



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**INFLUENCIA DE LAS COLUMNAS FLOTANTES EN EL COMPORTAMIENTO
SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO**

Jorge Enrique Simbaqueba Jiménez

Luis Alexander Luna Jurado

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental

Medellín, Colombia

2019



**INFLUENCIA DE LAS COLUMNAS FLOTANTES EN EL COMPORTAMIENTO
SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO**

Jorge Enrique Simbaqueba Jiménez

Luis Alexander Luna Jurado

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesor:

I.C. M.Sc. Juan Fernando Velásquez Bedoya

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental

Medellín; Colombia

2019

TABLA DE CONTENIDO

.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ESTADO DEL ARTE.....	3
2. INFORMACIÓN GENERAL DEL MODELO MATEMÁTICO	8
2.1. DESCRIPCIÓN.....	8
2.2. GOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA.....	9
2.2.1. Geometría en planta.	9
2.2.2. Geometría en altura.....	11
2.2.3. Especificaciones técnicas de los materiales usados.....	12
2.2.4. Secciones de los elementos estructurales.....	12
2.3. MODELO 1. ESTRUCTURA CON COLUMNAS FLOTANTES.....	13
2.4. MODELO 2. ESTRUCTURA SIN COLUMNAS SIMÉTRICAS.....	14
3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.....	15
3.1. AMENAZA SÍSMICA.....	15
3.2. ANÁLISIS MODAL.....	16
4. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER).....	19
4.1. PROPUESTA DEL COMITÉ VISIÓN 2000	20
4.2. PROPUESTA DEL ATC-40.....	21
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	23
5.1. SECUENCIA DE FALLA	26
5.2. CURVAS PUSHOVER	27
5.3. CURVAS DE CAPACIDAD-DEMANDA	28
6. CONCLUSIONES.....	30
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Columnas flotantes sobre viga de Fachada (Behera, 2012)	2
Figura 2. Columna flotante – Discontinuidad vertical.....	8
Figura 3. Planta del primer nivel aéreo – Locales comerciales y plazoleta de comidas.....	9
Figura 4. Planta del segundo nivel aéreo – Sala de cine y oficinas	10
Figura 5. Planta del tercer nivel aéreo – Oficinas.....	10
Figura 6. Planta del cuarto nivel aéreo - Cubierta	11
Figura 7. Isométrico de la edificación.....	11
Figura 8. Pórtico C – Columnas flotantes (vista en elevación).....	13
Figura 9. Localización en planta de eje con columnas flotantes.....	14
Figura 10. Pórtico C – Columnas convencionales (vista en elevación).....	14
Figura 11. Zona de amenaza sísmica NSR – 10.	15
Figura 12. Espectro elástico de pseudo-aceleraciones, NSR – 10.	16
Figura 13. Periodos elásticos y factores de participación para el Modelo 1.....	17
Figura 14. Periodos elásticos y factores de participación para el Modelo 2.....	17
Figura 15. Modificadores de la inercia según el Reglamento FEMA 356.....	18
Figura 16. Formación de las rótulas plásticas – Modelo 1.	23
Figura 17. Formación de las rótulas plásticas – Modelo 2.	24
Figura 18. Formación de las rótulas plásticas – Pórtico C.....	25
Figura 19. Formación de las rótulas plásticas para el paso 5 – Pórtico C.....	27
Figura 20. Paso al cual se presenta el colapso	27
Figura 21. Curvas Pushover para la edificación, en dirección X y en Y	28
Figura 22. Curva capacidad-demanda para el Modelo 1	29
Figura 23. Curva capacidad-demanda para el Modelo 2	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de los elementos estructurales.....	12
Tabla 2. Coeficientes Aa y Fa, para periodos cortos	16
Tabla 3. Coeficientes Av y Fv, para periodos intermedios.....	16

RESUMEN

Son muchas las edificaciones en zonas de moderada y alta sismicidad que son construidas con elementos estructurales verticales que no presentan continuidad inferior en su eje vertical, estos elementos son conocidos como columnas flotantes. La razón de esto, usado dentro de la arquitectura de muchas edificaciones, es con el deseo de generar espacios amplios que den solución a condiciones arquitectónicas y de funcionalidad de las mismas. Sin embargo, este tipo de sistemas estructurales tienen un efecto importante en su respuesta sísmica, afectando la ductilidad por desplazamiento del edificio. En esta investigación se realiza una revisión de literatura y un caso de estudio sobre la influencia de las columnas flotantes en el comportamiento de estructuras aporticadas de concreto reforzado existentes. Se lleva a cabo un análisis no lineal estático de dos modelaciones matemáticas de una edificación y así, poder estimar el punto de desempeño con el fin de definir las implicaciones que estas columnas flotantes puedan llegar tener sobre la ductilidad de edificaciones aporticadas frente a eventos sísmicos, en aquellos casos en los que se esté llevando a cabo vulnerabilidades sísmicas de estructuras existentes o el diseño estructural de estructuras nuevas.

Palabras clave: Vulnerabilidad Sísmica; Análisis estático no lineal, Pushover; Columnas flotantes, Mecanismo de Falla; Ductilidad.

ABSTRACT

Lots of multistory buildings in zones of moderate and high seismicity are constructed with vertical structural elements without any continuity in their axial axes known as floating columns. Its use into our modern architecture is for getting more space, giving solutions for aesthetic purposes and functionality of the structures themselves. However, this kind of structural elements play an important role in the seismic response of a building, influencing on its displacement ductility. Two idealized cases of study of a four-story RC frame building with and without floating columns have been developed, comparing all results through a static nonlinear analysis, with the aim of getting the performance point and some of the implications those columns may have on the displacement ductility of frame buildings subject to ground movements, in cases of seismic vulnerability of existing structures or of structural design of new ones.

Keywords: Seismic Vulnerability; Static Nonlinear Analysis, Floating Columns; Failure Mechanisms; Displacement Ductility.

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras con columnas flotantes, para generar espacios amplios, son una característica que va en aumento dentro de la arquitectura moderna en varios países y no es la excepción en nuestro país. Esta es una condición que se considera poco deseable en estructuras que se encuentran ubicadas en zonas de alta sismicidad, debido a las modificaciones en la respuesta dinámica de las estructuras.

Además, cabe mencionar que el uso de columnas flotantes en estructuras también presenta restricciones dentro de la normatividad colombiana, NSR -10 y deben diseñarse como elementos completamente elásticos; sin embargo, en la práctica se observa que son bastante utilizadas y sobre todo en aquellas estructuras que requieren de espacios amplios como es el caso de centros comerciales, auditorios, entre otros.

En general, una columna es un elemento estructural vertical que inicia en la base de una estructura y tiene continuidad en su eje vertical, hasta la parte superior de la misma (Bhensdadia y Shah 2015). Su función es la de transferir las cargas provenientes de las losas de entrepiso de una edificación hasta el suelo.

Una columna flotante, sigue siendo un elemento estructural vertical; aunque, a diferencia de una columna convencional, no presenta continuidad inferior en su eje vertical, ya que, debido a una arquitectura específica o una condición especial de la edificación, se pierde la misma. Por tal motivo, esta columna debe descansar sobre un elemento estructural horizontal (comúnmente, sobre una viga), el cual a su vez hace la transferencia de las cargas a las columnas donde se encuentra apoyado (Behera 2012). En zonas de alta sismicidad, las vigas sobre las cuales descansa una o más columnas flotantes deben tener un diseño acorde a las solicitaciones que deberá soportar, de tal forma que deben contar con unas dimensiones adecuadas que aporten rigidez para soportar las deformaciones a las que puede llegar a estar sometidas, y que aporten resistencia para soportar la

carga puntual que transmiten estas columnas. La carga transmitida por la columna flotante se considera como una carga puntual (Sarode y pote, 2016).

Los nuevos retos que impone la arquitectura moderna, en su afán de generar espacios amplios en las edificaciones, o con condiciones especiales para su uso, hacen más común la utilización de este tipo de columnas, creando estructuras que pueden presentar un comportamiento con una respuesta crítica ante un evento sísmico. Aunque estas edificaciones se diseñen con un alto nivel de ingeniería estructural, siempre será más seguro utilizar arquitecturas simples y simétricas, que tengan un comportamiento más previsible y que generen seguridad a sus usuarios. En la Figura, se observa una estructura con columnas flotantes que descansan sobre una viga.

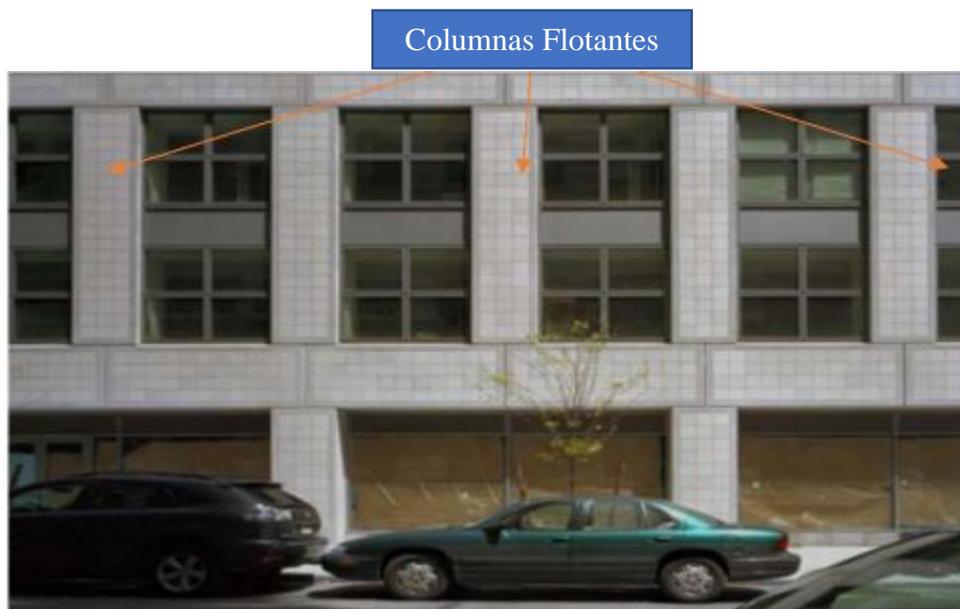


Figura 1. Columnas flotantes sobre viga de Fachada (Behera, 2012)

En el desarrollo de esta investigación se realizará el análisis de dos modelos de una misma edificación de concreto reforzado. En el primer modelo, se contempla la edificación con sus columnas dispuestas convencionalmente; es decir, con una continuidad hasta el nivel de fundación; y un segundo modelo, considerando el uso de columnas flotantes en algunos sectores de la edificación. Para ambos modelos, se realizará un análisis estático no lineal en el que se

proporciona la curva de capacidad de la estructura, presentando así, el punto de desempeño y se observa el estado de daños sucesivos del edificio (Bhensdadia y Shah 2015).

