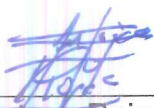


Comparación de las Propiedades Elásticas Dinámicas para Edificios Tipo Marco con Base Fija y Base Aislada: Caso Concreto Reforzado



CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

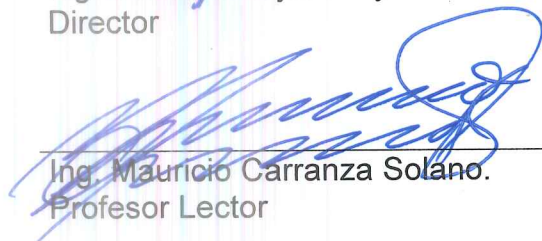
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Miguel Peralta Salas, Ing. Mauricio Carranza Solano, Ing. Ángel Navarro Mora, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



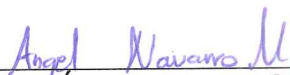
Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Miguel Peralta Salas.
Profesora Guía



Ing. Mauricio Carranza Solano.
Profesor Lector



Ing. Angel Navarro Mora.
Profesor Observador

Abstract

In the following report a research is carried out in order to determine trends in the dynamic behavior and their seismic response in frame structures. This research aims to analyze and correlate the dynamic properties of three buildings in reinforced concrete and frame structure with different number of flats (10, 15, 20), with fixed base and isolated basis.

The three buildings were analyzed in the 4 types of soils present in the seismic zone III, according to the CSCR 2010 and with three different ductility (μ of 1.0, 3.0, and 6.0) to determine the dynamic contribution of each building.

Concludes that as you increase the height of this type of structure the dynamic contribution decreases in fundamental mode and in modes 2, 3, 4 and 5 are presented bigger dynamic contributions.

This project is obtained that the variation of soil, generates higher modes showing the biggest dynamic contributions and increasing the height, generates a bigger flexibility in this type of structure that causes decrease in its dynamic contribution.

Also with the use of seismic isolators, the dynamic contribution of the fundamental mode falls significantly, being more effective in lower height model.

Key words:

Dynamic properties, dynamic contribution, fixed base, isolated base, seismic protection.

Resumen

En el siguiente informe se desarrolla una investigación con el fin de determinar tendencias en el comportamiento dinámico y su respuesta sísmica de las estructuras tipo marco. Dicha investigación tiene como objetivo analizar y correlacionar las propiedades dinámicas de tres edificios tipo marco de diferentes números de pisos (10, 15, 20), tanto con base fija como con base aislada, en concreto reforzado.

Los tres edificios fueron analizados en los 4 tipos de suelos presentes en la zona sísmica III, según el CSCR 2010 y con tres ductilidades diferentes (μ de 1.0, 3.0 y 6.0) para determinar la contribución dinámica de cada edificio.

Se concluye que conforme aumente la altura de este tipo de estructuras la contribución dinámica disminuye en el modo fundamental y en los modos 2, 3, 4 y 5 se presentan contribuciones dinámicas mayores.

De este proyecto se obtiene que la variación del suelo genera que los modos superiores presenten las mayores contribuciones dinámicas y el aumento de la altura genera una mayor flexibilidad en este tipo de estructura que origina disminución en su contribución dinámica.

Además que con el uso de los aisladores sísmicos la contribución dinámica del modo fundamental baja significativamente, siendo más efectivos en el modelo de menor altura.

Palabras claves:

Propiedades dinámicas, contribución dinámica, base fija, base aislada, protección sísmica.

Comparación de las Propiedades Elásticas Dinámicas para Edificios Tipo Marco con Base Fija y Base Aislada: Caso Concreto Reforzado

ROBERTO ANTONIO CUBILLO ÁLVAREZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Setiembre del 2015

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción.....	5
Alcance y limitaciones	7
Objetivos.....	8
Marco Teórico.....	9
Metodología	16
Resultados	21
Análisis de resultados.....	74
Conclusiones	88
Recomendaciones	91
Apéndices.....	92
Anexos	112
Referencias	122

Prefacio

El proyecto “Comparación de las propiedades elásticas dinámicas para edificios tipo marco con base fija y base aislada: caso concreto reforzado” pretende llegar a entender de mejor forma cuál es el comportamiento dinámico de las estructuras que se están diseñando cada vez más en Costa Rica, con el fin de poder crear mejores diseños de estructuras capaces de soportar las solicitaciones sísmicas, pero a la vez que sean optimizadas y su costo sea menor.

Esta idea surge del interés del profesor guía, el Ingeniero Miguel Peralta Salas, Máster en Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, de llegar a obtener una matriz de discretización por tipología de edificios, sistemas constructivos y dimensiones diversas, con el fin de conocer qué tipo de estructuras disipan más energía que otras, y en cuáles es más factible poder aplicar elementos disipadores de energía, con el fin de comenzar a seleccionar qué tipos de estructuras son aptas para usar disipadores de energía en Costa Rica.

Además, contribuirá en el ámbito científico, pues será base para la preparación de la tesis doctoral del profesor guía, pues también se realizarán análisis similares para distintos materiales y estructuras.

El objetivo del proyecto se centra en analizar y correlacionar las propiedades dinámicas de tres edificios tipo marco de diferentes números de pisos (10, 15, 20) con base fija y base aislada, en concreto reforzado.

Entre la utilidad que se le puede dar a este proyecto, es en el campo de la ingeniería sísmica y estructural, facilitando tendencias del comportamiento dinámico de las estructuras tipo marco de concreto reforzado en Costa Rica.

Por último, se desea agradecer a todas las personas que brindaron su colaboración, la cual permitió el desarrollo de este proyecto y cumplir con los requisitos necesarios para optar el título de Licenciatura en Ingeniería en Construcción en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Agradecer al Ing. Miguel Peralta Salas de la Oficina de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Costa Rica, profesor guía y asesor en todo el proyecto, por su paciencia y apoyo al desarrollo del este proyecto.

Resumen ejecutivo

En el presente documento se resume el desarrollo del proyecto “Comparación de las propiedades elásticas dinámicas para edificios tipo marco con base fija y base aislada: caso concreto reforzado”. Tal y como lo señala su nombre, consta de una investigación para analizar y correlacionar la contribución dinámica de tres estructuras tipo marco de 10, 15 y 20 pisos, con la finalidad de conocer de una manera amplia, el comportamiento dinámico que pueden experimentar este tipo de estructuras en diferentes escenarios, que consideren la variación del tipo de suelo y la ductilidad, siendo útil en el campo de la ingeniería sísmica y estructural.

Entre los objetivos propuestos en este proyecto está la determinación de las propiedades dinámicas de cada estructura, mediante un análisis matricial a través del software de programación MatLab. Para verificar los resultados de este análisis, se modelarán los mismos edificios en el programa de análisis estructural SAP2000, tanto para los edificios con base fija como con base aislada.

Por último, se pretende determinar, analizar y comparar, la contribución dinámica de las estructuras en diferentes escenarios, combinando cada uno de los cuatro tipos de suelos del CSCR-10 con ductilidades μ de 1.0, 3.0 y 6.0, con este rango de ductilidades se pretendió cubrir un escenario en donde los edificios tengan la capacidad de disipar poca, media y bastante cantidad energía.

Una vez planteados los objetivos, se procedió a realizar una investigación bibliográfica para extraer conceptos importantes como la propiedad dinámica de las estructuras. Lograr definir cuál es la contribución

dinámica de las estructuras además de los efectos que originan el uso de aisladores sísmicos en las estructuras.

De la literatura se define que “la condición de movimiento libre proporciona las propiedades más importantes de la dinámica estructural, que son los periodos naturales y los correspondientes modos normales” (Paz, 1992).

Por su parte, “a contribución dinámica modal de un sistema es el parámetro que está ligado a un espectro (de respuesta o diseño) y que multiplicado con el factor de contribución modal, obtiene la respuesta elástica modal de una estructura” (Peralta Salas, 2015).

Finalmente, los aisladores sísmicos son sistemas pasivos que permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras a través de sistemas mecánicos especialmente diseñados para disipar energía por medio de calor (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, págs. 12-13), “logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructuras de base fija” (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011), siendo más eficiente en estructuras bajas o rígidas.

Durante la primera etapa del proyecto se realizaron entrevistas para la definir las características geométricas (secciones de vigas y columnas, longitudes de claros y alturas de piso) y las cargas gravitacionales a considerar en los marcos de concreto reforzado, se investigó datos de sobrecargas muertas en códigos homólogos al CSCR 2010 de otros países y consultas a profesionales que laboran en el campo del diseño

estructural para realizar una selección con ayuda del profesor guía.

Una vez que se recopiló la información de las entrevistas, se definieron que los marcos tendrían 3 claros libres de 7.5 m, un altura promedio de 3 m y vigas y columnas de 30/60 cm y 60/60 cm respectivamente. Es importante mencionar que la resistencia del concreto que se utilizó es de 210 kgf/cm².

En el caso de la carga permanente, se consideraron sobrecargas muertas de acabado del piso (cerámica o porcelanato) 60 kgf/m², instalaciones electromecánicas 30 kgf/m², cielo raso 20 kgf/m² y divisiones livianas 90 kgf/m², además de un entrepiso con peso propio de 433 kgf/m². En total se consideró carga muerta total de 633 kgf/m² y un uso de oficinas para una carga permanente de 250 kgf/m².

En la segunda etapa del proyecto, con las características geométricas de los marcos de concreto reforzado definidas, se prosiguió a determinar las propiedades dinámicas y las contribuciones dinámicas de cada modelo, para las dos tipos de base, fija y aislada. Con esto se buscó determinar tendencias en el comportamiento dinámico.

Con respecto a las propiedades dinámicas (periodos) de los modelos de base fija y para el edificio de 10 pisos se obtuvieron los siguientes periodos 0.80 s (T₁) para el modo 1, 0.27 s (T₂) para modo 2, 0.16 s (T₃) para el modo 3, 0.12 s (T₄) para el modo 4 y 0.10 s (T₅) para los primeros 5 modos. En el de 15 aumentaron a 1.18 s (T₁), 0.39 s (T₂), 0.24 s (T₃), 0.17 s (T₄) y 0.14 s (T₅) pisos los periodos fueron y en el de 20 pisos a 1.56 s (T₁), el segundo 0.52 s (T₂), el tercero 0.31 s (T₃), el cuarto 0.23 s (T₄) y el quinto 0.18 s (T₅).

Al aumentar de 10 pisos a 15 y a 20 pisos con base fija, se genera un incremento en los periodos de un 48 % y 95 % en el primer modo respectivamente. En el segundo modo aumentan un 47 % y un 94 %, en el tercer modo un 46 % y un 92 %, en cuarto modo un 44 % y un 89 % y en el modo 5 un 42 % y un 84 %. Lo que ocasiona una mayor flexibilidad producto del incremento de la propiedad dinámica fundamental de la estructura.

Con respeto a las contribuciones dinámicas que se determinaron para los 5 primeros modos de cada modelo, se determinaron tendencias que describen el comportamiento de este tipo de estructuras.

También en los modelos de base fija, el aumento de la ductilidad de la 1 a la 3 origina reducciones en la contribución dinámica entre un 65 % y un 67 % para modo 1 y en los superiores entre un 48 % y un 62 % y al aumentar la ductilidad de la 1 a la 6 la reducción en el modo 1 es entre un 80 % y un 81 % y en los modos superiores entre un 62 % y un 77 %. Estas tendencias son independientes de tipo de suelo y toma en cuenta los resultados de los tres modelos (10, 15 y 20 pisos).

De estos modelos de base fija, se concluye que su propiedad dinámica fundamental es independiente de las dimensiones de las vigas y columnas de los marcos, pues existe una tendencia entre el primer modo y los 4 restantes en estudio. En esta, el segundo modo esta entre un 33 % y un 34 % del primer modo, el tercero es un 20 %, el cuarto entre un 14 y un 15 % y el quinto periodo entre un 11 % y un 12 %.

En el segundo caso, con el uso de aisladores los periodos obtenidos en el modelos de 10 pisos fueron 2.32 s (T₁), 0.40 s (T₂), 0.21 s (T₃), 0.14 s (T₄), 0.11 s (T₅), en el modelo de 15 pisos fueron 2.43 s (T₁), 0.56 s (T₂), 0.30 s (T₃), 0.20 s (T₄) y 0.15 s (T₅), y en el de 20 pisos , 2.60 s para T₁, 0.71 s para el T₂, 0.38 s para el T₃, 0.26 s para el T₄ y 0.20 s para el T₅.

Con el uso de aisladores sísmicos el principal efecto que se logra es el alargamiento de periodo fundamental, obtenido incrementos del 290 % (con 10 pisos), 206 % (con 15 pisos) y 167 %, en comparación con los periodos fundamentales logrados con base fija.

Además, el aumento de la ductilidad de la 1 a la 3 origina reducciones en la contribución dinámica entre un 67 % y un 68 % para modo 1 y en los superiores entre un 52 % y un 64 % y al aumentar la ductilidad de la 1 a la 6 la reducción en el modo 1 es entre un 67 % y un 68 % y en los modos superiores entre un 52 % y un 64 %. Estas tendencias son independientes de tipo de suelo y toma en cuenta los resultados de los tres modelos (10, 15 y 20 pisos).

En el modelo de 10 pisos con el uso de aisladores sísmicos, la contribución dinámica del modo fundamental se reduce entre un 35 % y un 41 % con la ductilidad 1, con la ductilidad 3 entre un 34 % y un 35 % y con la ductilidad 6 entre un 27 % y un 35 %, en los 4 tipos de suelos.

Al pasar al de 15 pisos con el uso de aisladores sísmicos, la contribución dinámica del modo fundamental se reduce entre un 48% y un 49 % con la ductilidad 1, con la ductilidad 3 entre un 45 % y un 49 % y con la ductilidad 6 entre un 35 % y un 49 %, en los 4 tipos de suelos.

Finalmente, en el modelo de 20 pisos con el uso de aisladores sísmicos, la contribución dinámica del modo fundamental se reduce entre un 59 % y un 60 % con la ductilidad 1, con la ductilidad 3 entre un 52 % y un 60 % y con la ductilidad 6 entre un 41 % y un 60 %, en los 4 tipos de suelos.

Después de analizar y correlacionar las propiedades dinámicas y sus correspondientes contribuciones dinámicas se generan conclusiones cualitativas que pueden servir para tomar decisiones a la hora de realizar un análisis sísmico en este tipo de estructuras.

El aumento de la altura genera en las estructuras una ganancia de flexibilidad que se refleja en el aumento del periodo tanto con base fija como con base aislada y por ende una disminución en la demanda sísmica

Con el aumento de la ductilidad en este tipo de estructuras origina que la contribución dinámica se reduzca significativamente, lo que puede ser una opción para realizar diseños estructurales más económicos.

La variación en los tipos de suelos lo presenta una amplificación en la demanda de aceleración espectral para los modelos de base fija y base aislada, siendo mayor en los suelos blandos como los son el S_3 y S_4 que en los rígidos como el S_1 y S_2

Con el uso de aisladores sísmicos el mayor efecto en los tres modelos es el alargamiento de los periodos, principalmente el del modo fundamental, ubicándolo en una zona de menor demanda sísmica. Sin embargo el efecto de los aisladores sísmicos se va perdiendo a partir del 5 modo de vibración.

Con los aisladores sísmicos, al aumentar el número de pisos, el aumento de los periodos es muy poco, y los porcentajes de reducción de la contribución dinámica son menores al pasar de base fija a base aislada.

Por último, el edificio que más se beneficia con el aislamiento es el de 10 pisos, en donde ocurre el mayor alargamiento del periodo del modo fundamental, de 0.80 s a 2.32 s, un 290 %.

Introducción

En Costa Rica, al presentar una gran actividad sísmica en todo su territorio, es necesario para el campo de la ingeniería estructural y sísmica, conocer de una manera amplia, el comportamiento dinámico que pueden experimentar las estructuras en diferentes escenarios, que consideren la variación del tipo de suelo, la ductilidad y la altura de las estructuras y así tener criterios para optimizar los diseños estructurales, además de los beneficios que se pueden lograr con introducción de la tecnología de protección sísmica en las estructuras que se construyen en el país.

Con el fin de contribuir con la recopilación de esta información, se propuso realizar una comparación de las propiedades elásticas dinámicas para las estructuras tipo marco de concreto reforzado tanto con base fija como con aisladores sísmicos o base aislada. Actualmente, en Costa Rica no se han construido edificios con sistemas de protección sísmica de este tipo en edificios, que ayudan a mejorar la respuesta sísmica de las estructuras (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011).

