR USO DEL PROGRAMA

1. Descargar la rutina de MATLAB, con sus funciones y el archivo de Excel de DATOS; del link en el Anexo A. Guardar todo en la misma carpeta.
2. Abrir el programa principal en MATLAB y el archivo de Excel de nombre DATOS.
3. Ingrese las especificaciones deseadas sobre el hormigón a utilizar, esto es la resistencia a la compresión, la relación de Poisson y el peso específico en el recuadro que se observa en la Figura 29.

Hormigón Armado		
Criterio	Valor	Unidad
f_c	21	MPa
ν	0.20	-
γ_c	21.35	kN/m ³

Columna		
Criterio	Valor	Unidad
c_1	0.3	m
c_2	0.3	m

Viga		
Criterio	Valor	Unidad
b	0.3	m
h	0.2	m
w_v	22.125	kN/m

Mampostería		
Criterio	Valor	Unidad
f_m	1.85	MPa
ν_d	0.20	-
t	0.15	m
l_{vx}	2	m
h_{vx}	1	m
l_{vy}	0	m
h_{vy}	0	m
γ_m	12	kN/m ³

Figura 29. Propiedades del hormigón para utilizar en el programa.

4. Ingrese las dimensiones de la columna, como se indica en la Figura 30.

Hormigón Armado		
Criterio	Valor	Unidad
f'c	21	MPa
v	0.20	-
γc	21.35	kN/m ²

Columna		
Criterio	Valor	Unidad
c1	0.3	m
c2	0.3	m

Viga		
Criterio	Valor	Unidad
b	0.3	m
h	0.2	m
wv	22.125	kN/m

Mampostería		
Criterio	Valor	Unidad
f'm	1.85	MPa
vd	0.20	-
t	0.15	m
lvx	2	m
hvx	1	m
lvy	0	m
hvy	0	m
γm	12	kN/m ³

Figura 30. Dimensiones de la columna para utilizar el programa.

5. Ingrese las dimensiones de la viga y la carga sobreimpuesta en las vigas, debe colocar 2 veces el valor deseado en las vigas del perímetro de la estructura, como se observa en la Figura 31.

Hormigón Armado		
Criterio	Valor	Unidad
f'c	21	MPa
v	0.20	-
γc	21.35	kN/m ²

Columna		
Criterio	Valor	Unidad
c1	0.3	m
c2	0.3	m

Viga		
Criterio	Valor	Unidad
b	0.3	m
h	0.2	m
wv	22.125	kN/m

Mampostería		
Criterio	Valor	Unidad
f'm	1.85	MPa
vd	0.20	-
t	0.15	m
lvx	2	m
hvx	1	m
lvy	0	m
hvy	0	m
γm	12	kN/m ³

Figura 31. Dimensiones de la viga y carga sobre impuesta para utilizar el programa.

6. Ingrese las especificaciones de la mampostería, el espesor de la mampostería, las dimensiones de la apertura en ambas direcciones y el peso específico de la mampostería, como se observa en la Figura 32.

Hormigón Armado		
Criterio	Valor	Unidad
f'c	21	MPa
v	0.20	-
yc	21.35	kN/m ²
Columna		
Criterio	Valor	Unidad
c1	0.3	m
c2	0.3	m
Viga		
Criterio	Valor	Unidad
b	0.3	m
h	0.2	m
wv	22.125	kN/m
Mampostería		
Criterio	Valor	Unidad
f'm	1.85	MPa
vd	0.20	-
t	0.15	m
lvx	2	m
hvx	1	m
lvx	0	m
hvx	0	m
ym	12	kN/m ³

Figura 32. Propiedades, dimensiones, apertura y peso específico de la mampostería para utilizar el programa.

7. Ingresar el número de vanos en el eje X, en el eje Y, y el número de pisos elevados (no se cuenta la planta baja). Luego ingresar las luces de los vanos y la altura de entre piso, como se observa en la Figura 33.

Pórtico		
Criterio	Valor	Unidad
N_Bay_X	3	-
N_Bay_Y	2	-
N_Stories	6	-
Bay_X_Width	5	m
Bay_Y_Width	5	m
Story_Height	2.5	m

Existencia de Pared		
Criterio	Valor	Unidad
Pared	1	-

Pórticos con Pared			De	Hasta
Criterio	Valor	Unidad	Porticos X	Porticos Y
P1	1	-	1	3
P2	2	-	4	7
P3	3	-		
P4	4	-		
P5	7	-		
P6	0	-		
P7	0	-		
P8	0	-		
P9	0	-		
P10	0	-		
P11	0	-		
P12	0	-		

Figura 33. Dimensiones del pórtico tridimensional para utilizar el programa.

8. Indicar si se quiere muros en algún pórtico colocando el número 1 en la casilla, caso contrario colocar 0, como se observa en la Figura 34.

Pórtico		
Criterio	Valor	Unidad
N_Bay_X	3	-
N_Bay_Y	2	-
N_Stories	6	-
Bay_X_Width	5	m
Bay_Y_Width	5	m
Story_Height	2.5	m

Existencia de Pared		
Criterio	Valor	Unidad
Pared	1	-

Pórticos con Pared			De	Hasta
Criterio	Valor	Unidad	Porticos X	Porticos Y
P1	1	-	1	3
P2	2	-	4	7
P3	3	-		
P4	4	-		
P5	7	-		
P6	0	-		
P7	0	-		
P8	0	-		
P9	0	-		
P10	0	-		
P11	0	-		
P12	0	-		

Figura 34. Indicador de existencia de paredes para utilizar el programa.

9. Ingresar los pórticos que se desea contengan muros. La numeración de los pórticos empieza con los paralelos al eje X, y continua en el eje Y con el número siguiente al último pórtico en el eje X. La tabla y el gráfico a la izquierda permiten identificar que pórticos pertenecen a que eje, como se observa en la Figura 35.

Pórtico		
Criterio	Valor	Unidad
N_Bay_X	3	-
N_Bay_Y	2	-
N_Stories	6	-
Bay_X_Width	5	m
Bay_Y_Width	5	m
Story_Height	2.5	m

Existencia de Pared		
Criterio	Valor	Unidad
Pared	1	-

Pórticos con Pared		
Criterio	Valor	Unidad
P1	1	-
P2	2	-
P3	3	-
P4	4	-
P5	7	-
P6	0	-
P7	0	-
P8	0	-
P9	0	-
P10	0	-
P11	0	-
P12	0	-

	De	Hasta
Porticos X	1	3
Porticos Y	4	7

Figura 35. Indicador de pórticos con paredes de mampostería para utilizar el programa.

10. Colocar la carga horizontal de piso que se desea aplicar en la estructura, la numeración corresponde al piso elevado, las cargas al ser de tipo sismo, se aplican en amabas direcciones, X y Y, como se observa en la Figura 36.

Cargas de Piso		
Criterio	Valor	Unidad
E1	57.28	kN
E2	266.26	kN
E3	399.4	kN
E4	532.53	kN
E5	665.66	kN
E6	284.18	kN
E7	0	kN
E8	0	kN
E9	0	kN
E10	0	kN

Figura 36. Carga sísmica aplicada en el pórtico por piso para utilizar en el programa.