El objetivo de este documento es analizar el efecto que tiene el uso de columnas flotantes en el comportamiento sísmico de edificaciones aporticadas de concreto reforzado, mediante el análisis de un análisis estático no lineal que considere tanto la condición de este tipo de columnas como las del tipo convencional; y así, poder estimar el punto de desempeño con el fin de definir las implicaciones que estas columnas flotantes puedan llegar tener sobre la ductilidad de edificaciones aporticadas frente a eventos sísmicos, en aquellos casos en los que se esté llevando a cabo vulnerabilidades sísmicas de estructuras existentes. Adicional a ello, analizar los resultados encontrados y realizar recomendaciones para edificaciones que vayan a ser repotenciadas con estos tipos de elementos.

1.1. ESTADO DEL ARTE

Las columnas, como elementos estructurales primarios, ya bien sea para soportar las cargas verticales y/o laterales, juegan un papel bastante importante en el análisis y diseño de edificaciones aporticadas. Estos elementos proporcionan, no sólo rigidez frente a las solicitaciones provenientes de movimientos del terreno, sino también provenientes de aquellas cargas verticales de las losas de entrepiso. A pesar de la importancia de estos elementos, es bastante común en nuestra práctica ingenieril encontrar columnas sin continuidad inferior vertical, y simplemente, descansando sobre un elemento horizontal (comúnmente sobre una viga); y existen pocos estudios realizados llevando a cabo análisis estáticos no lineales al respecto.

Behera (2012), analizó el comportamiento sísmico de edificios de varios pisos, con columnas flotantes y con diferentes alturas, sometidos a diferentes intensidades de sismos, en donde supuso que la base del edificio está empotrada. Analizó el comportamiento de los pórticos modificando las secciones de las columnas; y concluyó que, con el aumento de las secciones de columnas en la planta baja, se reducen los desplazamientos laterales, las derivas entre pisos, el cortante en la base y los momentos.

Mundada y Sawdatkar (2014), realizaron en su estudio un análisis sísmico comparativo entre edificios de diferentes alturas con y sin presencia de columnas flotantes. En este, se analizaron los efectos de columnas flotantes y otras no flotantes tenían por la redistribución de tensiones. El objetivo de su estudio fue mejorar la respuesta sísmica y el diseño apropiado de un edificio con columnas flotantes.

Nanabala, Ramancharla, y Arunakanthi (2014)., en su trabajo estudiaron el comportamiento de edificaciones con columnas convencionales y edificaciones con columnas flotantes, para fuerzas laterales externas, modelados matemáticamente en el software comercial SAP 2000. Adicionalmente, analizaron la variación de la respuesta en ambas estructuras afectándolas por las intensidades de sismos pasados; y así, poder observar si la estructura con columnas flotantes es segura en áreas sísmicamente activas.

Bandwal, Pande, Mendhe y Yadav (2014), en su investigación, proponen el diseño y análisis de edificaciones en concreto reforzado, apoyándose en el programa comercial STAAD-PRO, incluyéndoles complejidades arquitectónicas y estructurales entre las cuales están columnas flotantes internas, externas y su combinación, en diferentes zonas de amenaza sísmica. Se concluyó que se pueden incrementar los desplazamientos laterales y que algunas combinaciones de carga se vuelven críticas dependiendo la configuración y ubicación de las columnas flotantes dentro del modelo matemático. Además, la torsión de la planta baja aumenta en el primer piso, y va disminuyendo hacia los pisos superiores.

Bhensdadia, H., y Shah (2015), analizaron la respuesta sísmica de tres estructuras de concreto reforzado que incluían columnas flotantes y piso débil, por medio del análisis Pushover, llevándolas hasta el punto de falla para determinar su ductilidad. Además, se comparó el cortante en la base y los desplazamientos laterales en los pórticos, en diferentes zonas sísmicas; todo esto, haciendo uso del programa comercial SAP 2000, para su modelación y análisis.

Chakra Varthy (2015), para el desarrollo de su estudio, tuvieron en cuenta el análisis de una estructura de seis (6) pisos en concreto reforzado. Se realizaron los análisis considerando columnas convencionales y columnas flotantes en la estructura. Su objetivo principal se centró en hacer algunas recomendaciones para un diseño económico y seguro de edificios con columnas flotantes, ya que no existían disposiciones en los códigos de diseño para este tipo de condiciones. Concluyeron que un edificio con columnas simétricas presenta una respuesta más eficiente que un edificio con columnas flotantes. También pudieron determinar que la presencia de columnas flotantes en los sectores periféricos de una estructura presenta mayores desplazamientos laterales, comparado con el caso en que estas estuviesen ubicadas en la parte central de la misma. Sus modelaciones se realizaron en el programa ETABS.

Rohilla, Gupta y Saini (2015). Su estudio planteó el análisis de dos modelos matemático de seis (6) pisos con irregularidad en altura y con presencia de columnas flotantes, en los cuales se verificó que tan crítica puede ser la ubicación de las columnas flotantes dependiendo de su posición. También se analizó la respuesta de la estructura cuando se aumentó el tamaño de vigas y columnas, determinando reducciones de desplazamientos y las derivas de piso.

Udhav, Shaikh y Ravi (2015). En su estudio plantearon analizar una estructura de 11 pisos, a la cual se le realizaron varios modelos matemáticos, en los cuales se ubicaron en diferentes posiciones las columnas flotantes. Su objetivo era estudiar el cortante y la deriva en la base de columnas flotantes que se ubicaban en los sectores periféricos de la estructura. Concluyeron que el cortante y los desplazamientos aumentan o disminuyen, teniendo en cuenta la orientación y ubicación de las columnas dentro del sistema estructural.

Sarode y Pote (2016). Analizaron tres (3) modelos matemáticos de una estructura de 10 pisos, los cuales correspondían a una estructura convencional con columnas dispuesta simétricamente, uno con columnas flotantes y otro con columnas flotantes y vigas compuestas, apoyándose en el programa ETABS. Concluyeron que la fuerza cortante en la base era máxima en la base y disminuyó al mínimo en la planta superior en los modelos analizados. También se observó que

los modelos con columnas flotantes presentan un desplazamiento lateral máximo, por lo tanto, los sistemas estructurales se vuelven más flexibles.

Waykule, Pise, Deshmukh, Pawar, Kadam, Mohite y Lale (2016). Presentan el análisis de dos (2) estructuras en concreto reforzado de seis (6) pisos. La primera contempla columnas simétricas y otra con la presencia de columnas flotantes. Su objetivo fue comparar la respuesta modal de los dos modelos. También compararon el cortante en la base, la deriva de piso y el desplazamiento de piso. Concluyeron que el desplazamiento en la base es mayor en la estructura con columnas flotantes, al igual que la deriva de piso. Además, observaron que la ubicación de las columnas flotantes dentro del sistema estructural modifica la respuesta dinámica del modelo.

Agrawal, Garg, Nagar y Chandwani (2016), en su estudio, proponen alternativas para mejorar el comportamiento sísmico de estructuras que cuentan con columnas flotantes dentro de su configuración. Para la investigación se tomó como ejemplo un edificio en concreto reforzado al cual se le realizaron nueve modelos matemáticos y se incluyeron varias alternativas de reforzamiento. Dentro de las posibles soluciones se planteó construir muros de cortante, y arriostramientos laterales, con los cuales se logró reducir la deriva, la irregularidad de la rigidez y la discontinuidad en la dirección de las cargas al nivel del suelo.

Abhinay, Rao, y Ghorpade (2017), en su estudio, analizaron dos estructuras de seis (6) y doce (12) pisos, las cuales presentaban columnas normales y columnas flotantes para los diferentes tipos de modelos. Los modelos se analizan eliminando las columnas periféricas en el primer piso. Los parámetros que se tuvieron en cuenta en el análisis son los desplazamientos de piso, cortante de piso y momento de giro. Se pudo concluir que los modelos con columnas flotantes presentaron mayores desplazamientos que los modelos con columnas simétricas. Se realizó una comparación entre la cantidad de concreto y acero en los modelos y se confirmó que un edificio con columnas flotantes requiere 40%, más de cantidad de acero y 42%, más en cantidad de concreto, para alcanzar las secciones adecuadas para mejorar la respuesta sísmica de los mismos. Por lo tanto, se concluye que estos sistemas no son económicos en comparación al costo de un edificio normal.

Sri, Yajdani (2017), para su estudio, eligieron un edificio de varios pisos, analizado para tres (3) casos según la ubicación de las columnas flotantes, utilizando el programa ETABS. Este análisis se realizó con el fin de estudiar la respuesta de la estructura al ser afectada por la fuerza sísmica. Se concluye que los sistemas con columnas flotantes aumentan su periodo debido a la disminución de la rigidez. También aumenta el cortante de piso y los momentos flectores debido a las columnas flotantes.

Maitra y Serker (2018), en este trabajo, se analizó un edificio de diez (10) pisos en concreto reforzado y realizaron 5 modelos matemáticos entre los cuales se consideró un (1) modelo con columnas simétricas y otros cuatro modelos en donde se cambió la ubicación de las columnas flotantes y también se modificó su sección. Se verificó que se aumentaba el periodo fundamental de las estructuras; y así, disminución de la rigidez lateral. Se comprobó que existe la posibilidad de irregularidades torsionales y aumento del desplazamiento lateral.

2. INFORMACIÓN GENERAL DEL MODELO MATEMÁTICO

En esta sección se describirá la edificación a modelar. Como objetivo de este trabajo está la comparación de dos modelaciones. La primera de ellas, con discontinuidad vertical de algunas columnas (columnas flotantes) y la otra, con continuidad vertical de las mismas columnas. A continuación, se hará una descripción de la geometría y las propiedades mecánicas.

2.1. DESCRIPCIÓN

El proyecto analizado comprende una estructura de cuatro (4) pisos, aporticado en concreto reforzado que se construyó para ser usado como Centro comercial, y está conformado por locales comerciales en el primer y segundo piso, y en su tercer y cuarto piso para el funcionamiento de Salas de Cine y oficinas. Por motivos de confidencialidad de la información no se hará referencia al nombre de este y se limitará a realizar los análisis que son motivo del alcance de esta monografía.