El principal objetivo de este proyecto es analizar y correlacionar las propiedades dinámicas de tres edificios tipo marco con diferente número de pisos (10, 15, 20), en concreto reforzado, tanto con base fija como con base aislada. Esto se pretende lograr determinando, en primer lugar, las propiedades dinámicas de cada modelo, es decir el periodo, y en segundo lugar, su contribución dinámica (seudo aceleración), en los cuatro tipos de suelos que se pueden encontrar en la zona sísmica III del país, según el Código Sísmico de Costa Rica y tres ductilidades μ de 1.0, 3.0 y 6.0. Con este rango de ductilidades se pretende cubrir un escenario en donde los edificios disipen energía en poco, medio y bastante cantidad.

Para definir las características geométricas (secciones de vigas y columnas, longitudes de claros y alturas de piso) y las cargas gravitacionales a considerar en los marcos de concreto reforzado, se realizaron una serie de entrevistas a profesionales que trabajan en el campo de la construcción como en el diseño estructural, para recopilar datos de edificios construidos en Costa Rica.

Una vez que se recopiló la información de las entrevistas, se definieron que los marcos tendrían 3 claros libres de 7.5 m, un altura promedio de 3 m y vigas y columnas de 30/60 cm y 60/60 cm respectivamente.

En el caso de las cargas gravitacionales, se investigó datos de sobrecargas muertas en códigos homólogos al CSCR 2010 de otros países y consultas a profesionales que laboran en el campo del diseño estructural para realizar una selección con ayuda del profesor guía.

Para determinación de las propiedades dinámicas, se modelaron los tres marcos de base fija en el software SAP 2000, para obtener las matrices de rigidez lateral y los periodos. Sin embargo, estos periodos no fueron los que se utilizaron para determinar la contribución dinámica de cada modelo, pues solo sirvieron para verificar los calculados con el código de programación en el software Matlab, suministrado por el profesor guía, el Ing. Miguel Peralta Salas M.Sc.

Después de obtener los periodos de cada modelo, se prosiguió a determinar la contribución dinámica de dichos modelos. Para ello, primero se tuvo que convertir los factores espectrales dinámicos que establece el CSCR 2010, a seudo aceleraciones para poder interpolar la respectiva contribución dinámica a cada periodo obtenido en cada modelo. Para la contribución dinámica se definieron cuatro escenarios en donde se abarcó todas las variables.

Solo se determinó la contribución dinámica a los primeros cinco modos de vibración para simplificar el análisis de resultados.

A los modelos de base fija fueron los primeros a los que se les determinó la contribución dinámica. Con esto se pretendió analizar el comportamiento los marcos de concreto reforzado y generar tendencias que describan los efectos que se pueden obtener con el aumento en la cantidad de pisos, el tipo de suelo y las ductilidades así, establecer criterios de cual suelo es mejor analizar y con cual ductilidad.

Seguidamente, le correspondió el turno a los modelos con base aislada, a los cuales se les calculó el periodo con el código de programación otorgado por el profesor guía. Con esta rutina de Matlab que toma en cuenta el efecto de los aisladores sísmicos.

De la misma manera, se le determinó la contribución dinámica a los primeros cinco modos de vibración para su correspondiente análisis y búsqueda de correlaciones entre sí.

Finalmente, se compararon los resultados de los modelos base fija con los modelos de base aislada para buscar tendencias y determinar cuantitativamente el efecto que originan los aisladores sísmicos en la contribución dinámica de este tipo de estructura en los diferentes escenarios que se pueden encontrar en Costa Rica.

A pesar de que se incluyeron la mayor cantidad de variables, este proyecto no toma en cuenta aspectos que establece el CSCR 2010 para realizar un análisis estructural. Además que solo se analizan este tipo de estructuras y sería necesario realizar el mismo estudio para otras tipos de estructuras y así tener tendencias generalizadas.

Alcance y limitaciones

El alcance del proyecto “Comparación de las propiedades elásticas dinámicas para edificios tipo marco con base fija y base aislada: caso concreto reforzados” es generar información del comportamiento dinámico de los marcos de concreto reforzado, desde el punto de vista de su propiedad dinámica fundamental como lo es el periodo y su contribución dinámica en la zona sísmica III de Costa Rica, para tener aplicaciones de investigación científica en el ámbito de la ingeniería sísmica y estructural.

Además, este informe será parte de una serie de trabajos similares, en donde se pretende llegar a obtener una matriz de discretización por tipología de edificios, sistemas constructivos y dimensiones diversas, con el fin de poder llegar a conocer qué tipo de estructuras disipan más energía que otras, y en cuáles es más factible poder aplicar elementos disipadores de energía, con el fin de comenzar a seleccionar qué tipos de estructuras son las que aplican para utilizar disipadores de energía en Costa Rica.

Entre las limitaciones que presenta el proyecto, es que el método se restringe a un número de matrices finitas y no infinitas como lo hace SAP2000 y que se utilizará una matriz de rigidez lateral en donde sus dimensiones serán iguales a la cantidad de grados de libertad excitados por el sismo así como se consideran edificios de rigidez y masa constante. Por lo cual se analizarán modelos en 2D que representen marcos de edificios reales en 3D, ya que la obtención de matrices de rigidez y masa para edificios tridimensionales son extremadamente

Obtener modelos que tengan más grados de libertad (gdl) que los que necesito, además de que alguno de esos gdl no sea lateral por lo que se decidió liberar momentos y cortantes internos con el fin de despreciar los gdl que no se requieren para el análisis lateral que se requiere.

Otro aspecto que se limita por asuntos de tiempo, es que solo se estudian los marcos de concreto reforzado y no de otros materiales como el acero y la madera para generar conclusiones acerca del efecto que tienen los materiales en las propiedades dinámicas y contribuciones dinámicas de cada estructura.

No se contemplan aspectos del diseño estructural que se establecen el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR 2010) con el cálculo de las derivas por que no se interesó limitar lo desplazamiento por que no era de interés diseñar el edificios, la masa modal no se determinó pues es realmente la contribución estática del corte basal de una estructura y en lo que se enfocó fue en la contribución dinámica y aspectos del detallado por ductilidad debido a que esto no altera los principales parámetros para determinar las propiedades dinámicas como lo son la matriz de masa y la matriz de rigidez.

Finalmente, en lo que respecta a tipo de aislador sísmico, solo se limitó a obtener propiedades dinámicas y contribuciones dinámicas con aisladores sísmicos, solo a manera de analizar el efecto que este sistema de protección sísmica origina, a través de un código de programación otorgado por el profesor guía, en el cual se otorga la ecuación que asemeja el efecto de aislación. Es decir no se cuenta con una información detallada del tipo de aislador que se utilizó.

Objetivos

General

1. Analizar y correlacionar las propiedades dinámicas de tres edificios tipo marco de diferentes números de pisos (10, 15, 20) con base fija y base aislada, en concreto reforzado.

Específico

1. Calcular la matriz de rigidez y masa de los tres edificios de base fija y base aislada.
2. Modelar en el programa análisis estructural SAP2000 los tres edificios de base fija.
3. Verificar y comparar los resultados obtenidos con el programa MatLab, con los obtenidos en el programa de análisis de estructuras SAP2000.
4. Comparar y analizar los resultados obtenidos de la contribución dinámica para los tres edificios de base fija y base aislada.

Marco Teórico

A continuación se van a explicar conceptos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Grados de libertad

Se le denomina grado de libertad “al número de coordenadas para determinar la posición de un sistema en un instante determinado” (Paz, 1992, pág. 3).

Modelo de edificio tipo marco de concreto reforzado

Para el modelo de edificio tipo marco de concreto reforzado que se utilizó, fue necesario plantear supuestos que permitieran calcular las propiedades dinámicas de una manera ágil y sin mayores complejidades matemáticas.

Se estableció que son edificios regulares en planta y en altura, con una misma ocupación en todos los pisos, lo que permite analizarlos como marcos en un solo plano.

La masa producto de la carga permanente y temporal se supuso uniformemente distribuida en toda el área de cada entre piso y por ende linealmente distribuida a lo largo de las vigas convirtiendo el modelo en un sistema con un número de grados de libertad igual al número de masas distribuida en cada nivel.

En el caso del sistema de entrepiso y las vigas, el primero se supuso como diafragma rígido y el segundo caso, como vigas infinitamente rígidas en comparación con las columnas para que las uniones entre las vigas u las columnas estén fijas sin rotación. Por último, la deformación de la estructura es independiente de las fuerzas axiales de cada columna, para que las “vigas rígidas permanecen horizontales durante el movimiento de la tierra” (Paz, 1992, pág. 221).

En la figura 1, se representa el modelo que se utilizará para determinar la contribución dinámica de los marcos con base fija y base aislada.

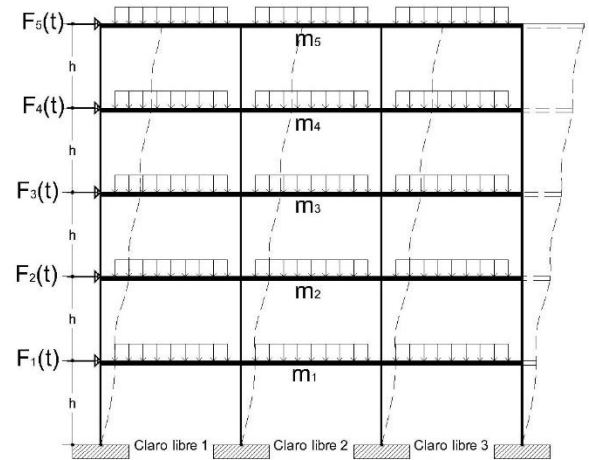


Figura 1. Modelo de edificios tipo marco de concreto reforzado.

Fuente: Elaboración propia en Auto cad.

Matriz de masa

La matriz de masa corresponde a la masa sísmica que es acelerada en cada piso. Estas masas forman una matriz diagonal.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & m_n \end{bmatrix} \dots \dots \dots ec(1.0)$$

Matriz de rigidez

La matriz de rigidez es la relación entre la deformación de los elementos y las fuerzas aplicadas en cada uno de los grados de libertad del sistema. Esta se puede obtener “imponiendo una deformación unitaria a uno de sus grados de libertad, manteniendo restringidos los desplazamientos de los otros grados de libertad” (García Reyes, 1998).

A continuación, se presenta un ejemplo de una matriz de rigidez para “n” grados de libertad, con “r” grados de libertad es.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_i & -k_i & 0 \\ -k_i & k_{1+i} + k_n & -k_n \\ 0 & -k_n & k_n \end{bmatrix} \dots \dots \dots ec(2.0)$$

Matriz de flexibilidad

Existen diferentes formas de obtener la matriz de rigidez de una estructura. En el caso de la matriz de rigidez de los marcos en estudio se obtuvo por medio de la matriz de flexibilidad con ayuda del software SAP 2000.

En este método "se definen las propiedades elásticas de la estructura por medio de los coeficientes de flexibilidad" (Paz, 1992). Estos coeficientes son deformaciones producto de aplicar una fuerza unitaria a una de sus coordenadas como se observa en la figura 2, en otras palabras, cada coeficiente de la matriz de

flexibilidad corresponde a cada desplazamiento que ocurre en una coordenada "i" cuando se aplica una fuerza estática unitaria en la coordenada "j".

En la figura 2, se puede ver el procedimiento para obtener esta matriz, en donde se coloca la fuerza estática unitaria en el piso 1 (marco a) y se obtienen los respectivos desplazamientos de los "n" pisos, luego se cambia la fuerza unitaria al piso "i+1" (marco b) y así sucesivamente hasta llegar al piso "n" (marco c).

Los coeficientes de flexibilidad son los desplazamientos obtenidos al aplicar cada fuerza unitaria a como se observa en la ecuación 3.0. .

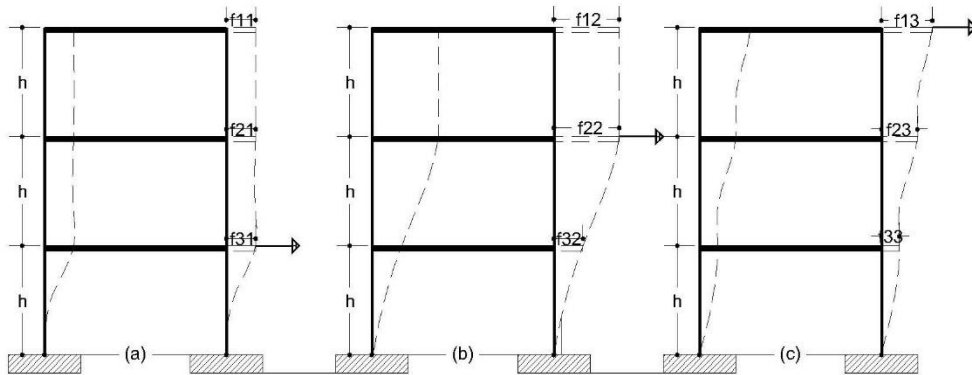


Figura 2. Esquema para determinar la matriz de flexibilidad.
Fuente: Elaboración propia en Auto cad.

$$[f] = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \dots \dots \dots ec(3.0)$$

Existe una relación entre la matriz de rigidez y la matriz de flexibilidad, que se obtiene de la segunda Ley de Newton " $F=ma$ ". A continuación, se demuestra matemáticamente la relación que hay entre la matriz de flexibilidad y la de rigidez.

Se parte de la expresión

$$F = ma \dots \dots \dots ec(4.0)$$

Si se escribe la aceleración en términos de la frecuencia angular al cuadrado y el desplazamiento:

$$a = w_n^2 * D \dots \dots \dots ec(5.0)$$

Se tiene que:

$$w_n^2 = \frac{K}{m} \dots \dots \dots ec(6.0)$$

$$\Rightarrow F = m * \frac{K}{m} * D \Rightarrow F = KD \dots \dots \dots ec(7.0)$$

Colocando una fuerza unitaria:

$$1 = KD \Rightarrow \frac{1}{K} = D \dots \dots \dots ec(8.0)$$

En conclusión, se obtiene que la matriz de rigidez es igual a la inversa de la matriz de flexibilidad.

$$\therefore K = D^{-1} \dots \dots \dots ec(9.0)$$

En donde:

a: aceleración [m/s^2]

m: masa [kg_m]

w_n^2 : frecuencia angular cuadrada

F: fuerza [kg_f]

K: matriz de rigidez

D: matriz de flexibilidad

Propiedades dinámicas

Según lo indicado por Mario Paz, la vibración libre es cuando la estructura no está sometida a alguna excitación externa, ya sea fuerza o movimiento del terreno, por lo que el movimiento lo rige solo las condiciones iniciales. La condición de movimiento libre proporciona las propiedades más importantes de la dinámica estructural, que son las frecuencias naturales y los correspondientes modos normales.

Frecuencia angular de vibración

Se define como la raíz de la rigidez entre la masa y es un parámetro necesario para calcular el periodo.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} \text{ [rad]} \dots \dots \dots ec(10.0)$$

Periodo natural de vibración

Se define el periodo natural de vibración como "El tiempo requerido para que el sistema no amortiguado complete un ciclo de vibración libre" (K. Chopra, 2014)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \text{ [s]} \dots \dots \dots ec(11.0)$$

Frecuencia natural de vibración

La frecuencia se define como el inverso del periodo.

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Herz, Hz]} \dots \dots \dots ec(12.0)$$

Modos de vibración natural

Los modos normales se pueden definir como "los posibles movimientos armónicos de vibración, en que todas las masas de la estructura se mueven con la misma frecuencia" (Paz, 1992, pág. 23).



Figura 3. Esquemas de deformaciones de los diferentes modos de vibración.

Fuente: (Laboratorio de Ingeniería Sísmica UCR, 2015) Cálculo de los periodos¹

A continuación, se presenta la explicación para obtener los periodos de la estructura.

Todas las estructuras tienen la capacidad propia de vibrar. Esta capacidad depende solamente de su rigidez y de su masa. La ecuación que permite describir estas vibraciones es la de movimiento.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{u}_g \dots \dots \dots ec(13.0)$$

Esta ecuación representa un sistema con "N" ecuaciones diferenciales, donde "N" es el número de grados de libertad del sistema estructural que se está analizando donde "M" representa la matriz de masa del sistema estructural, "C" la matriz de amortiguamiento y "K" la matriz de rigidez. Se debe satisfacer la ecuación para que \ddot{u} , \dot{u} y u en el mismo instante de tiempo "t".

Esta ecuación tiene solución analítica que permite obtener la aceleración \ddot{u} , velocidad \dot{u} y desplazamiento u de cada grado de libertad que se contempló en la matriz de rigidez utilizada, esta solución es muy compleja.

Al ser compleja la solución analítica, se obtiene dicha solución con herramientas de métodos numéricos.