El planteamiento del sistema estructural para esta edificación es un sistema estructural de pórticos de concreto reforzado, resistentes a momento, ubicado en una zona de amenaza sísmica intermedia. En la Figura 2 muestra columnas flotantes en una edificación como las que se van a analizar en esta monografía, puede observarse que no tienen continuidad en el eje vertical y están transfiriendo su carga puntual a un elemento horizontal.



Figura 2. Columna flotante – Discontinuidad vertical

2.2. GOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA

2.2.1. Geometría en planta.

El modelo cuenta con una geometría en planta compuesta por cinco (5) luces en el sentido X (distancia horizontal), una luz central de 16 m y a sus respectivos lados, luces de 9.50 m y 6.0 m, para un total de 47 m. En dirección Y (distancia vertical), la edificación cuenta con cinco (5) luces, con tres luces centrales de 10.5 m y dos luces extremas de 6.0 m, para un total de 43.5 m.

La estructura presenta losas aligeradas bidireccionales en concreto reforzado, para un espesor equivalente de 0.25 m. En la Figura 3, la Figura 4, la Figura 5 y la Figura 6 se muestran los niveles de entrepiso idealizados matemáticamente mediante el software comercial SAP2000 v.14.

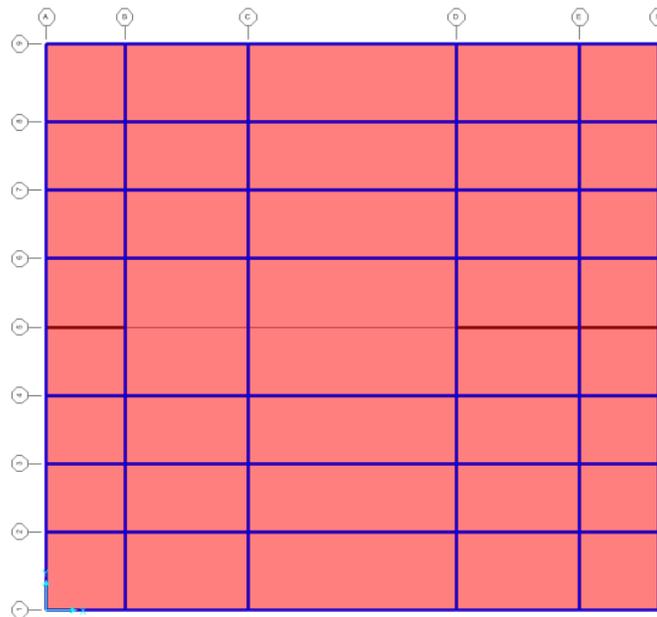


Figura 3. Planta del primer nivel aéreo – Locales comerciales y plazoleta de comidas

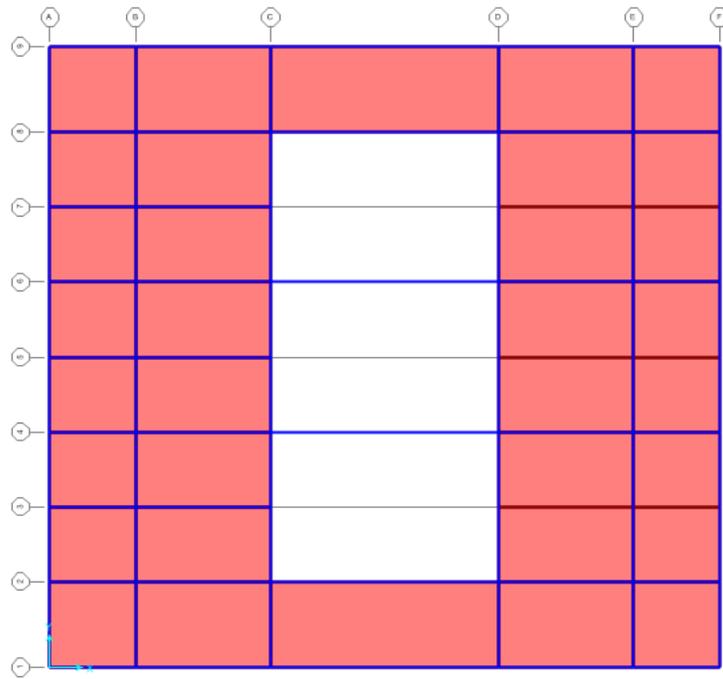


Figura 4. Planta del segundo nivel aéreo – Sala de cine y oficinas

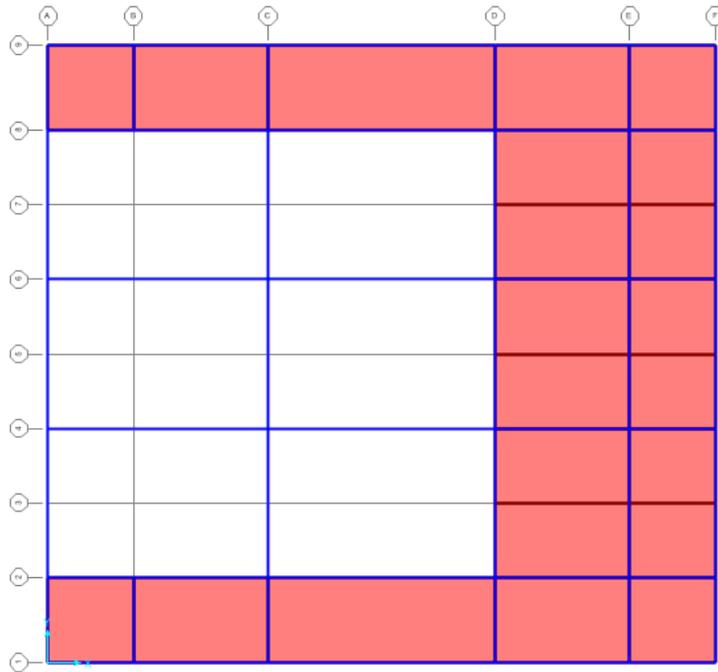


Figura 5. Planta del tercer nivel aéreo – Oficinas

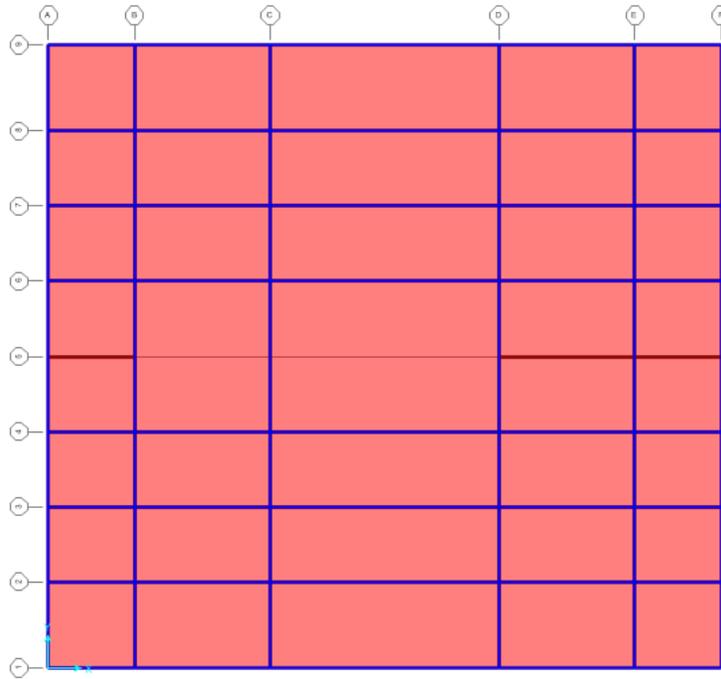


Figura 6. Planta del cuarto nivel aéreo - Cubierta

2.2.2. Geometría en altura.

El modelo cuenta con cuatro (4) niveles aéreos, cada uno con una altura entrepiso de 5.0 m, para una altura de 20m. En la Figura 7 se muestra un isométrico de la modelación.

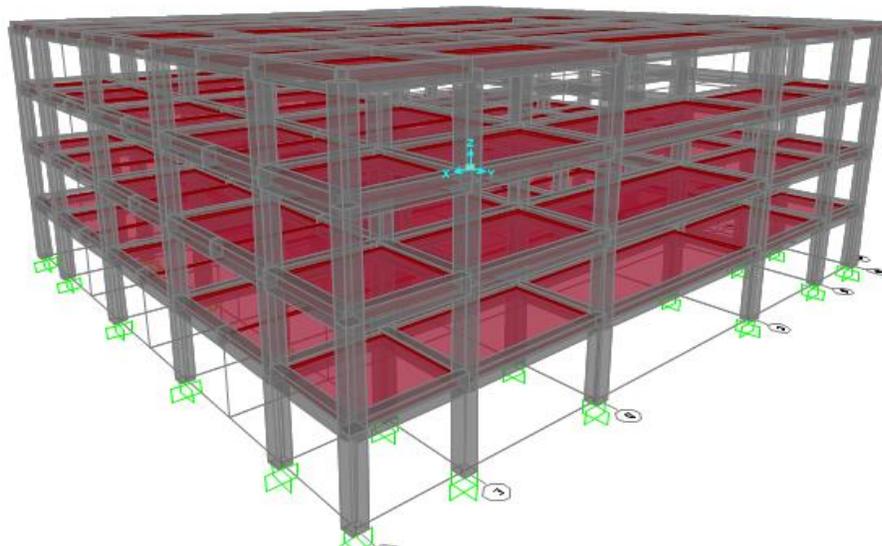


Figura 7. Isométrico de la edificación

2.2.3. Especificaciones técnicas de los materiales usados.

2.2.3.1. Concreto.

Se utilizaron las siguientes propiedades para el concreto en el análisis de los diferentes elementos estructurales. Las resistencias se relacionan a continuación:

Losa:	21 MPa
Vigas:	28 MPa
Columnas:	28 MPa

2.2.3.2. Acero de refuerzo.

En este análisis se utilizó barras de acero de refuerzo corrugado de baja aleación, que cumplan con la norma NTC 2289 (ASTM A706M), resistencia a la fluencia mínima f_y de 420 MPa y resistencia a la tracción última de f_u de 550 MPa.

2.2.3.3. Cuantías de refuerzo

Para las dos (2) modelaciones se tuvieron en cuenta las siguientes cuantías de refuerzo. Todas las vigas, para momento flector negativo y positivo se tuvo en cuenta un valor de cuantía de 0.015 y 0.012, respectivamente. Las columnas flotantes, una cuantía de 0.01; las demás columnas (80 x 80) se distribuyeron de la siguiente manera: en el primer piso y segundo piso, 0.02; tercer piso, 0.015 y último piso, 0.01. Todos los elementos estructurales, en las zonas de rótulas plásticas, tienen un espaciamiento de 0.10 m, valor que es bastante común en edificaciones de este tipo.