¹ (Peralta Salas, 2015)

Primeramente, se hace un cambio de variable

$$u = \Phi q \dots \dots \dots ec(14.0)$$

Donde Φ es la matriz de modos del sistema, y q es el vector de desplazamientos modales y depende del tiempo. La matriz de modos y la frecuencia o el periodo de cómo vibra una estructura según cada modo que se tenga, se obtienen al resolver.

$$K\varphi_n = \omega_n^2 M\varphi_n \rightarrow (K - \omega_n^2 M)\varphi_n = 0 \dots \dots \dots ec(15.0) \Rightarrow \text{Problema de valores y vectores propios.}$$

Al realizar los autovalores y autovectores de las matrices K y M , se tiene como resultado la matriz de modos de vibrar Φ y las frecuencias angulares cuadradas del sistema ω^2 . Para obtener los periodos de la estructura se debe obtener la frecuencia angular, como $\sqrt{\omega^2}$. El periodo se calcula como:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega} \dots \dots \dots ec(16.0)$$

Respuesta espectral

Se define como “la respuesta espectral es un diagrama de la máxima respuesta (máximo desplazamiento, máxima velocidad o aceleración)” (Paz, 1992). En las abscisas de un espectro se encuentra el periodo del sistema y en la ordenada su respectiva respuesta espectral. Los espectros se basan en los movimientos del terreno registrados por los sismos pasados en un sitio determinado.

En el caso de Costa Rica, los espectros de diseño se encuentran en el Código Sísmico de Costa Rica para los cuatro tipos de suelos y las tres zonas sísmicas determinadas.

Contribución dinámica

“La contribución dinámica modal de un sistema es el parámetro que está ligado a un espectro (de respuesta o diseño) y que multiplicado con el factor de contribución modal, obtiene la respuesta elástica modal de una estructura” (Peralta Salas, 2015). Para obtener la contribución dinámica, es necesario contar con un espectro de pseudo-aceleración, pseudo-velocidad o pseudo-desplazamiento (S_a , S_v o S_d).

Ductilidad

La ductilidad se puede definir como “la capacidad que tiene un material estructural de resistir, sin fallar, deformaciones que lleven al material estructural más allá del límite elástico, o límite donde las deformaciones son linealmente proporcionales al esfuerzo o fuerza aplicada” (García Reyes, 1998, págs. 148-149). Dependiendo de la forma en que se mida la ductilidad se puede dividir en:

Ductilidad de curvatura: cuando se mide con respecto a la curvatura de la sección del elemento estructural.

Ductilidad de rotación: se mide con respecto a la rotación que tiene un sector longitudinal del elemento estructural.

Ductilidad de desplazamiento: cuando la ductilidad se mide con respecto al desplazamiento o deflexión que tiene el elemento estructural.

Ductilidad de deformación- cuando la ductilidad se mide con respecto a la deformación unitaria de una fibra paralela al eje neutro de la sección.

Tipos de suelos

Un aspecto importante que influye en la respuesta espectral, es el tipo de suelo u orígenes geológicos donde se transmite la onda sísmica.

A continuación se presentan los tipos de suelos definidos por el Código Sísmico de Costa Rica.

- Sitio Tipo S_1

“Condiciones de suelo rígido o denso semejante a la roca, donde la profundidad del suelo es menor de 50 m. Caracterizado por una velocidad de onda cortante superior a 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación, ” (Código Sísmico de Costa Rica 2010, pág. 2/6).

- Sitio Tipo S_2

“Un perfil de suelo con condiciones predominantemente de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido, cuya profundidad excede los 50 m” (Código Sísmico de Costa Rica 2010, pág. 2/6).

- Sitio Tipo S_3

“Un perfil de suelo con más de 6 m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o de suelos no cohesivos de poca o media densidad. No incluye perfiles de más de 12 m de arcilla suave” (Código Sísmico de Costa Rica 2010, pág. 2/6).

- Sitio Tipo S₄

“Un perfil de suelo caracterizado por una velocidad de onda cortante menor de 150 m/s o con más de 12 m de arcilla suave” (Código Sísmico de Costa Rica 2010, pág. 2/6).

Cuadro 1. Parámetros geotécnicos de los sitios de cimentación, promedio de los 30 m superficiales.

Tipo	Nombre	N	V _s (m/s)	C _u (kg/cm ²)
S ₁	Roca	≥ 50	≥ 760	≥ 1.00
S ₂	Firme	35-50	350-760	0.75-1.00
S ₃	Blando	15-35	180-350	0.50-0.75
S ₄	Muy blando	≤15	≤180	≤0.50

Fuente: (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011)

N: número de golpes del ensayo de penetración estándar.

C_u: resistencia al corte no drenada.

V_s: velocidad de onda cortante.

En la siguiente figura se muestra el efecto de los tipos de suelos en los espectros de aceleración.

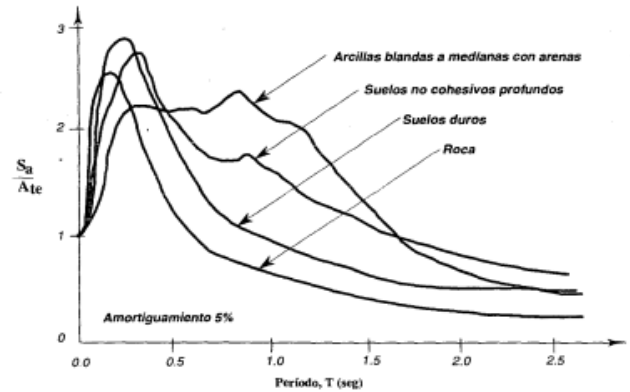


Figura 4. Espectro promedio de aceleraciones para diferentes condiciones de suelo.

Fuente: (García Reyes, 1998).

Zona sísmica

Tiene como objetivo caracterizar y estandarizar el nivel de aceleración posible que se pueda presentar en un territorio, de acuerdo con los registros de sismos a lo largo del tiempo en mapas de iso-aceleraciones.

En el caso de Costa Rica, se tienen tres zonas identificadas, según el CSCR, que con forme se reporten los sismos de mayor magnitud, van cambiando o mejorando su caracterización. La de mayor extensión y donde se encuentran un gran número de edificios en Costa Rica, es la zona III.

Zona III: “Comprende el sector pacífico de la cordillera de Guanacaste, y la totalidad de las cordilleras de Tilarán, Volcánica Central y Talamanca, así como las áreas de valles de Tempisque, Central, de Los Santos, de El General-Coto Brus, y en la vertiente del Caribe central y sur” (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2013).

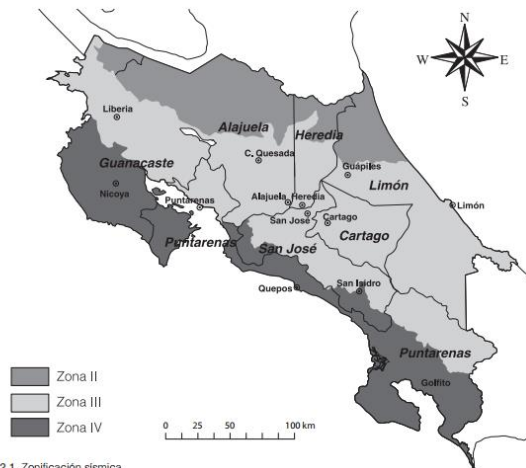


FIGURA 2.1. Zonificación sísmica

Figura 5. Mapa de zonificación sísmica de Costa Rica.

Fuente: (Código Sísmico de Costa Rica 2010, 2011)

Protección Sísmica

La protección sísmica pretende mejorar la respuesta sísmica de las estructuras y no solo garantizar que estas no colapsen, cumpliendo con los requisitos mínimos que establecen las normas que rigen los diseños estructurales de cada país. Esta mejora se centra en la reducción de daños con base en la disipación de energía sísmica.

Durante un sismo, la energía liberada, se propaga a través del suelo en forma de ondas. “Esta energía, que es transmitida luego a las estructuras y sus contenidos, y que se manifiesta fundamentalmente como movimiento, aceleración y deformación de los componentes y sistemas estructurales y no estructurales, se disipa a través de daño de dichos componentes” (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 7). Por este motivo, se han creado sistemas de protección sísmicas que tratan de mitigar tanto los daños estructurales y no estructurales.

Sistemas de protección sísmicas

Estos sistemas se dividen en tres tipos que van desde sistemas simples, hasta sistemas totalmente automatizados (Cámara

Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 12).

En primer lugar, están los sistemas activos que son sistemas complejos que incluyen sensores de movimientos, los cuales monitorean la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, detectando movimientos y aplicando las fuerzas necesarias para contrarrestar los efectos sísmicos (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, págs. 12-13). En segundo lugar, los sistemas semi-activos que también cuentan con mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural, con la diferencia de que no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura. Los sistemas semi-activos actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, págs. 12-13).

Por último, están los sistemas pasivos que permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras a través de sistemas mecánicos especialmente diseñados para disipar energía por medio de calor (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, págs. 12-13). En esta categoría se encuentran los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía.

El presente documento solo se enfoca en los sistemas pasivos de protección sísmica, específicamente los de aislación sísmica de base, puesto que son los que se aplicarán los marcos de concreto reforzado en estudio.

Aislación sísmica

La aislación sísmica pretende separar la superestructura de los movimientos del suelo o de la subestructura, a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 14).

El uso de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el período de

vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructuras de base fija” (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011), siendo más eficiente en estructuras bajas o rígidas.

En la figura 6, se muestran dos edificios idénticos, tipo marco, con base fija y

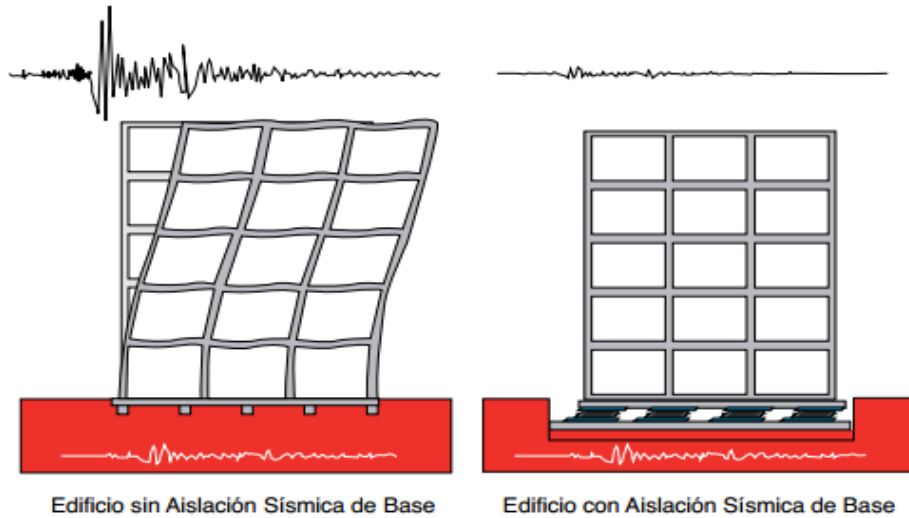


Figura 6. Comparación de edificio con base fija y edificio con aislamiento basal.

Fuente: Protección Sísmica de Estructuras (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 8)

En este estudio, las características del aislador y su respectiva ecuación fue aportada por el ingeniero Miguel Peralta Salas, profesor guía. Por ende, se estima que el aislador se indica que es de tipo elastomérico, que son los más desarrollados y utilizados (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 24).

Aisladores elastoméricos

Los aisladores elastoméricos están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Por lo general, presentan una sección circular o cuadrada. Mediante esta configuración, se logra la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo. En la figura se muestra un aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LDRB) a manera de representación, pero se repite y se aclara que no es específicamente el utilizado en este estudio y se asume como un dato

con base aislada respectivamente. En general, se observa que el aislamiento genera un filtro a la superestructura, limitando la energía que el sismo transfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones, previniendo el daño estructural y no estructural.

conocido que fue aportado por el profesor guía.



Figura 7. Aislador tipo LDRB.

Fuente: Protección Sísmica de Estructuras (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 8)

Metodología

A continuación, se presentan los pasos que se siguieron en esta investigación, con el fin de determinar las propiedades dinámicas (periodo) y sus respectivas contribuciones dinámicas (seudo-aceleraciones) de cada modelo tipo marco de concreto reforzado (10, 15 y 20 pisos), tanto con base fija en el caso 1 y con base aislada en el caso 2, para los diferentes escenarios según los cuatro tipos de suelo presentes en la zona sísmica tres.

La investigación se dividió en dos etapas, tanto para los edificios de base fija como para los edificios de base aislada. La primera se basó definir geoméricamente los modelos tipo marco. La segunda para determinar las propiedades dinámicas (periodos) y la contribución dinámica de cada modelo. A manera de ejemplo, en la figura x, se resumen los diferentes pasos que se realizaron para comparar las propiedades elásticas dinámicas de los edificios tipo marco de concreto reforzado con base fija y base aislada.

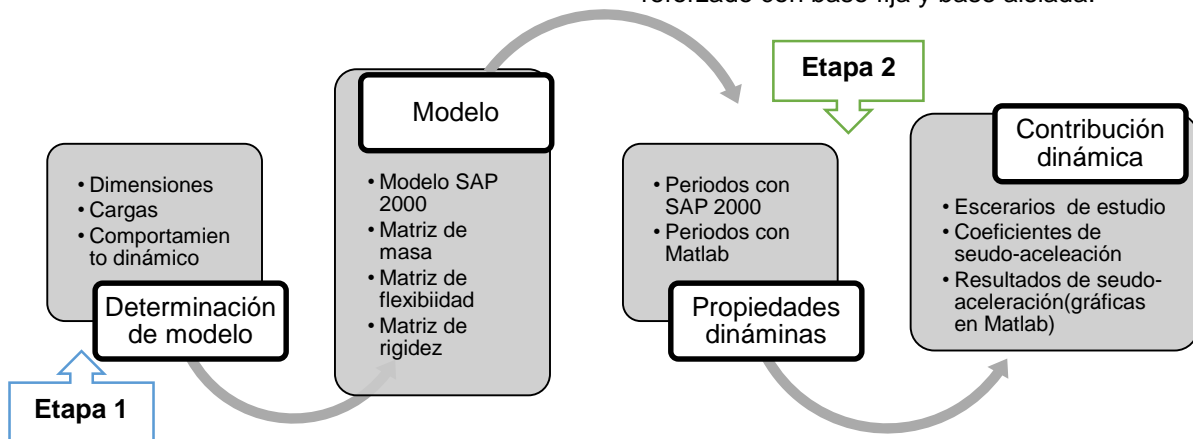


Figura 8. Resumen de la metodología para determinar la contribución dinámica.
Fuente: Elaboración propia

Etapa 1

La primera etapa se enfocó en la determinación de dimensiones de secciones de columnas, vigas, alturas de piso a piso, longitudes de claros libres y las cargas a considerar en los tipos de edificios más comunes que se construyen en Costa Rica. Esto se logró por medio de entrevistas a profesionales que trabajan tanto en diseño estructural como en la construcción de edificaciones.

- ✓ **Investigación de dimensiones de edificios:**

Esto se logró con la recopilación de datos de diferentes edificios construidos en el país, mediante entrevistas realizadas a ingenieros de diferentes empresas constructoras e ingenieros que se dedican al diseño estructural.

Entre las empresas que se visitó están; Van der Laat y Jiménez, Volio y Trejos, Estructuras S.A, Edificar y entre los ingenieros, Francisco Jiménez Blanco (Ingeniero Civil, consultor), Hugo Navarro (Escuela de Ingeniería en Construcción), Orlando Morales (Oficina de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Costa Rica). Por último, se analizaron los datos y se definieron las dimensiones con ayuda del Ing. Miguel Peralta Salas MSc.

✓ **Investigación de sobrecargas muertas:**

Para determinar el peso y la masa de cada modelo, fue necesario establecer las cargas muertas, sobrecarga muerta y la carga temporal.

En el caso de la sobrecarga muerta se consultaron códigos similares al Código Sísmico de Costa Rica, que rigen en otros países como Colombia, Nicaragua, de ellos se extrajo datos de sobrecarga muertas. Esta información se complementó con la experiencia, de profesionales que trabajan en el diseño estructural, como el Ing. Miguel Peralta Salas MSc (ingeniero de la Oficina de Ingeniería del ITCR) y el Ing. Adrián Chaverri Coto (ingeniero del Instituto Costarricense de Electricidad ICE), ambos profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica y por último del ingeniero civil Francisco Jiménez Blanco (IC-8040) quien labora en el diseño estructural en Costa Rica.

El peso propio de los elementos (vigas y columnas) se determinó en el software SAP 2000 y se verificó manualmente multiplicando el área de sección por la longitud de los elementos.

En el caso de la carga temporal, se utilizó el CSCR 2010, y se observó que la ocupación más común es de oficinas y habitacional, según la información de las empresas constructoras. De estas dos ocupaciones solo se analizó la correspondiente a oficinas.

Etapa 2

Una vez definidas la geometría y las cargas a considerar en los marcos de concreto reforzados, se prosiguió a determinar la propiedad dinámica fundamental de cada edificio (periodo) y la contribución dinámica con base en los espectros de diseños establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica.

✓ **Definición del modelo de los edificios tipo marco de concreto reforzado**

Los marcos de concreto reforzado se modelaron solo en un plano con tres claros libres y alturas de 10, 15 y 20 pisos tanto para el caso de base fija como el de base aislada. En el caso de las cargas se colocaron uniformemente distribuidas a lo largo de todas las vigas.

Estos marcos solo se les restringieron los movimientos laterales, es decir solo se analizaron

con grados de libertad de traslación horizontales en cada piso para obtener una matriz de movimiento lateral. Por otro lado, se consideró un diafragma rígido en cada piso, para el cual se seleccionó un sistema de entrepiso de viguetas pretensadas del catálogo de entrepisos de Productos de Concreto.

✓ **Modelo en SAP 2000**

Solo los tres marcos de los edificios de 10, 15 y 20 pisos se modelaron en el software SAP 2000. En este modelo se consideraron todos los supuestos definidos para los marcos de concreto reforzado ya mencionados en el primer punto de la etapa 2.

A continuación, se presentan los puntos específicos que se tomaron en cuenta para el modelo en SAP 2000:

1. Claros libres de 7.50 m y altura de piso a piso de 3.00 m
2. Concreto con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², módulo de elasticidad de 218819.79 kg/cm², y un módulo de poisson de 0.25.
3. Secciones de 30/60 cm para vigas, 60/30cm para columnas.
4. Un diafragma rígido por piso.
5. Modos de vibración igual al número de pisos
6. Un factor de participación de masa de carga muerta de 1 y 0.5 para la carga viva.
7. Un análisis como marco plano con un grado de libertad horizontal en cada piso.

En la figura 11 y en la figura 12 se puede observar la modelación del edificio de 10 pisos en SAP 2000, con las sobre cargas muertas y carga viva respectivamente.

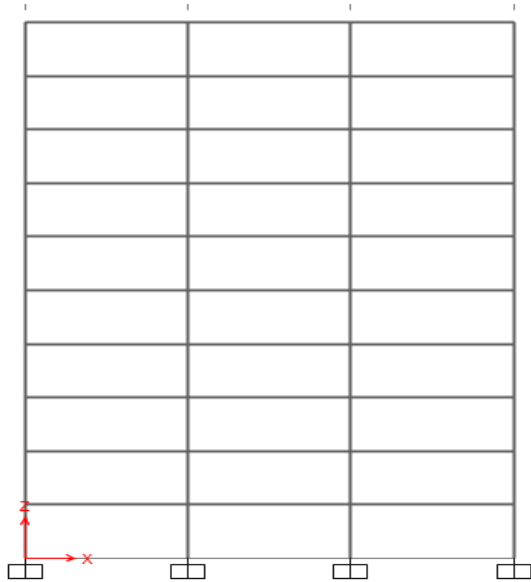


Figura 9. Modelo de 10 pisos en SAP 2000.
Fuente: Elaboración propia en SAP 2000.

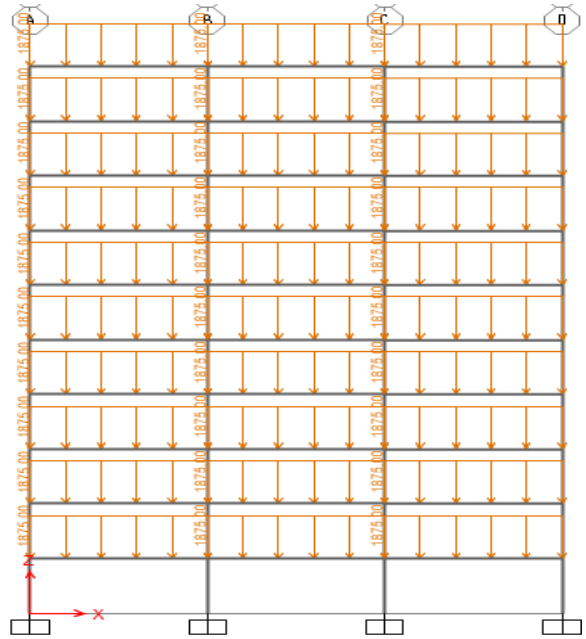


Figura 11. Modelo de 10 pisos con carga viva.
Fuente: Elaboración propia en SAP 2000.

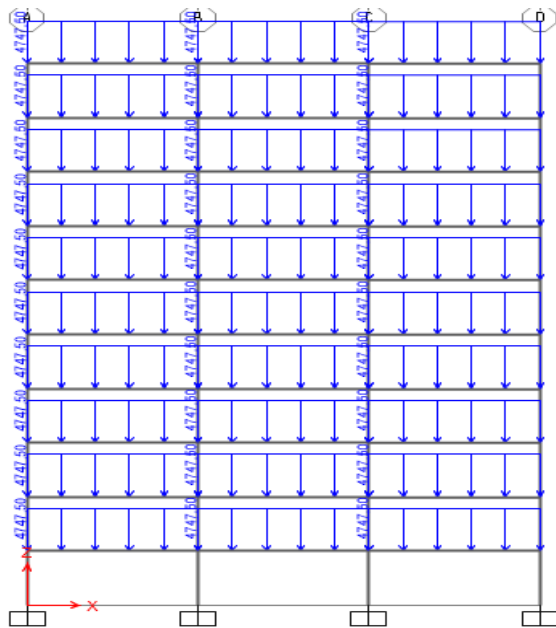


Figura 10. Modelo de 10 pisos con sobrecarga muerta.
Fuente: Elaboración propia en SAP 2000.

✓ **Determinación de la masa de cada modelo.**

El cálculo de la masa de cada modelo se hizo manualmente y se verificó con el software SAP 2000. Como se explicó en el marco teórico, esta matriz es cuadrada con todos sus coeficientes con ceros y su diagonal con la masa de cada nivel correspondiente.

Las matrices de masa de los modelos de 10, 15 y 20 pisos se puede observar en el Apéndice L, K y el Apéndice N respectivamente.

✓ **Determinación de la matriz de rigidez lateral de cada modelo.**

Las matrices de rigidez lateral se obtuvieron con base en los modelos realizados en el software SAP 2000 para los tres marcos (10, 15 y 20 pisos) y calculando la matriz de flexibilidad para cada modelo. De estos modelos, lo primero que se determinó fueron los coeficientes de flexibilidad (desplazamientos debido a la carga unitaria en cada piso). Una vez obtenidas las matrices de flexibilidad se calcularon las matrices de rigidez lateral como la inversa a esta matriz de flexibilidad. Estas matrices se utilizaron tanto para los marcos de base fija como los de base aislada.

✓ **Determinación de los periodos de los modelos.**

Una vez obtenidos los resultados de las matrices de rigidez y masa de cada modelo, se determinaron los periodos de oscilación de cada edificio de base fija en el software MatLab, con el código de programación aportado por el profesor guía el Ing. Miguel Peralta Salas y la teoría explicada en el marco teórico para calcular el periodo de oscilación de los sistemas estructurales. En el caso de los modelos de base aislada, se determinan con el código de programación y las características de un aislador de goma, también aportadas por el profesor guía.

✓ **Determinación de la Contribución dinámica de los modelos de BF para los primeros 5 modos de vibración.**

Con los periodos de cada modelo de base fija y de base aislada, se determinó la contribución dinámica (seudo aceleración) de cada modelo. Dicha contribución solo se calculó para los periodos de los primeros 5 modos de vibración, para ambos casos, base fija y base aislada.

Para obtener los valores de pseudo aceleración se calcularon con base en los factores espectrales dinámicos del Código Sísmico de Costa Rica, correspondientes a la zona sísmica tres, con las ductilidades 1.0 , 3.0 y 6.0 y los cuatro tipos de suelos (S_1 , S_2 , S_3 y S_4), después se interpolaron los periodos en Microsoft Excel para obtener+. De aquí se establecieron los escenarios de análisis para marcos con base fija y base aislada a como se pueden observar en los esquemas de las figuras 22 y 23 respectivamente.

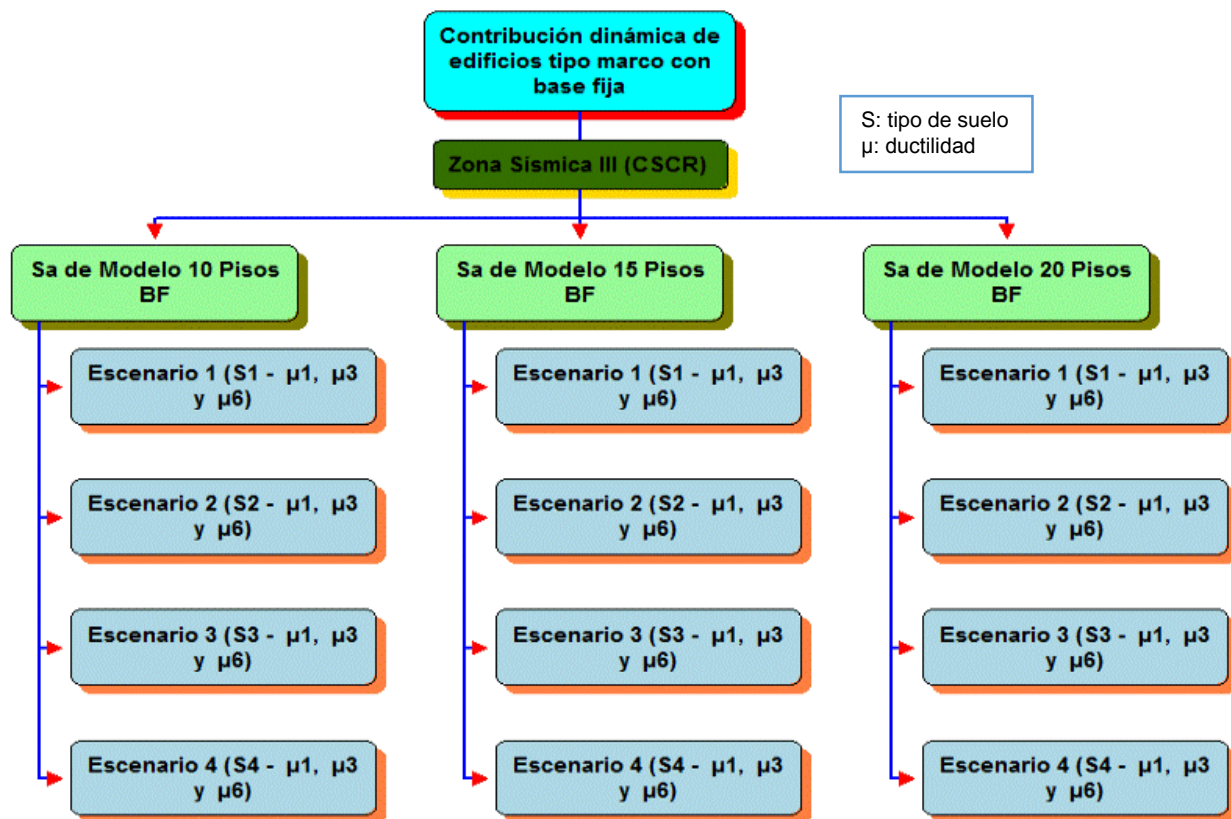


Figura 12. Escenarios para determinar la contribución dinámica de los marcos de concreto reforzado con base fija.

Fuente: Elaboración propia, en software WBS Chart Pro

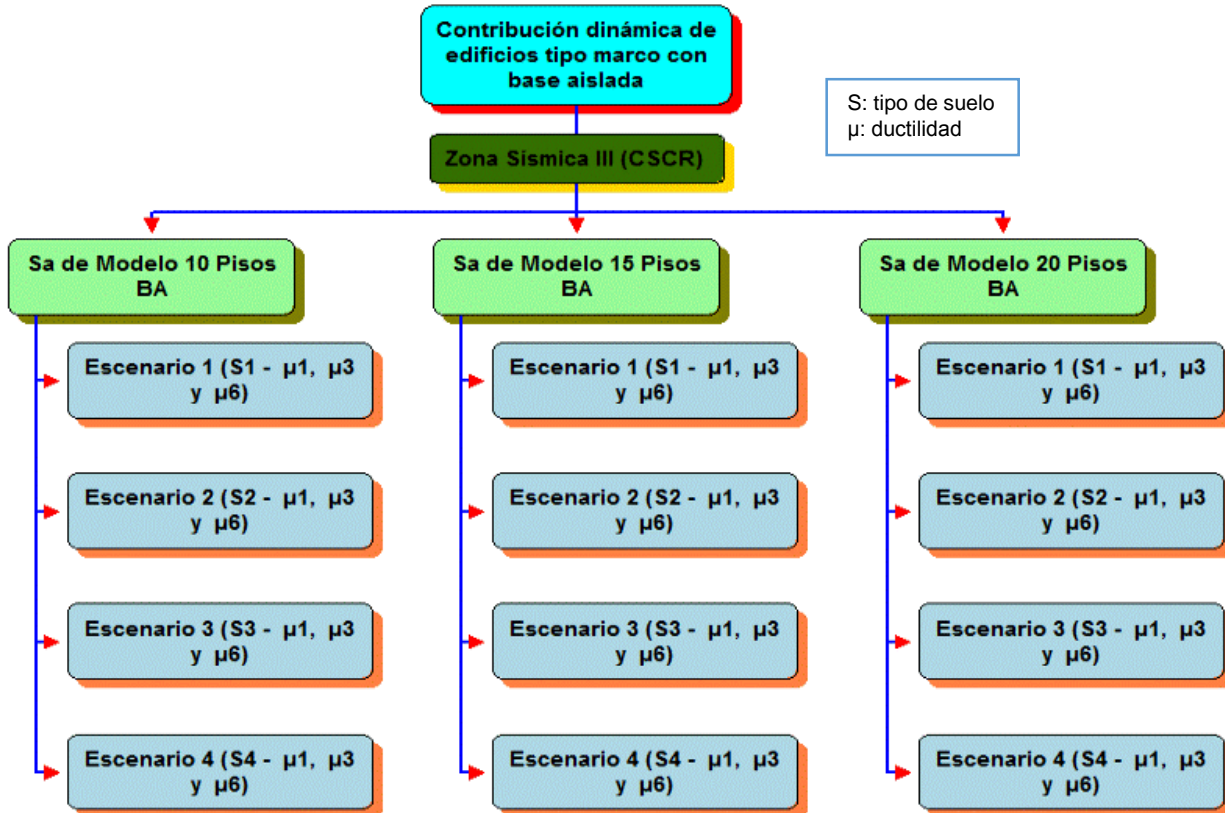


Figura 13. Escenarios para determinar la contribución dinámica de los marcos de concreto reforzado con base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software WBS Chart Pro.

✓ **Gráficas de Contribución dinámica para modelos de BF.**

Por último, se graficaron los resultados de contribución dinámicas de ambos modelos, base fija y base aislada, en el software de programación Matlab, para su respectiva comparación y sacar las respectivas conclusiones.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la primera etapa del proyecto, correspondiente a las características geométricas que se usaron en los modelos de 10, 15 y 20 pisos de base fija y base aislada.

Cuadro 2. Características geométricas de los modelos estructurales tipo marco.

Modelos	Número pisos	Altura (m)	Cantidad de claros	Longitud de claros (m)
Modelo1	10	3,00	3	7,50
Modelo2	15	3,00	3	7,50
Modelo3	20	3,00	3	7,50

Fuente: Apéndice B.

Las cargas muertas y la carga viva, estimadas para determinar masa de cada piso, se encuentran en el cuadro 4 y 5 respectivamente.

Cuadro 4. Sobre carga muertas para los edificios

Ítem	Descripción	Magnitud (kg/m ²)
Entrepiso	Tipo VIG20-U (7,5 cm sobre-losa)	433,00
Acabado	Piso(cerámica o porcelanato)	60,00
Instalaciones electromecánicas	Electromecánicas	30,00
Cielo raso	Con estructura metálica	20,00
Divisiones o particiones	Livianas	90,00
Sobrecarga Muerta (CM_{ad}) =		200,00
Sobre Carga Muerta total CM_{Total} =		633,00

Fuente: Apéndice A.

En el cuadro 2, se presentan la cantidad y longitud de los claros libres de los tres marcos y su respectiva altura. En el cuadro 3 están las dimensiones de vigas u columnas utilizadas en los modelos.

Cuadro 3. Dimensiones de vigas y columnas de los modelos estructurales tipo marco de concreto reforzado.

Modelos	Vigas		Columnas	
	b(cm)	h(cm)	b(cm)	h(cm)
Modelo 1	30,00	60,00	60,00	60,00
Modelo 2	30,00	60,00	60,00	60,00
Modelo 3	30,00	60,00	60,00	60,00

Fuente: Apéndice B.