2.2.4. Secciones de los elementos estructurales.

Para el diseño estructural de las dos modelaciones matemáticas, se utilizaron las siguientes secciones de elementos estructurales de concreto reforzado para vigas y columnas:

Tabla 1. Dimensiones de los elementos estructurales

Elemento	Sección (cm)
Viga	60 x 100
Columnas convencionales	80 x 80
Columnas flotantes	60 x 60

2.3. MODELO 1. ESTRUCTURA CON COLUMNAS FLOTANTES.

Este modelo representa la condición actual de la edificación construida. Posiblemente, debido a la necesidad arquitectónica de generar espacios amplios en algunos sectores de la edificación, se realiza la transferencia de cargas verticales a través de columnas flotantes. La única diferencia del “MODELO 1. CON COLUMNAS FLOTANTES” con respecto al “MODELO 2. SIN COLUMNAS FLOTANTES” radica en un eje (paralelo al eje vertical), en el cual se encuentran las columnas flotantes naciendo en el segundo nivel de entrepiso aéreo, como se muestra en la Figura 8.

En la Figura 9 se muestra, en planta, la localización del eje C en el cual se encuentran las columnas flotantes.

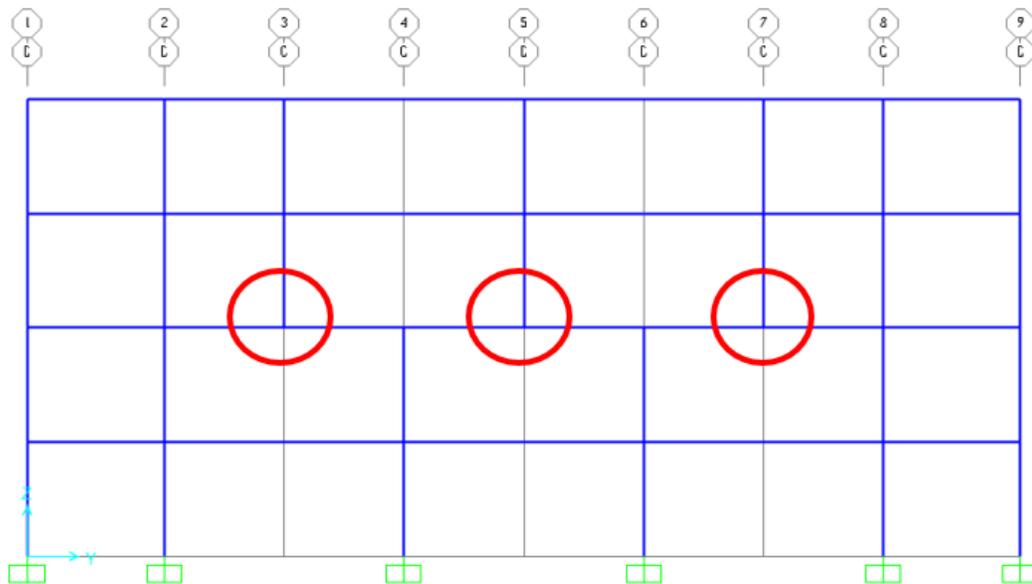


Figura 8. Pórtico C – Columnas flotantes (vista en elevación)

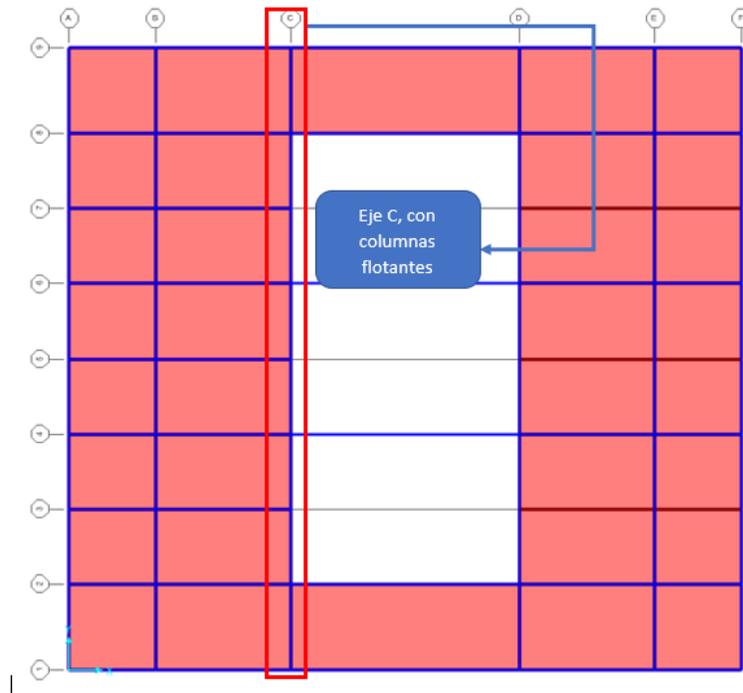


Figura 9. Localización en planta de eje con columnas flotantes

2.4. MODELO 2. ESTRUCTURA SIN COLUMNAS SIMÉTRICAS

Este modelo tiene la misma configuración estructural que el modelo 1, exceptuando que ya en este sí se presenta una continuidad vertical de las columnas en el eje donde se presentaban las columnas flotantes, como se muestra en la Figura 10.

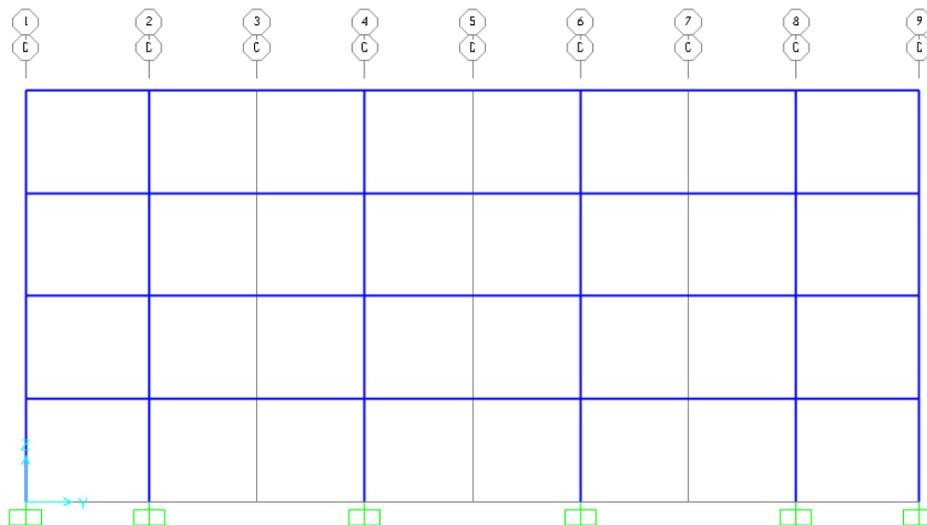


Figura 10. Pórtico C – Columnas convencionales (vista en elevación)

3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

3.1. AMENAZA SÍSMICA

Para el análisis de las dos (2) modelaciones, como se mencionó anteriormente, se tomó una amenaza sísmica intermedia, lo que implicaría decir que la estructura podría estar ubicado en el Municipio de Medellín o en cualquier otra municipalidad de Colombia con este mismo nivel de amenaza. La Figura 11 muestra el mapa de amenaza sísmica de Colombia, tomado del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

Para propósitos del análisis y con el fin de caracterizar la demanda sísmica y tener un espectro de pseudo-aceleraciones, se tomará un perfil de suelo tipo C, según lo establecido en el Reglamento NSR-10. En la Tabla 2 y en la Tabla 3 se muestran los valores de los coeficientes para la zona de periodos cortos y periodos intermedios del espectro, respectivamente.

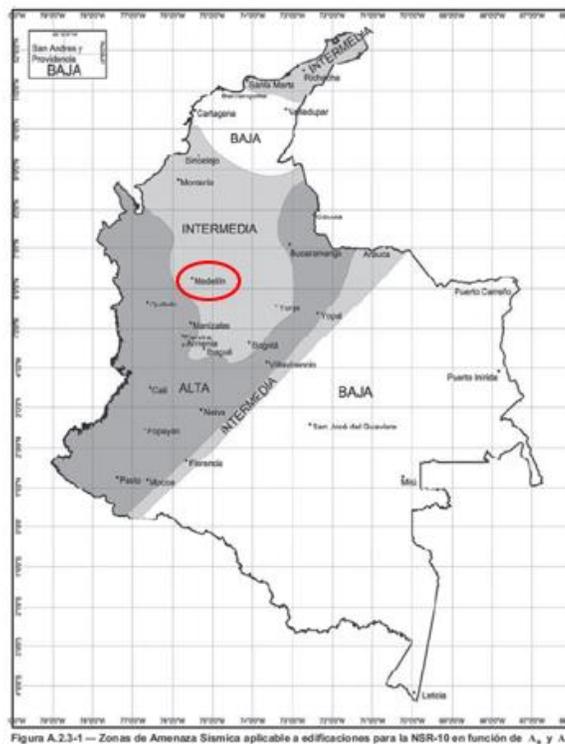


Figura 11. Zona de amenaza sísmica NSR – 10.

Tabla 2. Coeficientes A_a y F_a , para periodos cortos

Aceleración horizontal pico efectiva, A_a :	0.15
Coefficiente de amplificación del suelo, F_a :	1.20

Tabla 3. Coeficientes A_v y F_v , para periodos intermedios

Velocidad horizontal pico efectiva, A_v :	0.20
Coefficiente de amplificación del suelo, F_a :	1.20

De acuerdo con la Tabla A.2.5-1 del Reglamento NSR-10, esta estructura corresponde a un grupo de uso II, estructuras de ocupación especial, almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso. Lo anterior implica modificar el espectro de pseudo-aceleraciones por un factor de 1.1.

Finalmente, el espectro de pseudo-aceleraciones, que caracteriza la demanda sísmica a la que la estructura se verá afectada, está mostrado en la

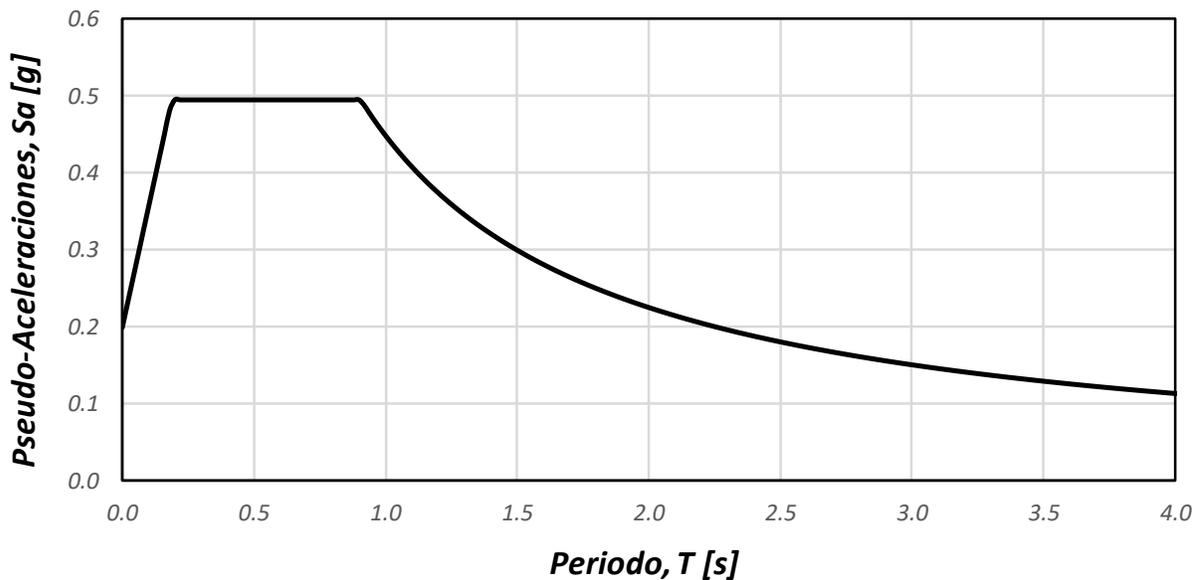


Figura 12. Espectro elástico de pseudo-aceleraciones, NSR – 10.

3.2. ANÁLISIS MODAL

Del análisis modal espectral, se obtuvieron los periodos elásticos y los porcentajes de masa participativa para los modelos 1 y 2 (ver secciones 2.3 y 2.4, respectivamente), ver la Figura 13 y

la Figura 14. Se aseguró que para las dos modelaciones se obtuviese la cantidad suficiente de modos de vibración para obtener como mínimo un 90 % de la masa de la edificación.

Puede observarse que, a pesar de tener una discontinuidad de las columnas sobre el eje C, los periodos elásticos de las dos (2) modelaciones son prácticamente iguales, implicando que la discontinuidad no tiene influencia sobre la respuesta global de la estructura, elásticamente hablando. Los valores de la masa participativa son 78 % y 83 % en dirección X y en dirección Y, para los dos (2) análisis, respectivamente.

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
MODAL	Mode	1	0.875538	0.000409	0.78398	1.933E-10	0.000409	0.78398	1.933E-10
MODAL	Mode	2	0.872522	0.83061	0.0004	2.669E-07	0.831019	0.78438	2.671E-07
MODAL	Mode	3	0.748523	2.137E-06	0.047117	9.021E-12	0.831021	0.831497	2.671E-07
MODAL	Mode	4	0.47554	1.361E-06	4.522E-18	0.028797	0.831022	0.831497	0.028797
MODAL	Mode	5	0.470818	1.013E-13	8.881E-08	3.402E-10	0.831022	0.831497	0.028797
MODAL	Mode	6	0.46692	9.669E-09	6.042E-15	0.001051	0.831022	0.831497	0.029848
MODAL	Mode	7	0.30457	0.111947	5.541E-06	2.222E-06	0.94297	0.831502	0.02985
MODAL	Mode	8	0.304143	5.552E-06	0.118823	5.37E-10	0.942975	0.950326	0.02985
MODAL	Mode	9	0.301159	8.862E-06	2.307E-09	0.000629	0.942984	0.950326	0.030479
MODAL	Mode	10	0.300966	0.000135	4.765E-10	0.000322	0.943119	0.950326	0.030801
MODAL	Mode	11	0.299378	4.71E-11	0.002612	1.231E-07	0.943119	0.952938	0.030801
MODAL	Mode	12	0.299071	6.631E-10	3.825E-08	7.327E-10	0.943119	0.952938	0.030801
MODAL	Mode	13	0.298486	0.000238	2.885E-09	0.048473	0.943357	0.952938	0.079273
MODAL	Mode	14	0.298207	0.007024	4.918E-09	0.000108	0.950381	0.952938	0.079381
MODAL	Mode	15	0.297231	3.8E-05	9.42E-10	0.000162	0.950419	0.952938	0.079544
MODAL	Mode	16	0.29596	7.493E-09	1.278E-09	0.000285	0.950419	0.952938	0.079828
MODAL	Mode	17	0.295629	0.000296	5.367E-10	0.040701	0.950714	0.952938	0.12053
MODAL	Mode	18	0.295536	1.76E-10	5.839E-06	6.28E-09	0.950714	0.952944	0.12053

Figura 13. Periodos elásticos y factores de participación para el Modelo 1

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
MODAL	Mode	1	0.879424	4.9E-05	0.788369	4.344E-12	4.9E-05	0.788369	4.344E-12
MODAL	Mode	2	0.87126	0.831726	5.2E-05	3.566E-08	0.831776	0.78842	3.566E-08
MODAL	Mode	3	0.749848	2.305E-06	0.039776	2.623E-12	0.831778	0.828197	3.567E-08
MODAL	Mode	4	0.475522	6.761E-07	1.647E-14	0.028854	0.831779	0.828197	0.028854
MODAL	Mode	5	0.470816	1.888E-14	8.102E-09	2.97E-10	0.831779	0.828197	0.028854
MODAL	Mode	6	0.466932	9.017E-09	1.232E-14	0.001034	0.831779	0.828197	0.029888
MODAL	Mode	7	0.30546	7.075E-07	0.124498	4.113E-09	0.831779	0.952695	0.029888
MODAL	Mode	8	0.303351	0.106803	9.377E-07	9.7E-05	0.938583	0.952696	0.029985
MODAL	Mode	9	0.301162	2.4E-05	1.363E-09	0.00061	0.938607	0.952696	0.030595
MODAL	Mode	10	0.300981	0.000238	9.017E-10	0.00017	0.938844	0.952696	0.030764
MODAL	Mode	11	0.299396	1.15E-10	0.001868	1.108E-07	0.938844	0.954564	0.030764
MODAL	Mode	12	0.29907	7.857E-10	2.2E-05	9.017E-11	0.938844	0.954566	0.030764
MODAL	Mode	13	0.298442	0.000272	2.559E-09	0.041279	0.939117	0.954566	0.072044
MODAL	Mode	14	0.298101	0.010748	1.287E-08	4.6E-05	0.949865	0.954566	0.07209
MODAL	Mode	15	0.297224	0.000103	2.841E-10	3.2E-05	0.949967	0.954566	0.072122
MODAL	Mode	16	0.295955	2.487E-06	7.902E-10	0.001263	0.94997	0.954566	0.073385
MODAL	Mode	17	0.295522	2.966E-11	1.2E-05	9.193E-10	0.94997	0.954566	0.073385
MODAL	Mode	18	0.295318	0.000428	2.397E-09	0.03061	0.950398	0.954566	0.103995

Figura 14. Periodos elásticos y factores de participación para el Modelo 2

La Figura 15 muestra la modificación a la inercia estipulada en el Reglamento FEMA 356 para las vigas y columnas de concreto reforzado de la edificación.

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0.4
Shear Area in 3 direction	0.4
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	0.98
Weight	0.98

Figura 15. Modificadores de la inercia según el Reglamento FEMA 356

4. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER)

Es importante llevar a las estructuras a sus límites de falla ante la presencia de un evento sísmico, con el fin de obtener datos más confiables para la toma de decisiones que mejoren la seguridad de los ocupantes de las distintas edificaciones. Adicionalmente, es necesario determinar cuáles son las condiciones a las que se ve sometida una construcción para que todos sus elementos fallen o lleguen a un límite en el que no puedan recuperar sus características de resistencia.

Para establecer el comportamiento sísmico esperado en la edificación, debe asignarse un objetivo de desempeño que se define como la selección de un nivel de desempeño del edificio deseado para un determinado movimiento sísmico. Para este caso, el nivel de desempeño deseado es aquel dado por el Reglamento NSR-10, el cual está en función de la seguridad de los ocupantes de la edificación, teniendo en cuenta como mínimo un nivel de desempeño de seguridad a la vida. Existen otros niveles de desempeño de grado menor al anterior expuesto que están en función del daño de los elementos estructurales y no estructurales.

El objetivo primordial de este análisis es el de evaluar el desempeño sísmico empleando un análisis Pushover del edificio, procedimiento de análisis no lineal basado en espectros de demanda-capacidad, siguiendo las consideraciones del ASCE 41-13 y FEMA 440; y así, obtener la curva capacidad de la estructura para la estimación de la respuesta sísmica y evaluar el desempeño estructural para la amenaza sísmica dada por el Reglamento.

El desempeño sísmico se cuantifica en términos de la cantidad de daño en un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento. Este concepto no es sólo aplicable a edificios, sino que puede ser extendido a todo tipo de estructuras e incluso a sus componentes no estructurales y contenidos.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los niveles establecidos por dos de los trabajos más completos realizados hasta el momento: el ATC-40 y el comité VISION 2000.

4.1. PROPUESTA DEL COMITÉ VISIÓN 2000

Este comité define cuatro niveles de desempeño que identifica a través de los siguientes calificadores:

- **Totalmente operacional:** corresponde a un nivel en el cual no ocurren esencialmente daños. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

Operacional: en este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.

- **Seguridad:** está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir cargas laterales adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje; sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual, es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico.
- **Próximo al colapso:** la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallos.

4.2. PROPUESTA DEL ATC-40

Los niveles de desempeño definidos por el ATC-40 para las estructuras, corresponden a una combinación de los niveles utilizados para los elementos estructurales y los niveles correspondientes a los elementos no estructurales, ambos definidos de forma independiente. A continuación, se describen estos 6 niveles de desempeño.