La carga muerta del entrepiso se determinó con base en el catálogo de entrepisos que ofrece la empresa Productos de Concreto (PC), a como se ve en el Anexo 1.

Cuadro 5. Carga temporal para los modelos.

Carga Viva	Cargas Temporal (kgf/m ²)
Oficinas	250,00

Fuente: Investigación Anexo 6.

Cuadro 6. Coeficientes de participación.

Carga	Coef. Participación
CM	1,00
SCM	1,00
CV	0,15

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica 2010.

En los cuadros 7 y 8 se muestra el cálculo de los pesos manualmente y los obtenidos con los modelos hechos en SAP 2000 para verificar lo

realizado en el programa SAP 2000. En el cuadro 9 se encuentran las masas calculadas para cada piso de los modelos.

Cuadro 7. Verificación de la carga muerta de SAP 2000.

Modelo/Masa o peso	CM (kgf)	CM (kgf)	SCM(kgf)		CV(kgf)	
	Manual	SAP2000	Manual	SAP2000	Manual	SAP2000
M10	200880,00	200880,00	1068187,50	1068188,00	421875,00	421875,00
M15	301320,00	301320,00	1602281,30	1602281,00	632812,50	632812,50
M20	401760,00	401760,00	2136375,00	2136375,00	843750,00	843750,00

Fuente: Elaboración propia y SAP2000.

Cuadro 8. Verificación de la sobre carga muerta y carga temporal de SAP 2000.

SCM(kgf)		CV(kgf)	
Manual	SAP2000	Manual	SAP2000
1068187,5	1068188,00	421875,00	421875,00
1602281,3	1602281,00	632812,50	632812,50
2136375	2136375,00	843750,00	843750,00

Fuente: Elaboración propia y SAP2000.

Cuadro 9. Verificación del peso y la masa por piso calculada en SAP 2000.

Peso/ modelo(kgf)		Peso/ piso(kgf)		Masa/modelo (kg _m)		Masa/piso (kg _m)	
Manual	SAP2000	Manual	SAP2000	Manual	SAP2000	Manual	SAP2000
1690942,50	1690942,50	169094,25	169094,25	135815,37	135861,82	13581,54	13586,18
2536413,75	2536413,76	169094,25	169094,25	203723,05	203792,72	13581,54	13586,18
3381885,00	3381885,00	169094,25	169094,25	271630,73	271723,62	13581,54	13586,18

Fuente: Elaboración propia y SAP2000.

Modelo de 10 pisos de base fija

Cuadro 10. Periodos obtenidos en SAP2000 para el modelo de 10 pisos.

Modos vibración	MATLAB	SAP 2000	% Diferencia
	T(s)	T(s)	
Modo 1	0,80	0,80	0,35%
Modo 2	0,27	0,27	0,32%
Modo 3	0,16	0,16	0,29%
Modo 4	0,12	0,12	0,30%
Modo 5	0,10	0,10	0,24%
Modo 6	0,08	0,08	0,10%
Modo 7	0,07	0,07	0,18%
Modo 8	0,07	0,07	0,02%
Modo 9	0,06	0,06	0,09%
Modo 10	0,06	0,06	0,07%

Fuente: Elaboración propia, SAP2000.Matlab.

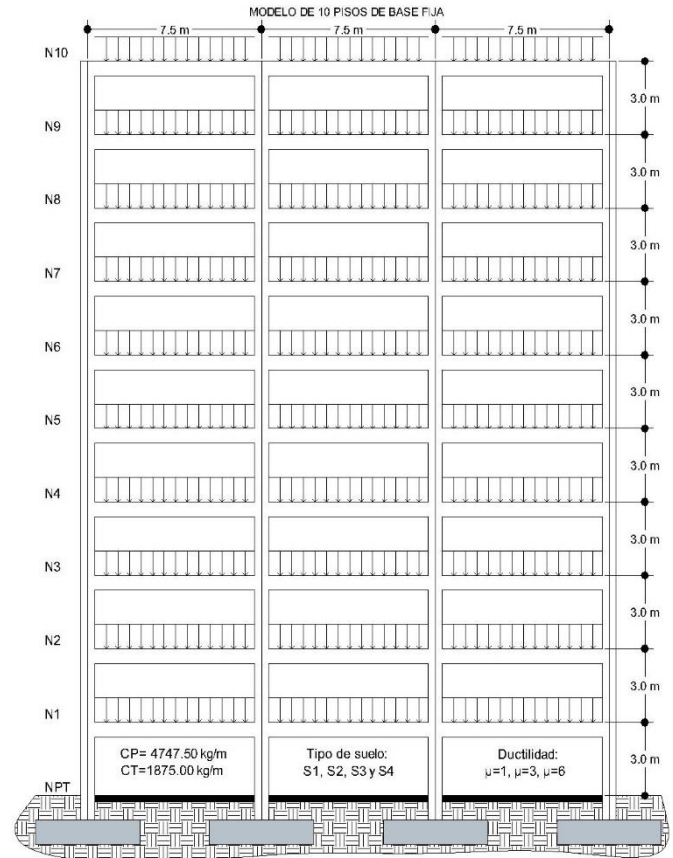


Figura 14. Esquema del modelo de 10 pisos de base fija.

Fuente: Elaboración propia, Auto cad.

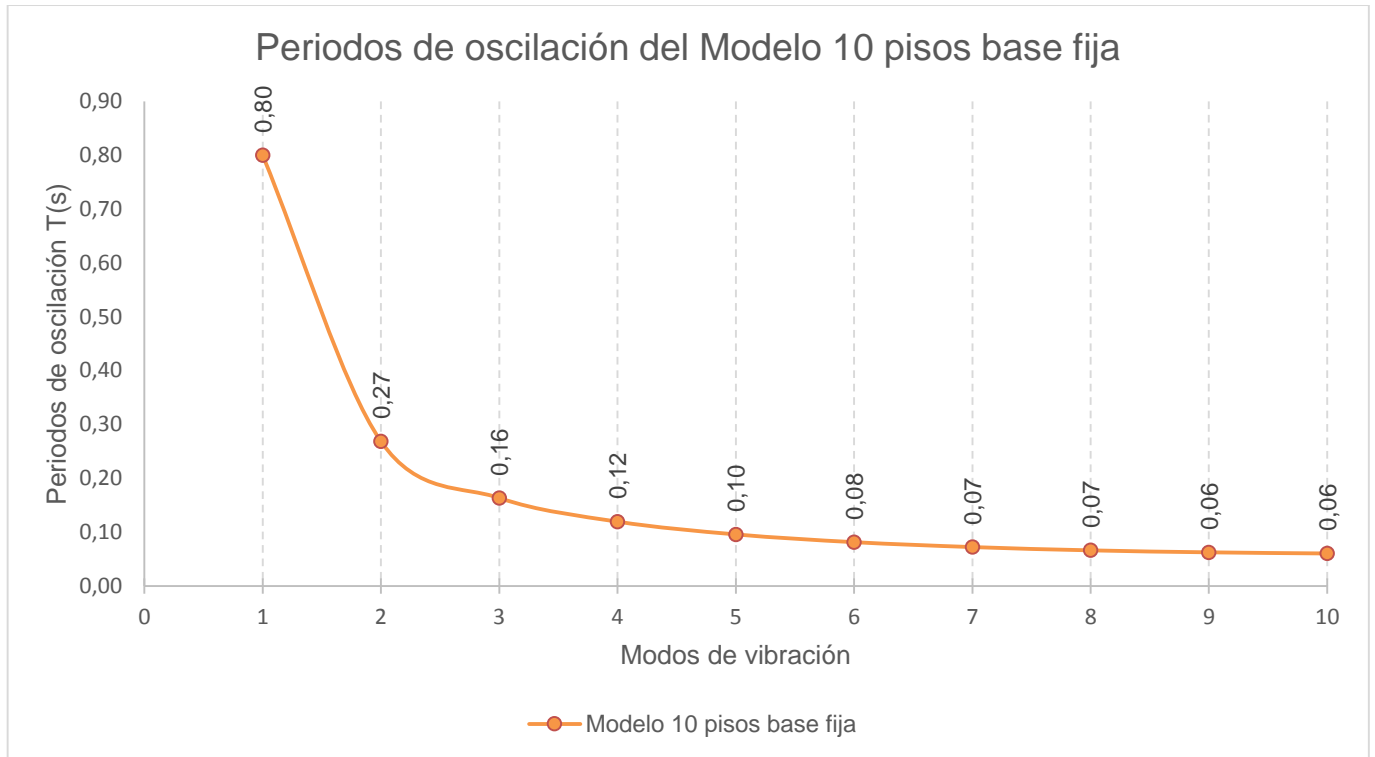


Gráfico 1. Periodos de oscilación del modelo de 10 pisos de base fija obtenidos en Matlab.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

Cuadro 11. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base fija en suelo s_1 .

Modos vibración	Periodos T(s)	S_a -M10BF- S_1 (m/s ²)		
		μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	0,80	3,68	1,23	0,71
Modo 2	0,27	7,36	3,29	2,13
Modo 3	0,16	7,36	3,29	2,22
Modo 4	0,12	7,15	3,28	2,24
Modo 5	0,10	6,20	3,22	2,34

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

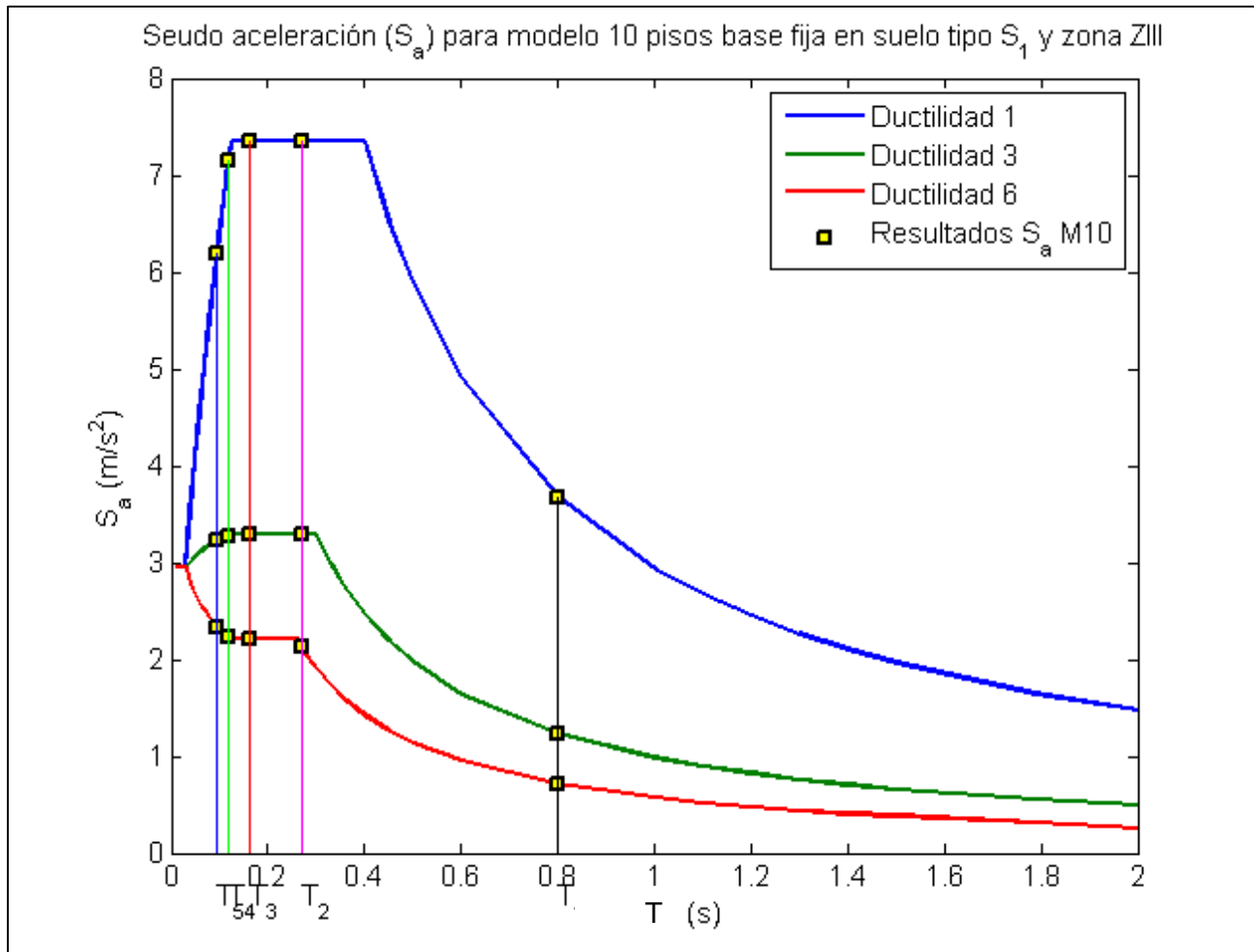


Figura 15. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de diez pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_1 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 12. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base fija en suelo s_2 .

Modos vibración	Periodos T(s)	S_a -M10BF- S_2 (m/s ²)		
		μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	0,80	5,52	1,85	1,07
Modo 2	0,27	8,09	3,62	2,44
Modo 3	0,16	8,09	3,62	2,44
Modo 4	0,12	7,87	3,61	2,46
Modo 5	0,10	6,82	3,54	2,57

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

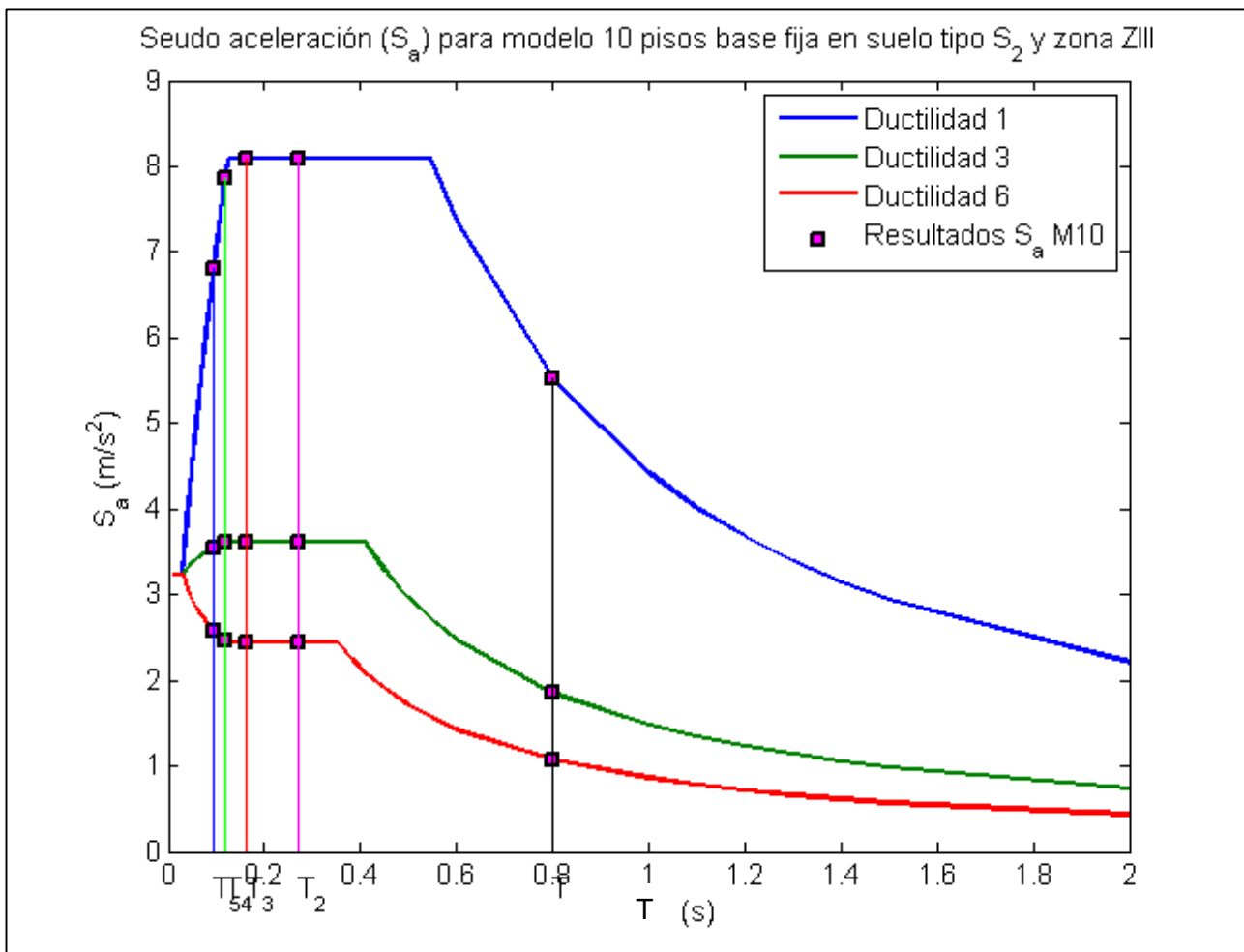


Figura 16. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de diez pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_2 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 13. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base fija en suelo s_3 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M10BF- S_3 (m/s^2)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	0,80	6,62	2,22	1,28
Modo 2	0,27	8,83	3,95	2,66
Modo 3	0,16	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,12	8,58	3,93	2,69
Modo 5	0,10	7,44	3,87	2,81