- Ocupación inmediata, SP-1: los daños son muy limitados y de tal magnitud, que el sistema resistente de cargas laterales y verticales permanece prácticamente en las mismas condiciones de capacidad y resistencia que antes de ocurrido el sismo. No se presentan pérdidas de vidas humanas y la estructura funciona con normalidad.
- Daño controlado, SP-2: corresponde a un estado de daño que varía entre los límites de ocupación inmediata y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que éstos puedan verse afectados.
- Seguridad, SP-3: los daños después del sismo no agotan por completo los márgenes de seguridad existentes frente a un posible colapso parcial o total de la estructura. Pueden producirse algunos heridos tanto en el interior como en el exterior; sin embargo, el riesgo de la vida de los ocupantes debido a un fallo de los elementos estructurales es muy bajo. Es posible que sea necesario reparar la estructura antes de ser ocupada de nuevo, siempre y cuando sea factible y rentable desde el punto de vista económico.
- Seguridad limitada, SP-4: corresponde a un estado de daño entre los niveles de seguridad y estabilidad estructural, en el que algunas partes de la estructura pueden requerir un reforzamiento para poder garantizar el nivel de seguridad.
- Estabilidad estructural, SP-5: este nivel corresponde al estado de daño límite después de ocurrido un sismo en el cual el sistema estructural está muy cerca de experimentar un colapso parcial o total. Se producen daños sustanciales, pérdida de rigidez y resistencia en

los elementos estructurales. A pesar de que el sistema de cargas verticales continúa funcionando, hay un alto riesgo de que se produzca el colapso por causa de posibles replicas. Es muy probable que los daños en las estructuras más antiguas sean técnica y económicamente irreparables.

En el estudio mencionado no se especifica explícitamente las propiedades de la rótula plástica para los elementos estructurales y, ya que el programa SAP2000 solo trae las propiedades predeterminadas de las rótulas plásticas para vigas y columnas en acero y concreto, se definen las rótulas plásticas de acuerdo con los parámetros establecidos por el reglamento FEMA 256 y se ejecuta el análisis pushover, con el fin de obtener la carga máxima lateral que pueden soportar los pórticos y el punto de desempeño.

De una manera muy general podemos plantear el procedimiento de análisis no lineal de la siguiente manera:

- Creación del modelo computacional
- Definición de rotulas plásticas
- Definición de casos de cargas del análisis Pushover
- Estimación del punto de desempeño

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los parámetros definidos en la sección anterior, se realizaron las dos (2) modelaciones en SAP2000 v.14 y se obtuvieron los resultados del análisis.

En la Figura 16 se muestra la formación de las rótulas plásticas del Modelo 1.

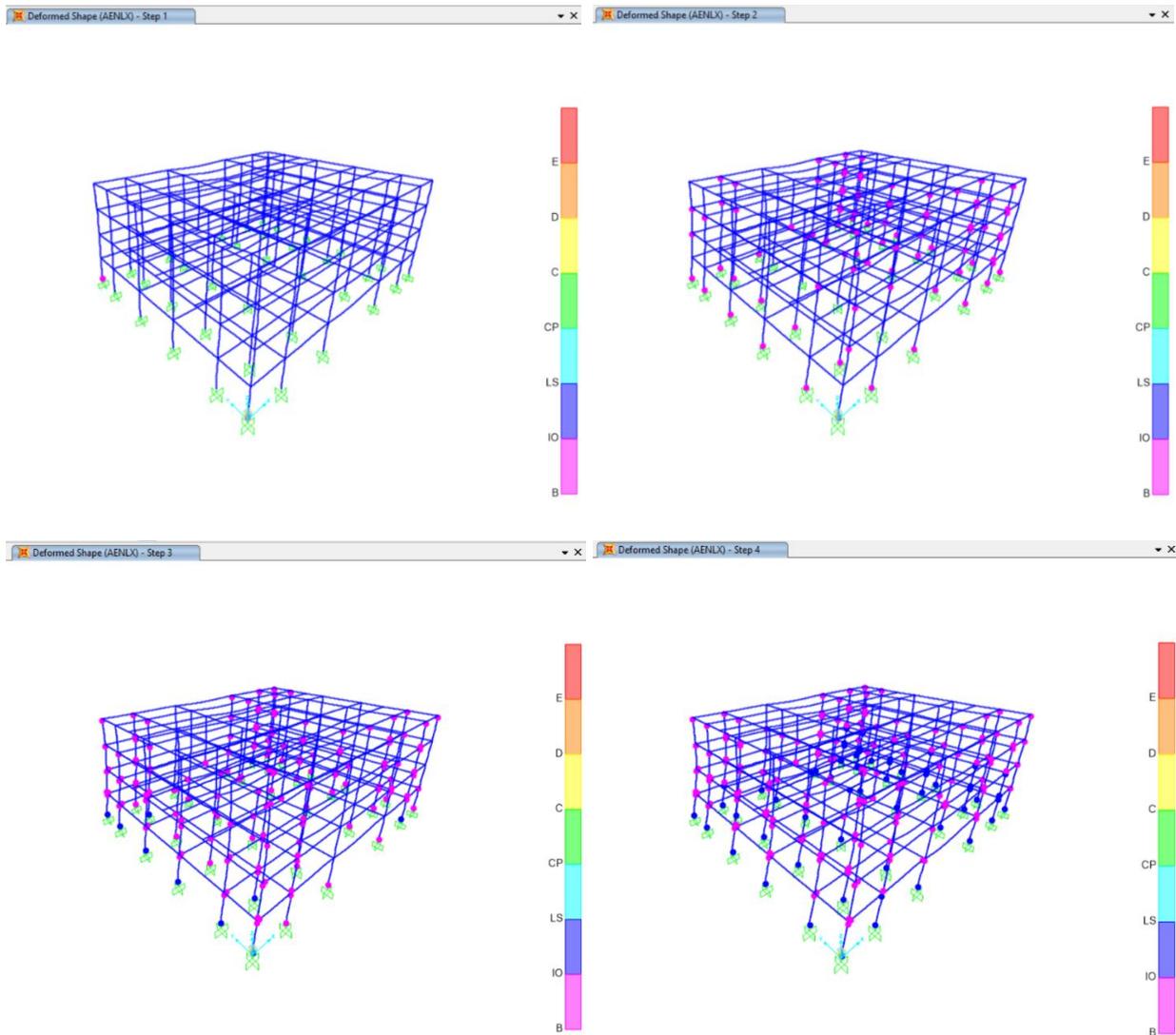


Figura 16. Formación de las rótulas plásticas – Modelo 1.

En la Figura 17 se muestra la formación de las rótulas plásticas del Modelo 2.

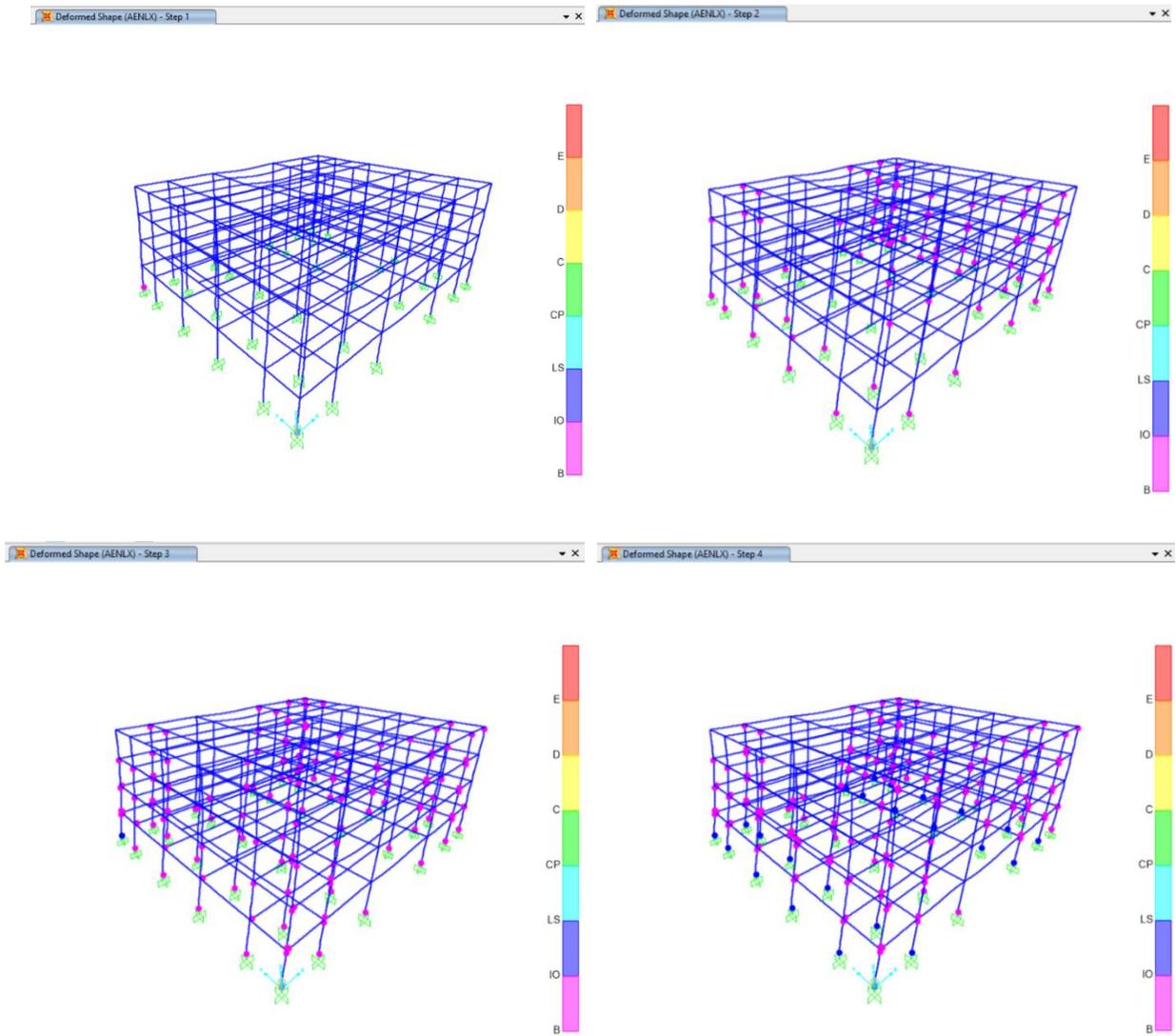
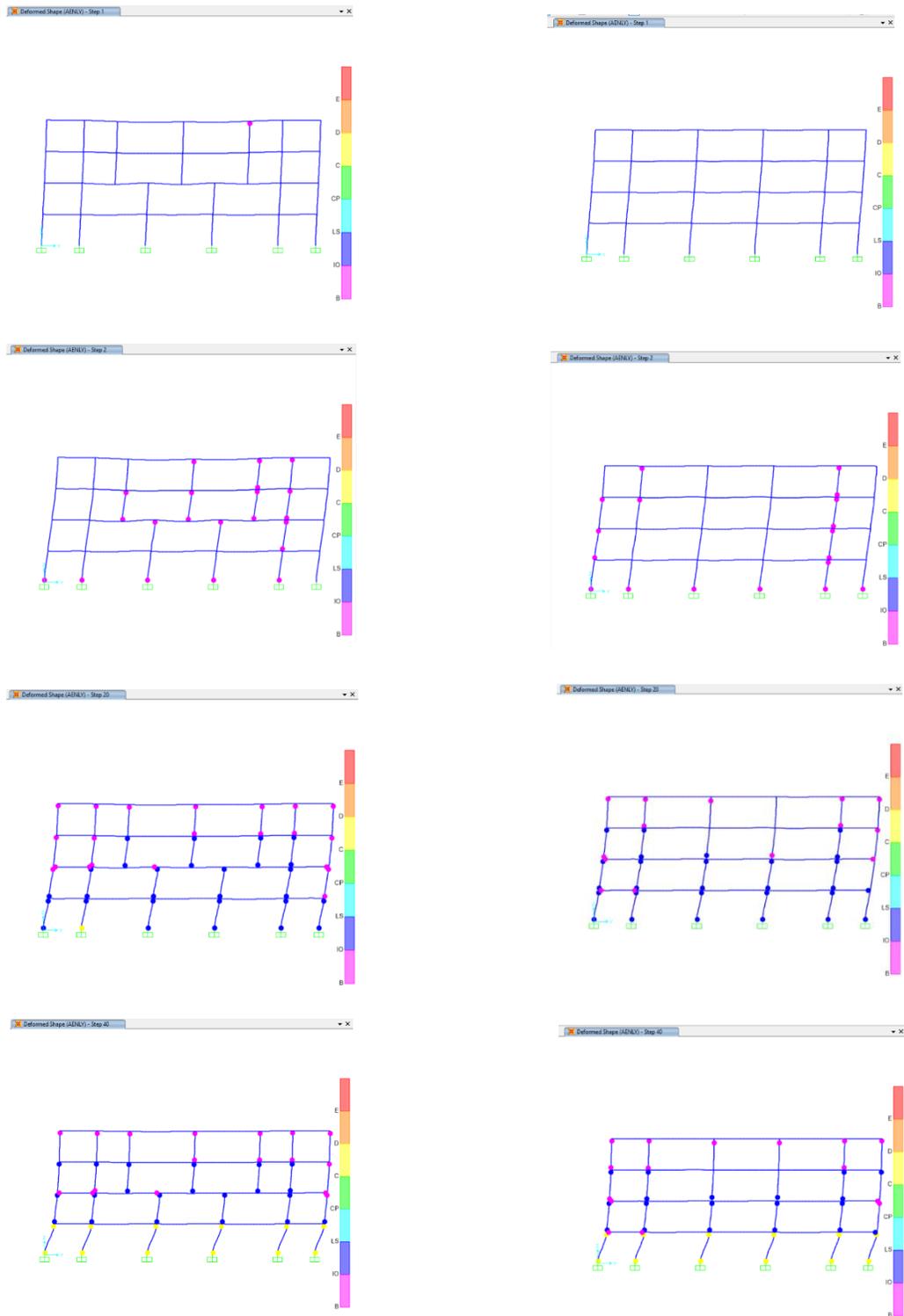


Figura 17. Formación de las rótulas plásticas – Modelo 2.

Puede observarse de la Figura 16 y la Figura 17 que para el Modelo 1, en el paso 4, se presentan rótulas plásticas en la base comparado con el Modelo 2. Sin embargo, esta comparación no es tan clara cuando se está analizando la estructura en 3D.

A continuación, se hará una comparación entre las dos (2) modelaciones para el pórtico C que es el que conlleva la discontinuidad de las columnas.

En la Figura 18 y la Figura 19 se muestran las formaciones de las rótulas plásticas en el plano C del Modelo 1 y el Modelo 2.



a) Modelo 1 con columnas flotantes

b) Modelo 2 sin columnas flotantes

Figura 18. Formación de las rótulas plásticas – Pórtico C

De la Figura 18 puede verse que tan rápido empiezan a aparecer las rótulas plásticas en el caso del Modelo 1, incluso en el primer paso y en una de las columnas flotantes; lo anterior puede deberse a la falta de continuidad de dichos elementos, proporcionando así, un posible mecanismo de falla en la estructura.

Para el paso 20 ya se muestra que, para los dos (2) modelos, las rótulas en los diferentes elementos estructurales empiezan a pasar a un nivel de ocupación inmediata, lo cual indica pequeños cambios en los elementos, pero sin afectación para los ocupantes de la edificación; adicionalmente, se muestra ya una rótula en una de las columnas de la base para un nivel de colapso.

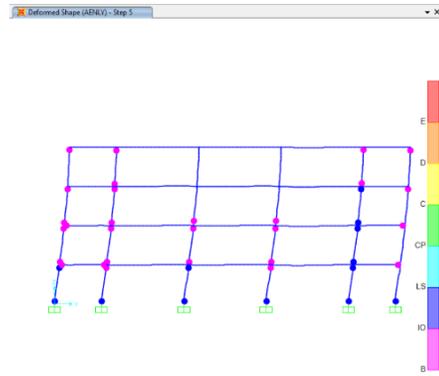
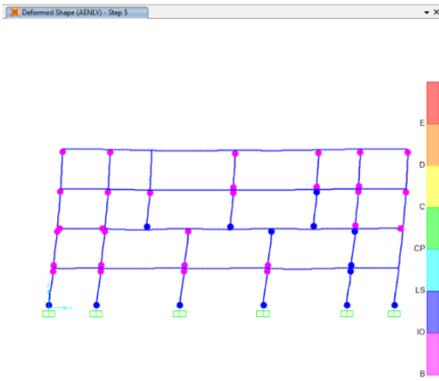
Finalmente, en un paso más avanzado (paso 40) se presenta el colapso de las columnas de la base para las dos (2) modelaciones; a pesar de esto, se muestran más elementos afectados para la Modelación 1 que para la Modelación 2.

5.1. SECUENCIA DE FALLA

Aunque se presentó un mecanismo de falla para el Modelo 1 más rápido que para el Modelo 2, la secuencia de falla de la estructura en estudio NO es acorde a lo deseado, en donde primero se produce la degradación en las vigas y posteriormente en las columnas.

FEMA 356 recomienda que es deseable que los elementos estructurales NO entren en un nivel de *seguridad a la vida*, o mayor a este, hasta pasados los primeros 5 ciclos de carga; para ninguna de las modelaciones se presenta este caso (ver Figura 19).

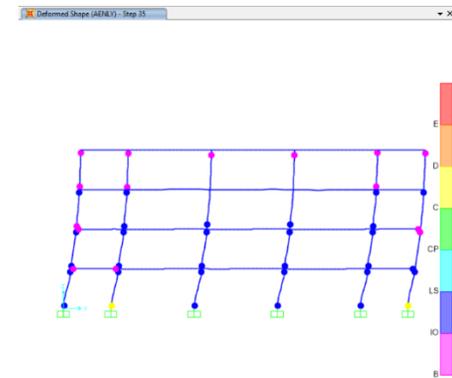
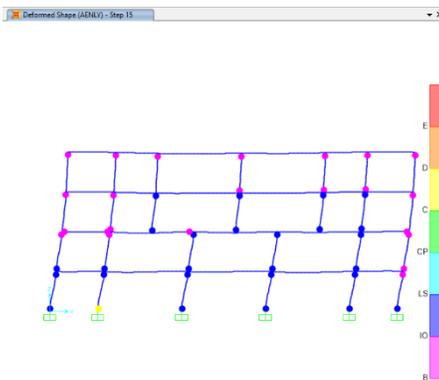
La Figura 20 muestra el paso al cual se presenta la primera(s) rótula plástica en un nivel de colapso. Para la Modelación 1, esta se presenta en el paso 15 y para la Modelación 2, en el paso 35.



a) Modelo 1 con columnas flotantes

b) Modelo 2 sin columnas flotantes

Figura 19. Formación de las rótulas plásticas para el paso 5 – Pórtico C



a) Modelo 1 con columnas flotantes
(Paso 15)

b) Modelo 2 sin columnas flotantes
(Paso 35)

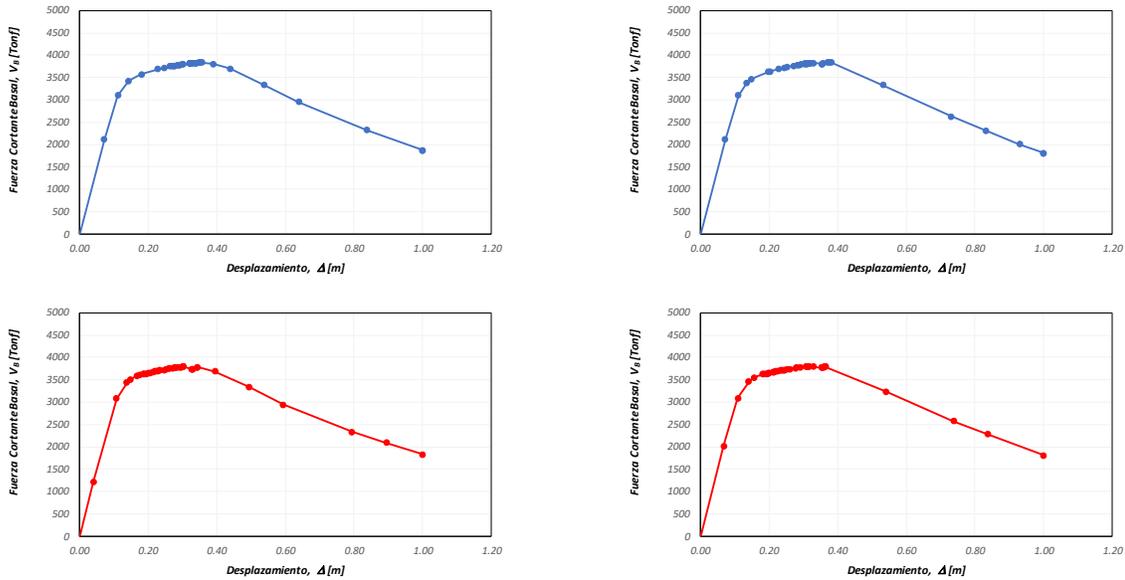
Figura 20. Paso al cual se presenta el colapso

5.2. CURVAS PUSHOVER

Durante el análisis, el cortante basal va incrementando progresivamente manteniendo constante el patrón de fuerzas sísmicas distribuido en la altura de la edificación. Para conseguir una representación realista de las acciones sísmicas, se emplea una distribución de las fuerzas equivalentes laterales, las cuales siguen la forma del modo fundamental de vibración.