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

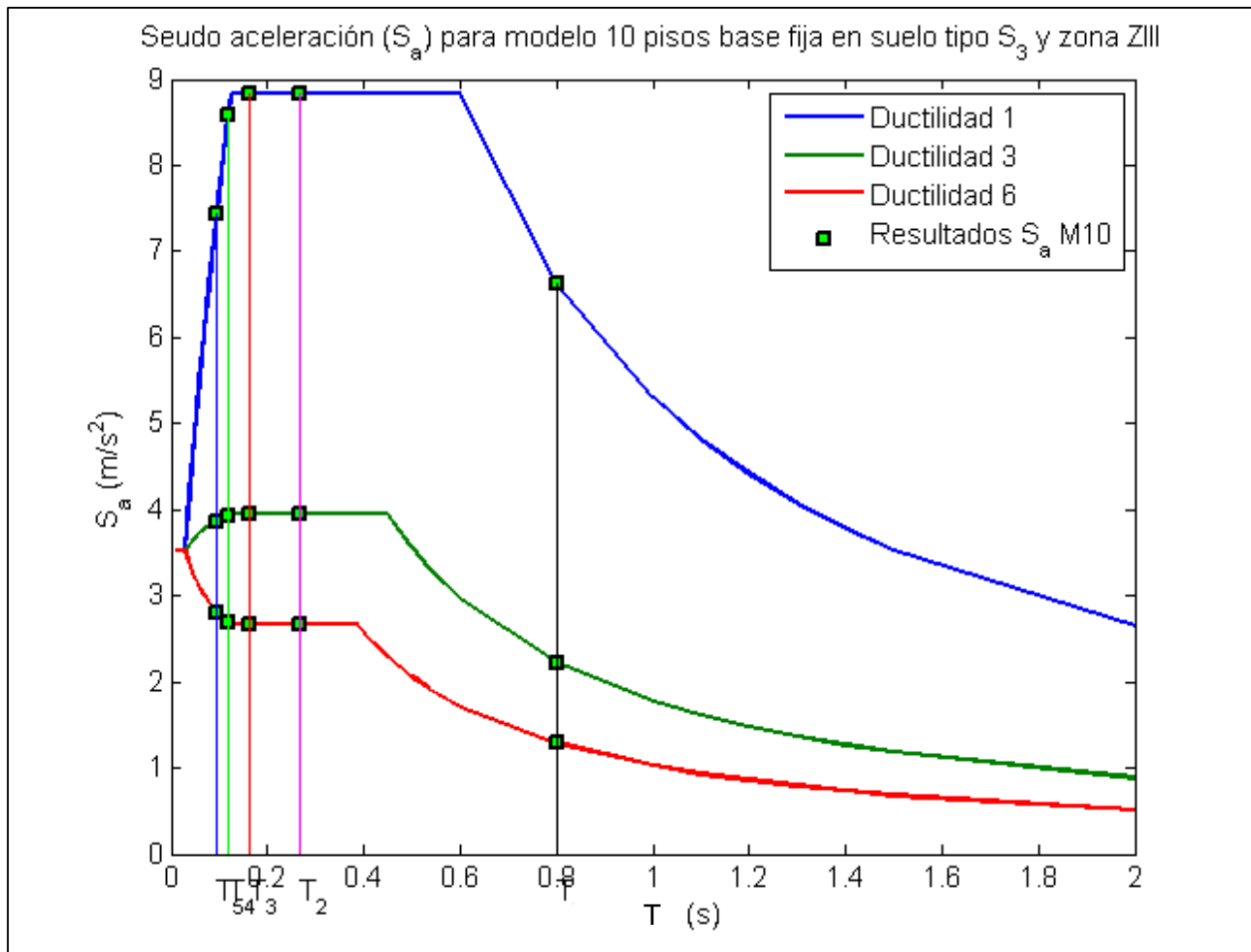


Figura 17. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de diez pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_3 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 14. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base fija en suelo s_4 .

Modos vibración	Periodos T(s)	S_a -M10BF- S_4 (m/s ²)		
		μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	0,80	8,83	3,45	2,00
Modo 2	0,27	8,83	3,95	2,66
Modo 3	0,16	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,12	8,58	3,93	2,69
Modo 5	0,10	7,44	3,87	2,81

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

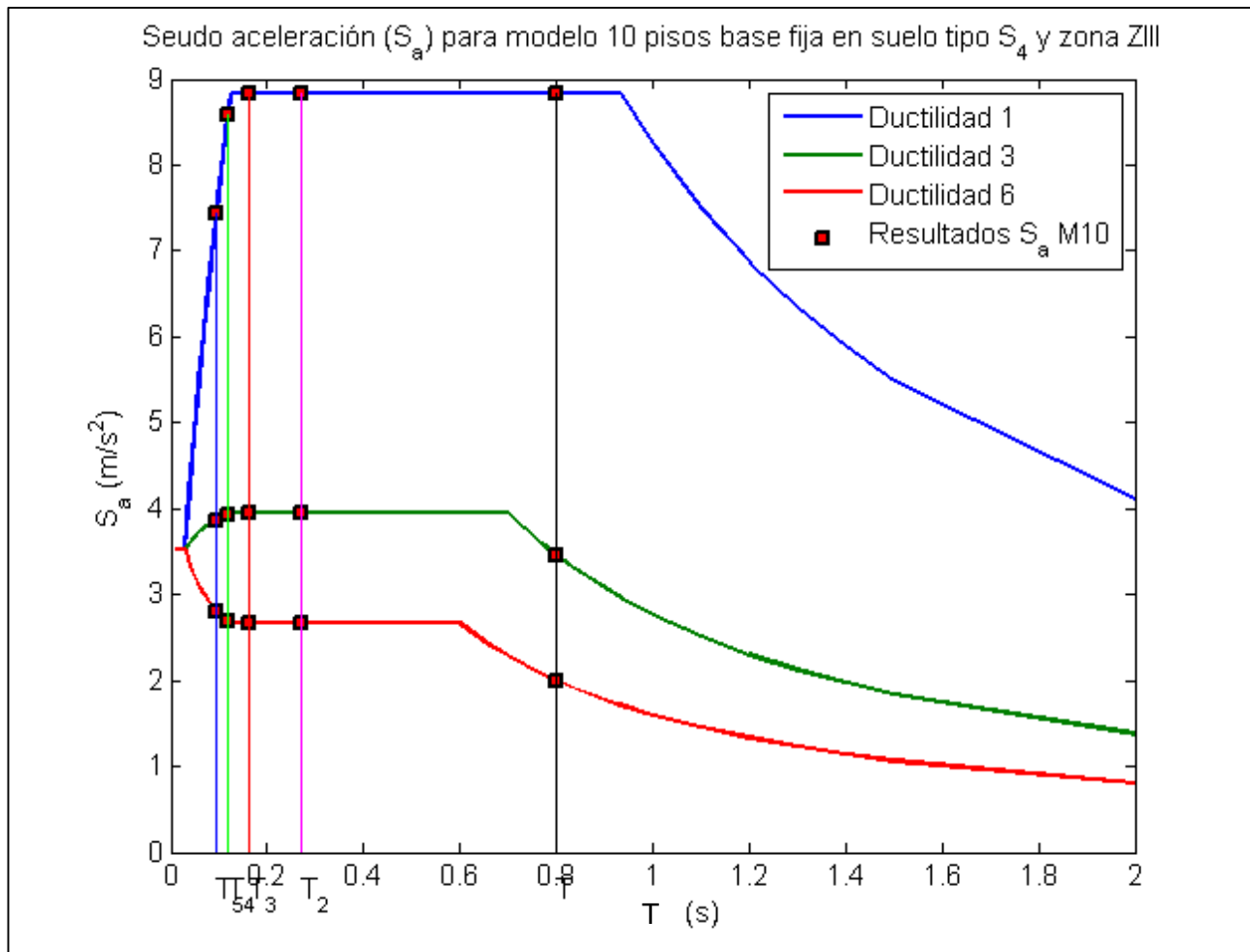


Figura 18. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de diez pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_4 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

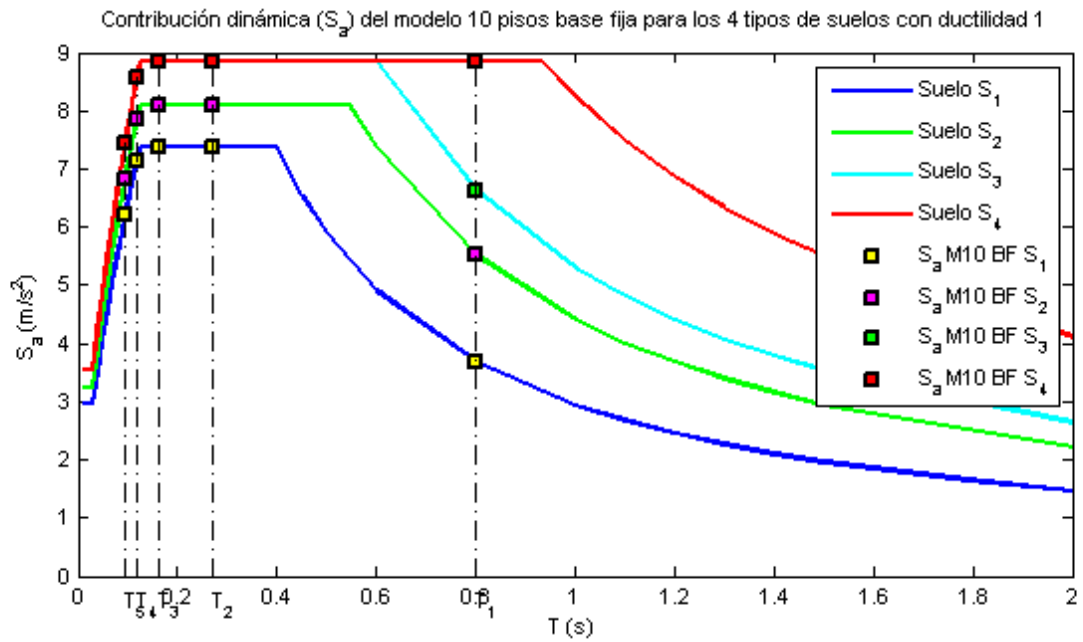


Figura 29. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

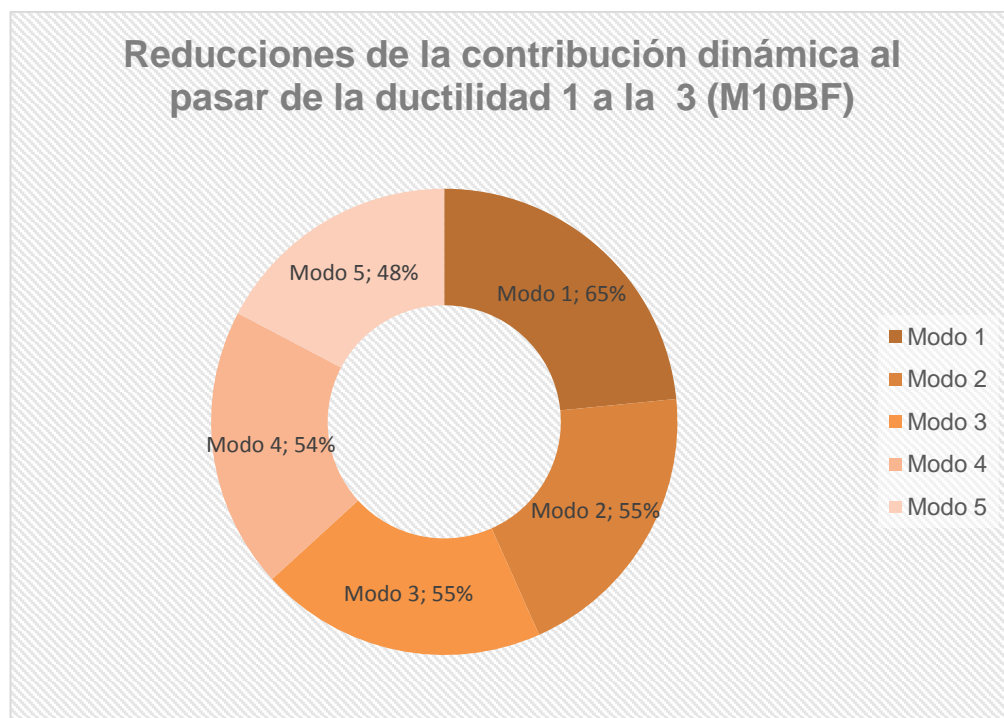


Gráfico 2 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la3 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 10 pisos base fija.

Fuente: Apéndice Z.1

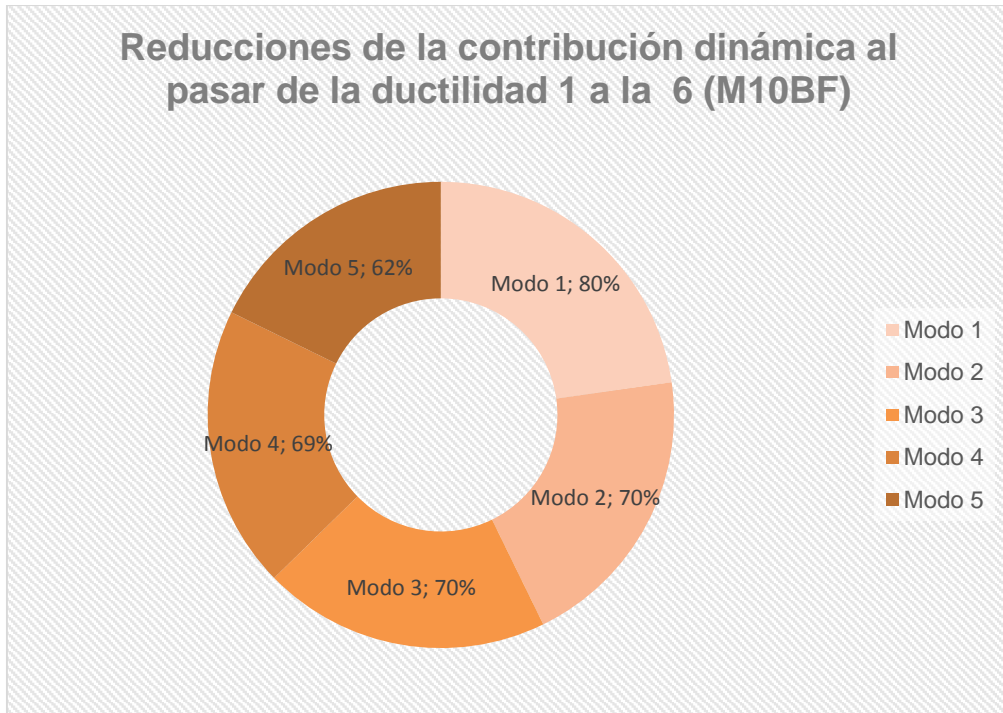


Gráfico 3 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 6 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 10 pisos base fija.

Fuente: Apéndice Z.2

Modelo de 15 pisos de base fija

Cuadro 15. Periodos obtenidos en SAP2000 para el modelo de 15 pisos.

Modos vibración	T(s)		% Diferencia
	MATLAB	SAP 2000	
Modo 1	1,18	1,18	0,23%
Modo 2	0,39	0,39	0,24%
Modo 3	0,24	0,24	0,22%
Modo 4	0,17	0,17	0,20%
Modo 5	0,14	0,14	0,16%
Modo 6	0,11	0,11	0,16%
Modo 7	0,10	0,10	0,19%
Modo 8	0,09	0,09	0,16%
Modo 9	0,08	0,08	0,12%
Modo 10	0,07	0,07	0,02%
Modo 11	0,07	0,07	0,09%
Modo 12	0,07	0,07	0,05%
Modo 13	0,06	0,06	0,08%
Modo 14	0,06	0,06	0,05%
Modo 15	0,06	0,06	0,01%

Fuente: Elaboración propia, SAP2000.Matlab.