Para las modelaciones de esta investigación, se consideró una distribución de fuerzas equivalentes laterales de forma triangular invertida.

En las se muestran las curvas pushover de la edificación, para las dos (2) modelaciones, tanto en X (color azul) como en Y (color rojo). Para la Modelación 1, se obtuvo un valor de cortante basal máxima de 3838 kN y 3794 kN, en dirección X y en Y, respectivamente. Mientras que, para la Modelación 2, se obtuvieron para X un valor de 3841 kN y para Y, 3805 kN.

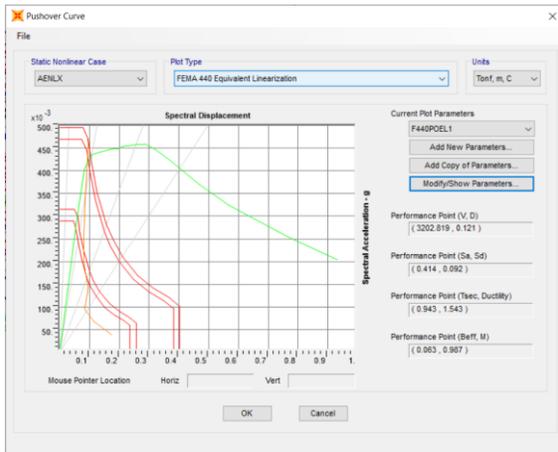


a) Modelo 1 con columnas flotantes b) Modelo 2 sin columnas flotantes
 Figura 21. Curvas Pushover para la edificación, en dirección X y en Y

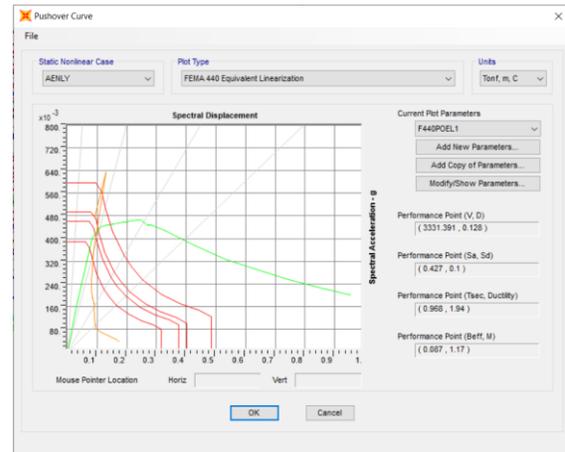
5.3. CURVAS DE CAPACIDAD-DEMANDA

De acuerdo con la caracterización establecida en la FEMA 440, incorporada automáticamente en el software SAP2000, las curvas de capacidad-Demanda para la Modelación 1 se muestra en la Figura 22. La Figura 23 muestra las curvas de capacidad-Demanda para la Modelación 2, en ambas direcciones, haciendo uso de la misma caracterización por la FEMA 440.

De la Figura 22 y Figura 23 puede concluirse que, a pesar de que el punto de desempeño es prácticamente igual para ambas modelaciones, cabe en manifiesto que la estructura es bastante vulnerable cuando se somete a acciones sísmicas.

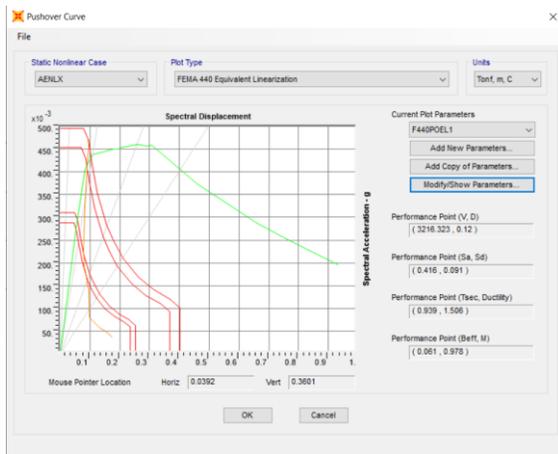


a) Dirección X

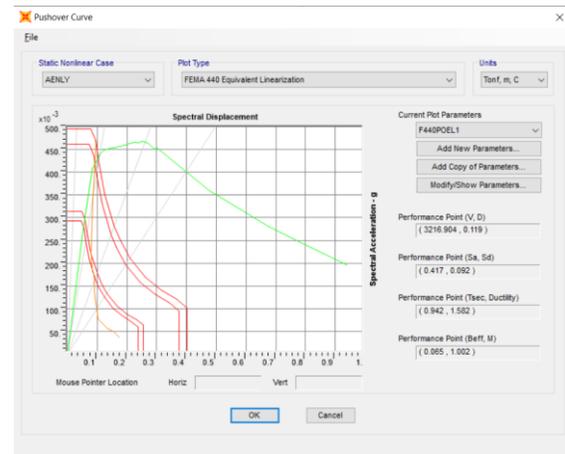


b) Dirección Y

Figura 22. Curva capacidad-demanda para el Modelo 1



a) Dirección X



b) Dirección Y

Figura 23. Curva capacidad-demanda para el Modelo 2

6. CONCLUSIONES

1. En esta monografía se estudia y analiza el comportamiento de una edificación de concreto reforzado con un sistema de resistencia sísmica de pórticos resistentes a momento, con y sin columnas flotantes, mediante un análisis estático no lineal.
2. La presencia de columnas flotantes dentro de la edificación analizada tiene un impacto significativo en la respuesta sísmica de la estructura en términos del mecanismo de falla caracterizado por las rótulas plásticas.
3. El comportamiento global de la estructura, el analizado en esta monografía, no presenta muchos cambios en la cortante basal; sin embargo, en términos locales, la viga que recibe las columnas flotantes tendrá un diseño especial en contraposición a la misma viga de la modelación sin columnas flotantes.
4. De acuerdo con la Figura 20, donde se muestra el paso al cual se presenta el colapso de las columnas, los autores concluyen que el Modelo 2 tiene mucha más ductilidad que la que puede llegar a presentar el Modelo 1; teniendo un impacto de la respuesta en términos de desplazamientos laterales mayores.
5. En esta monografía, sólo se analizó la dirección Y, la que presenta el pórtico con columnas flotantes.
6. De acuerdo con la formación de las rótulas plásticas en las dos (2) modelaciones, se puede observar que la edificación presenta un mecanismo no deseable de vigas fuertes y columnas débiles. Lo anterior implicaría tomar medidas de repotenciación en esta edificación.
7. Las curvas de capacidad-demanda de la edificación implican que el punto de desempeño es bastante bajo (12 cm) implicando una deriva global de 0.6 % (menor que lo establecido por el Reglamento NSR-10 del 1.0 %) y que la estructura a partir de este desplazamiento empezaría a colapsar.
8. Las curvas obtenidas en esta investigación, a partir de la modelización realizada, ponen de manifiesto la vulnerabilidad que algunas edificaciones con columnas flotantes tienen cuando no se modelan apropiadamente este tipo de discontinuidades, frente a acciones sísmicas altas, haciendo esperar daños superiores a los previstos.
9. El hecho de tener las columnas flotantes en los pisos superiores implica muy poca variación en parámetros importantes de la edificación como el cortante basal y el periodo natural de vibración. Se recomienda hacer un análisis similar al llevado a cabo acá con más ejes de columnas flotantes o con estas discontinuidades directamente sobre el primer piso.

10. Dentro de posibles soluciones al problema de vulnerabilidad presentada en las edificaciones con columnas flotantes, se plantea la inclusión de muros de cortante o arriostramientos laterales, con los cuales se logre reducir la deriva, las irregularidades que puedan llegar a presentarse y la ductilidad por desplazamiento.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Abhinay, Y., Rao, H. S., & Ghorpade, V. G. (2017). Comparison of Seismic Analysis of a Floating Column Building and a Normal Building. *International Journal of Materials Science*, 12(3), 421-431.
- 2- Agrawal, V., Garg, S., Nagar, R., & Chandwani, V. (2016). Seismic Retrofitting of RC Buildings with Soft Storey and Floating Columns. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 10(12), 1487-1495.
- 3- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10*. Bogotá, Colombia
- 4- Badgire Udhav, S., Shaikh, A. N., & Maske Ravi, G. (2015). Analysis of Multistorey Building with Floating Column. *International Journal of Engineering Research*, 4(09).
- 5- Bandwal, N., Pande, A., Mendhe, V., & Yadav, A. (2014). To Study Seismic Behaviour of RC Building with Floating Columns. *International Journal for Scientific Engineering and Technology Research*, 3(8), 1593-1596.
- 6- Behera, S. (2012). Seismic analysis of multistorey building with floating column (Doctoral dissertation). Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Rourkela-769008, MAY 2012 .
- 7- Bhensdadia, H., & Shah, S. (2015). Pushover Analysis of RC Frame Structure with Floating Column and Soft Story in Different Earthquake Zones. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(04).
- 8- Chakra Varthy, P. M. (2015). Recommendations for the seismic analysis of multistoried buildings with floating column (Doctoral dissertation, GITAM UNIVERSITY).

- 9- Maitra, K., & Serker, N. K. (2018). Evaluation of Seismic Performance of Floating Column Building. *American Journal of Civil Engineering*, 6(2), 55-59.
- 10- Mundada, A. P., & Sawdatkar, S. G. (2014). Comparative seismic analysis of multi storey building with and without floating column. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(5), 3395-3400.
- 11- Nanabala, S. G., Ramancharla, P. K., & Arunakanthi, E. (2014). Seismic analysis of a normal building and floating column building. *International Journal of Engineering Research & technology*.
- 12- Rohilla, I., Gupta, S. M., & Saini, B. (2015). Seismic response of multi-storey irregular building with floating column. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(03), 506-518.
- 13- Sarode, J., & Pote, A. S (2016). Analysis of floating column building of composite and RCC beam girder & comparison with RCC frame structure by using ETABS v9. 7.0. August-2016, 1464-1469.
- 14- Sri, R. B., & Yajdani, S. (2018). Effect of floating columns on Multi – storeyed buildings. V 4, Issue 12, December-2018, 162-169.
- 15- Waykule, S. B., Pise, D. C., Deshmukh, C. M., Pawar, Y. P., Kadam, S. S., Mohite, D. D., & Lale, S. V. (2016). Study of Behaviour of Floating Column for Seismic Analysis of Multistorey Building. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(6).