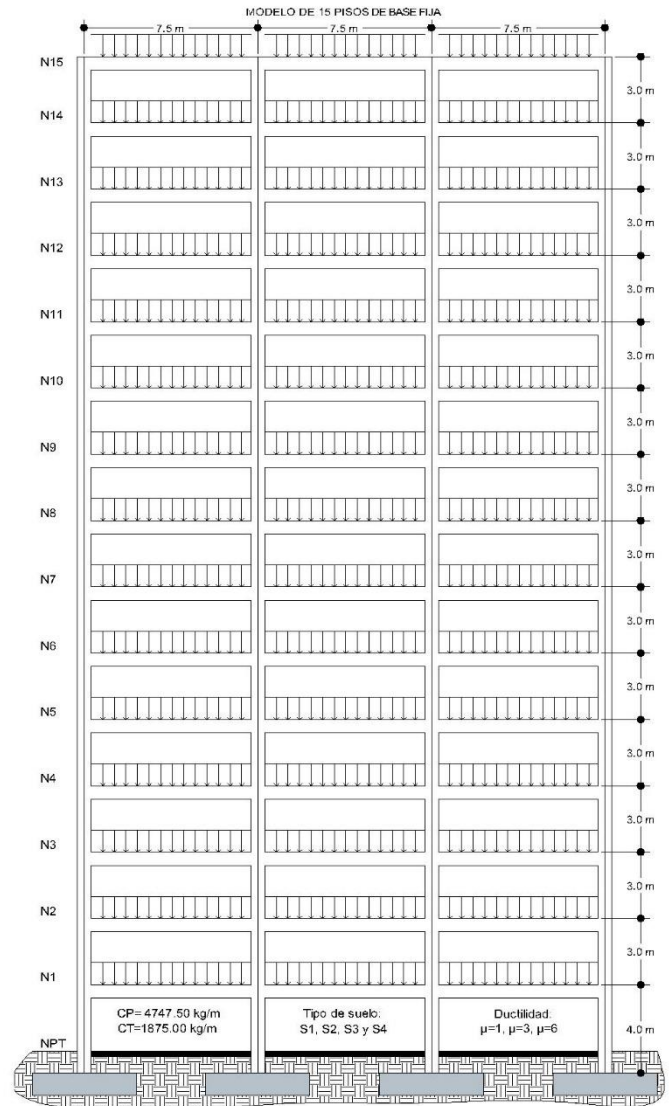


Figura 20. Esquema del modelo de 15 pisos de base fija.

Fuente: Elaboración propia, Auto cad.

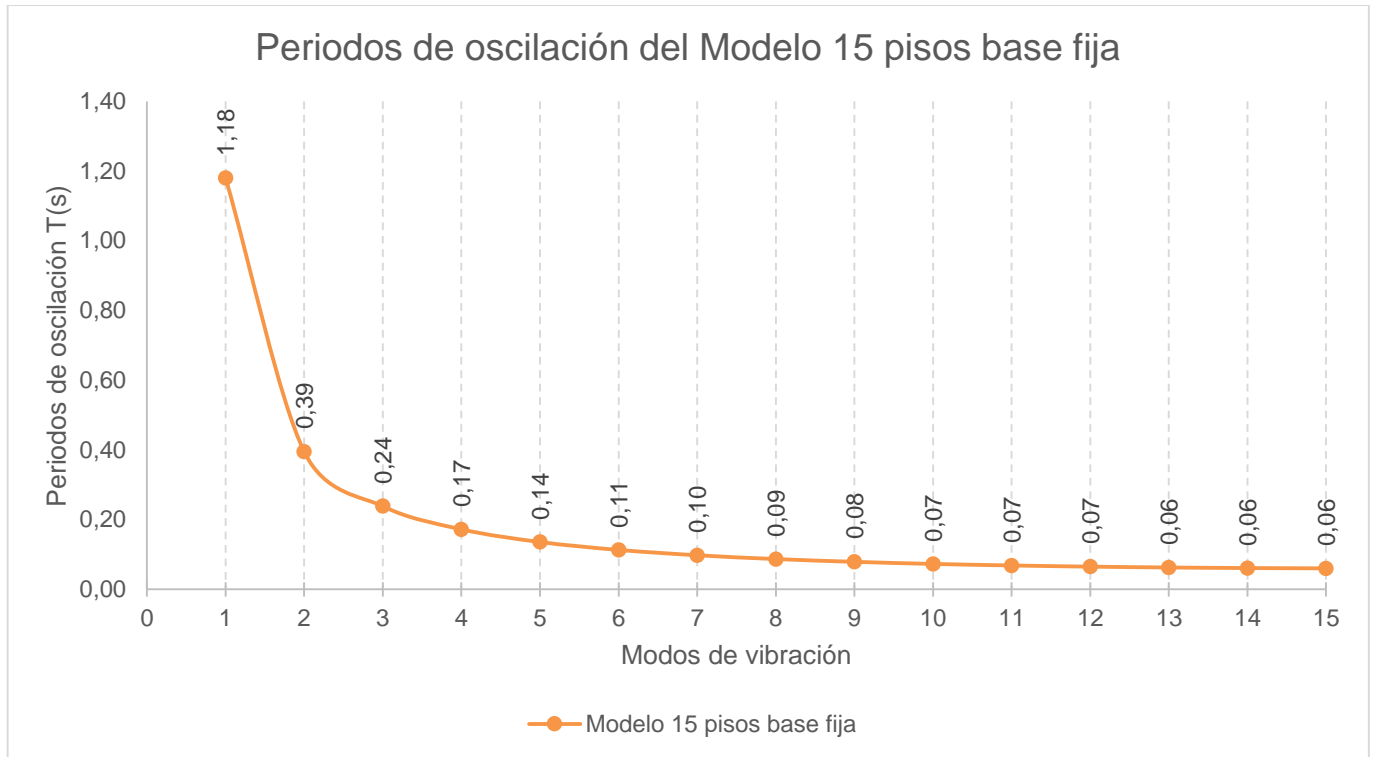


Gráfico 4. Periodos de oscilación del modelo de 15 pisos de base fija obtenidos en Matlab.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

Cuadro 16. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base fija en suelo s_1 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M10BF- S_1 (m/s ²)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,18	2,50	0,84	0,48
Modo 2	0,39	7,36	2,50	1,45
Modo 3	0,24	7,36	3,29	2,22
Modo 4	0,17	7,36	3,29	2,22
Modo 5	0,14	7,36	3,29	2,22

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

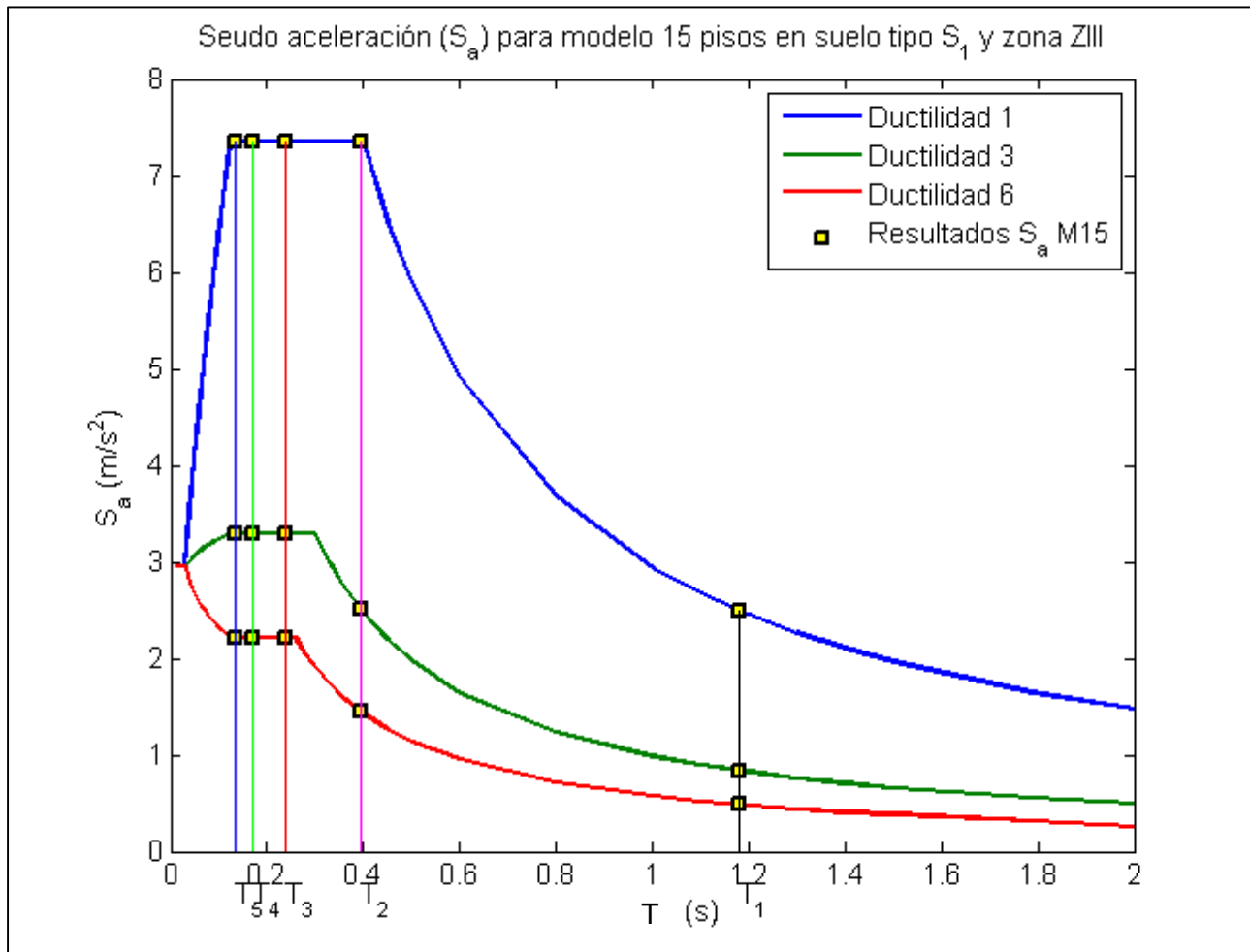


Figura 21. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 15 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_1 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 17. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base fija en suelo s_2 .

Modos vibración	Periodos T(s)	S_a -M10BF- S_2 (m/s ²)		
		μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,18	3,74	1,25	0,73
Modo 2	0,39	8,09	3,62	2,17
Modo 3	0,24	8,09	3,62	2,44
Modo 4	0,17	8,09	3,62	2,44
Modo 5	0,14	8,09	3,62	2,44

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

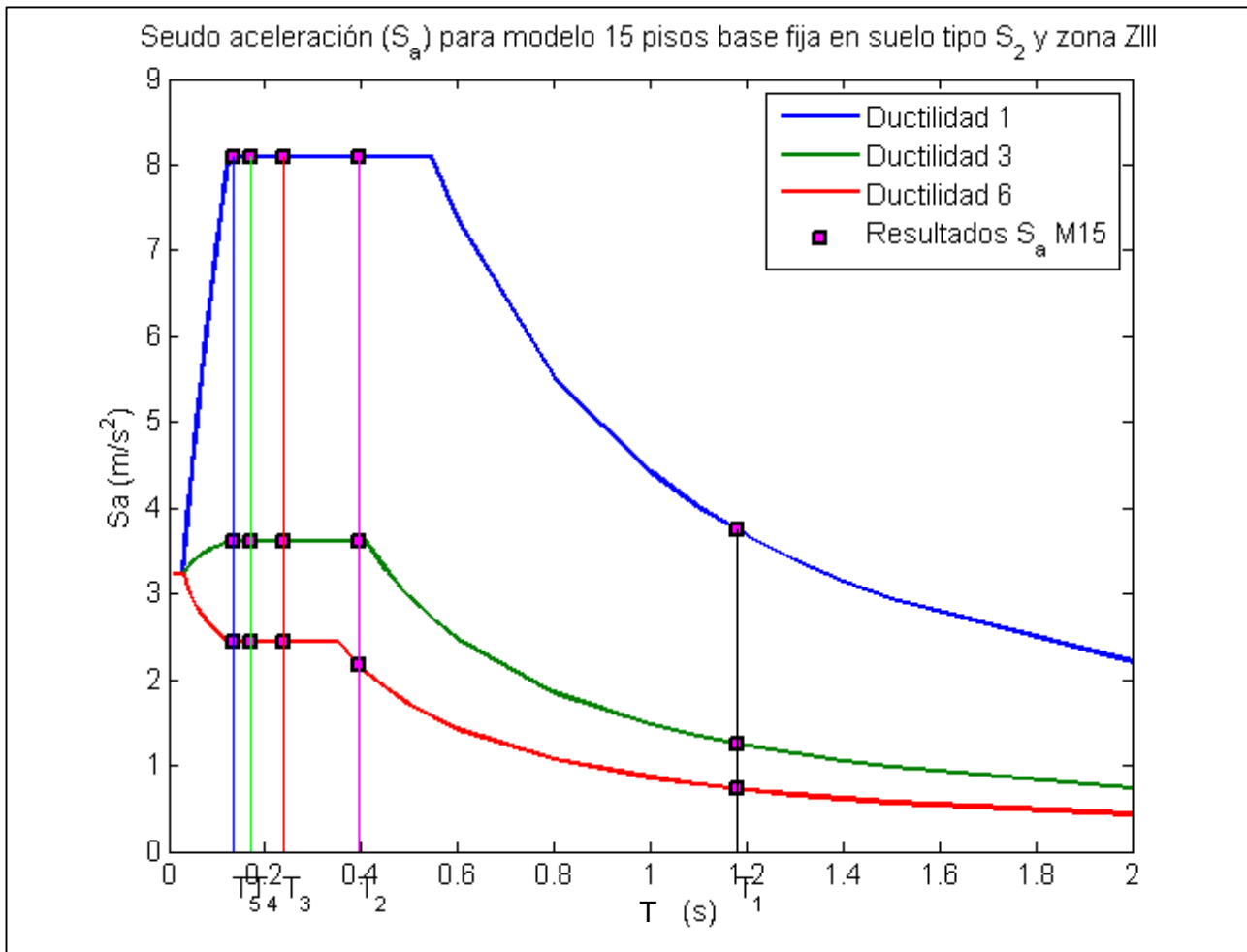


Figura 22. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 15 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_2 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 18. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base fija en suelo s_3 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M10BF- S_3 (m/s ²)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,18	4,49	1,51	0,87
Modo 2	0,39	8,83	3,95	2,60
Modo 3	0,24	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,17	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,14	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

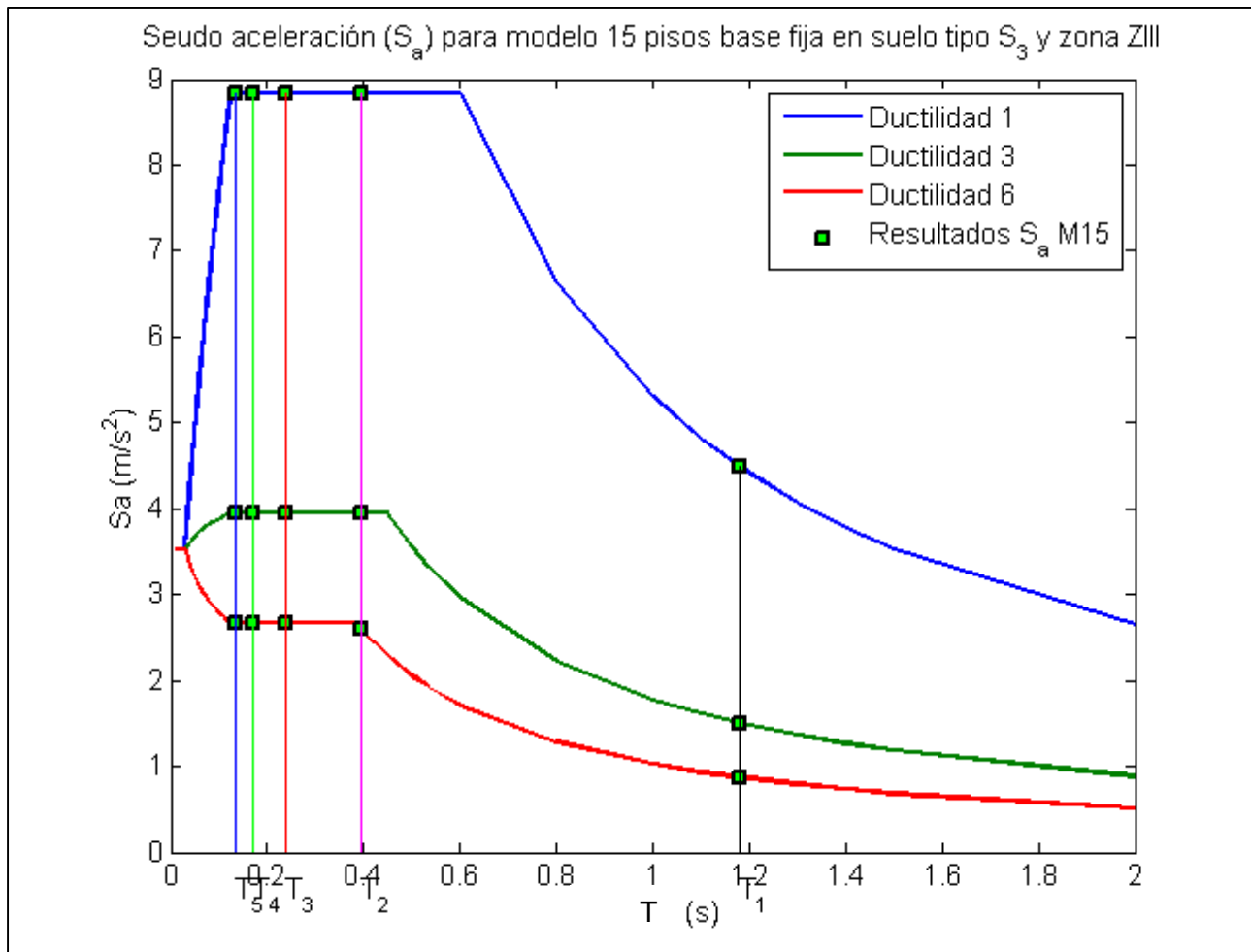


Figura 23. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 15 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_3 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 19. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base fija en suelo s_4 .

Modos vibración	Periodos T(s)	S_a -M10BF- S_4 (m/s ²)		
		μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,18	6,99	2,34	1,36
Modo 2	0,39	8,83	3,95	2,66
Modo 3	0,24	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,17	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,14	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

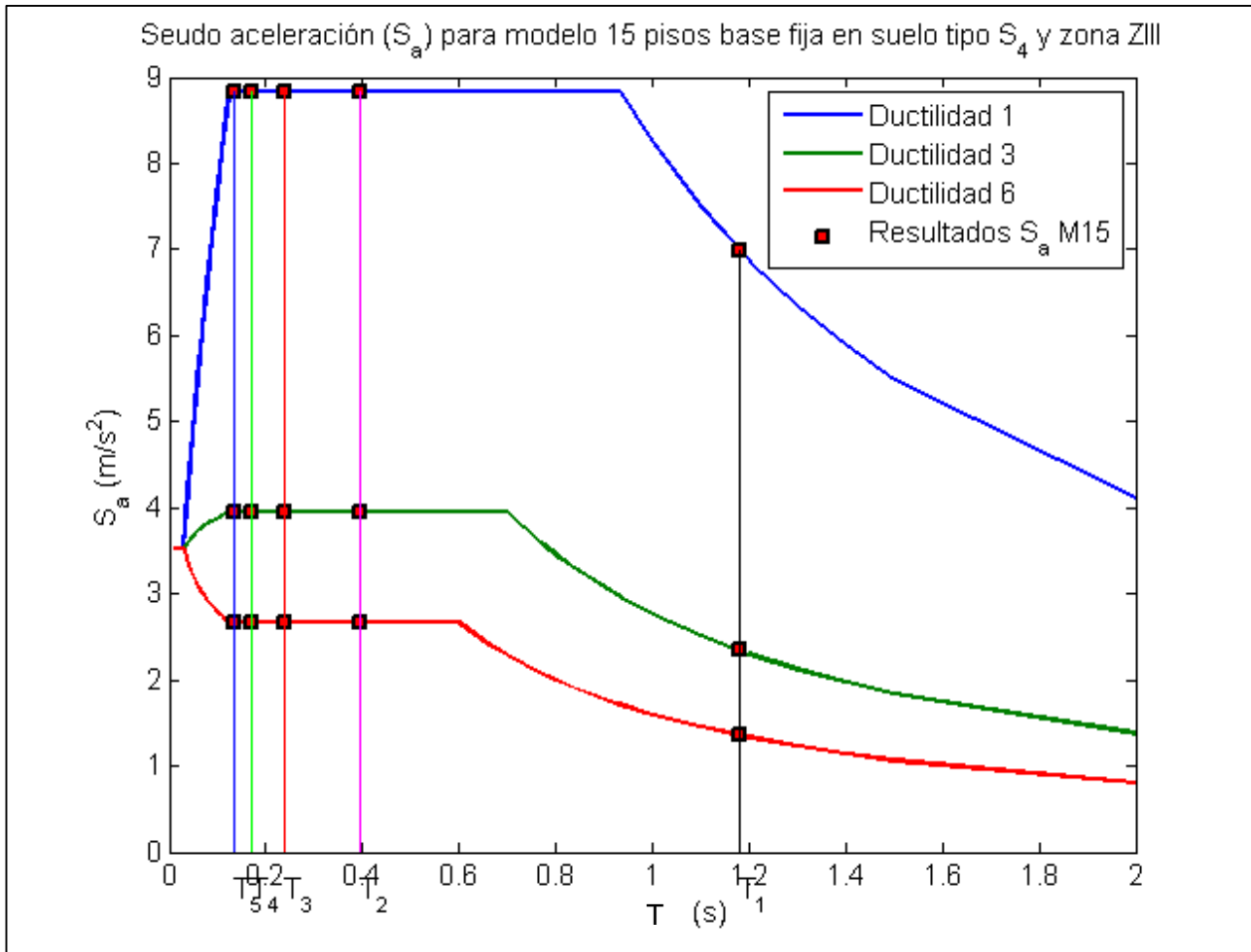


Figura 24. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 15 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_4 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

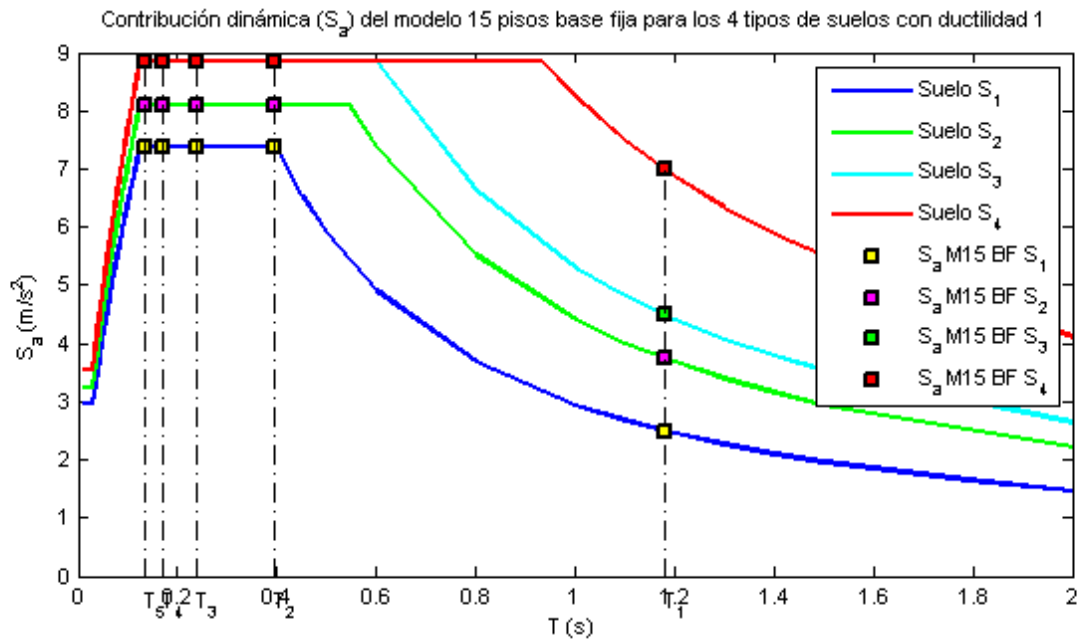


Figura 25. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

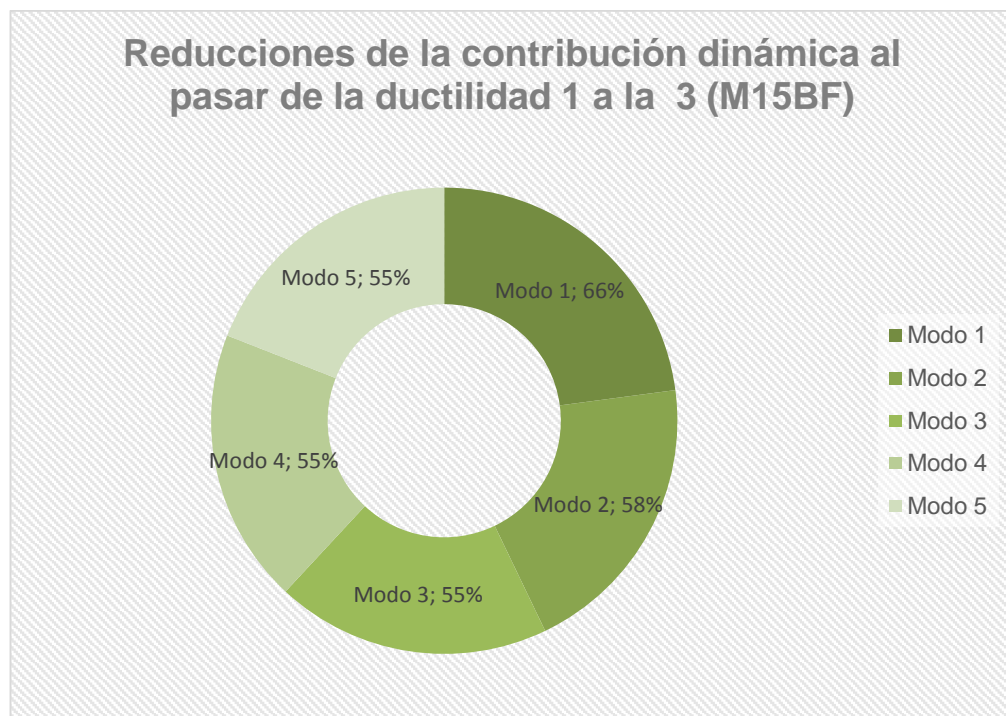


Gráfico 5 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 15 pisos base fija.

Fuente: Apéndice Z.3

Reducciones de la contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 6 (M15BF)

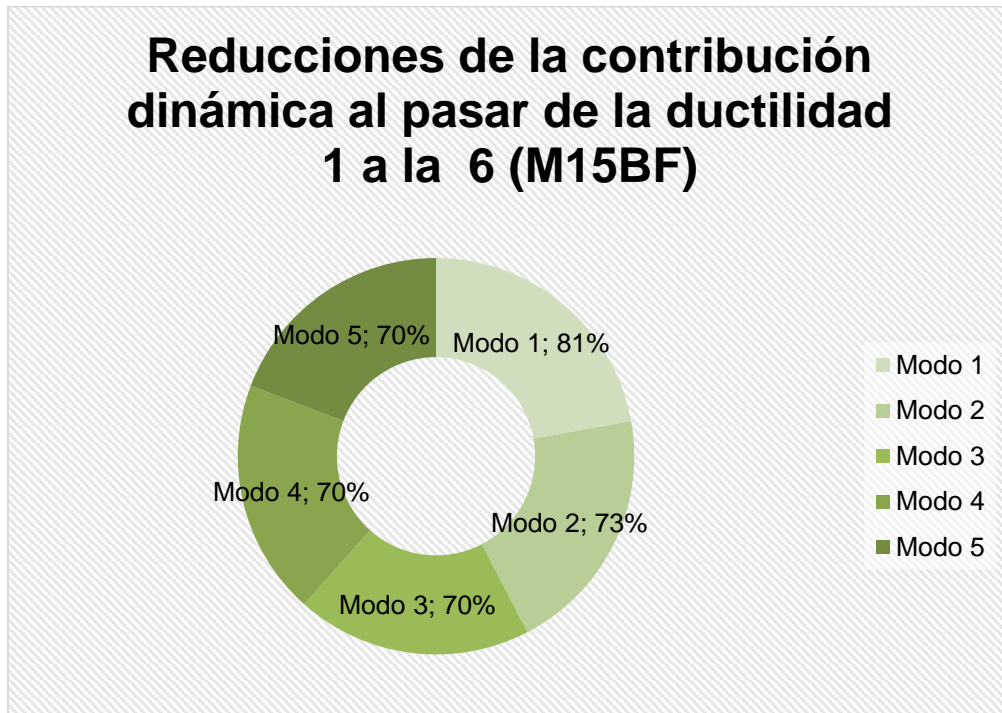


Gráfico 6 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 6 *en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 15 pisos base fija.*

Fuente: Apéndice Z.4

Modelo de 20 pisos de base fija

Cuadro 20. Periodos obtenidos en SAP2000 para el modelo de 20 pisos.

Modos vibración	T(s)		% Diferencia
	MATLAB	SAP 2000	
Modo 1	1,56	1,56	0,18%
Modo 2	0,52	0,52	0,16%
Modo 3	0,31	0,31	0,18%
Modo 4	0,23	0,23	0,16%
Modo 5	0,18	0,18	0,13%
Modo 6	0,15	0,15	0,12%
Modo 7	0,13	0,13	0,11%
Modo 8	0,11	0,11	0,14%
Modo 9	0,10	0,10	0,10%
Modo 10	0,09	0,09	0,04%
Modo 11	0,08	0,08	0,12%
Modo 12	0,08	0,08	0,08%
Modo 13	0,07	0,07	0,07%
Modo 14	0,07	0,07	0,03%
Modo 15	0,07	0,07	0,02%
Modo 16	0,06	0,06	0,09%
Modo 17	0,06	0,06	0,00%
Modo 18	0,06	0,06	0,00%
Modo 19	0,06	0,06	0,01%
Modo 20	0,06	0,06	0,06%

Fuente: Elaboración propia, SAP2000.Matlab

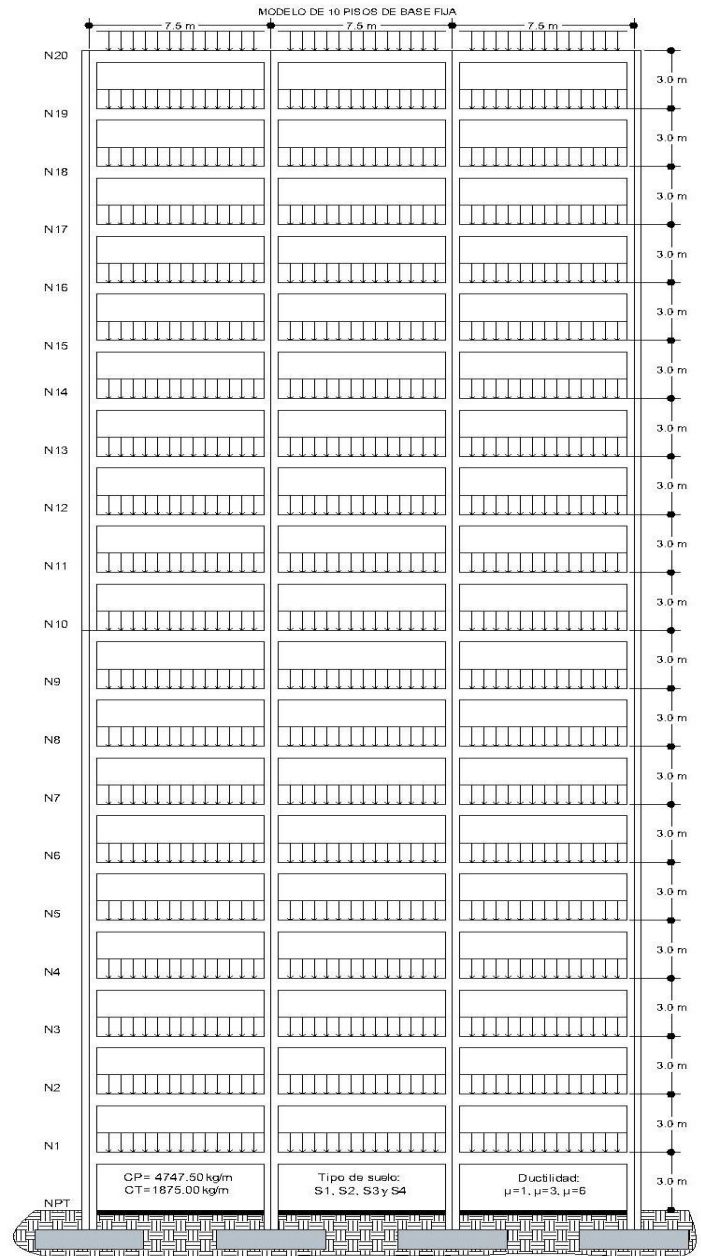


Figura 26. Esquema del modelo de 20 pisos de base fija.

Fuente: Elaboración propia, Auto cad.

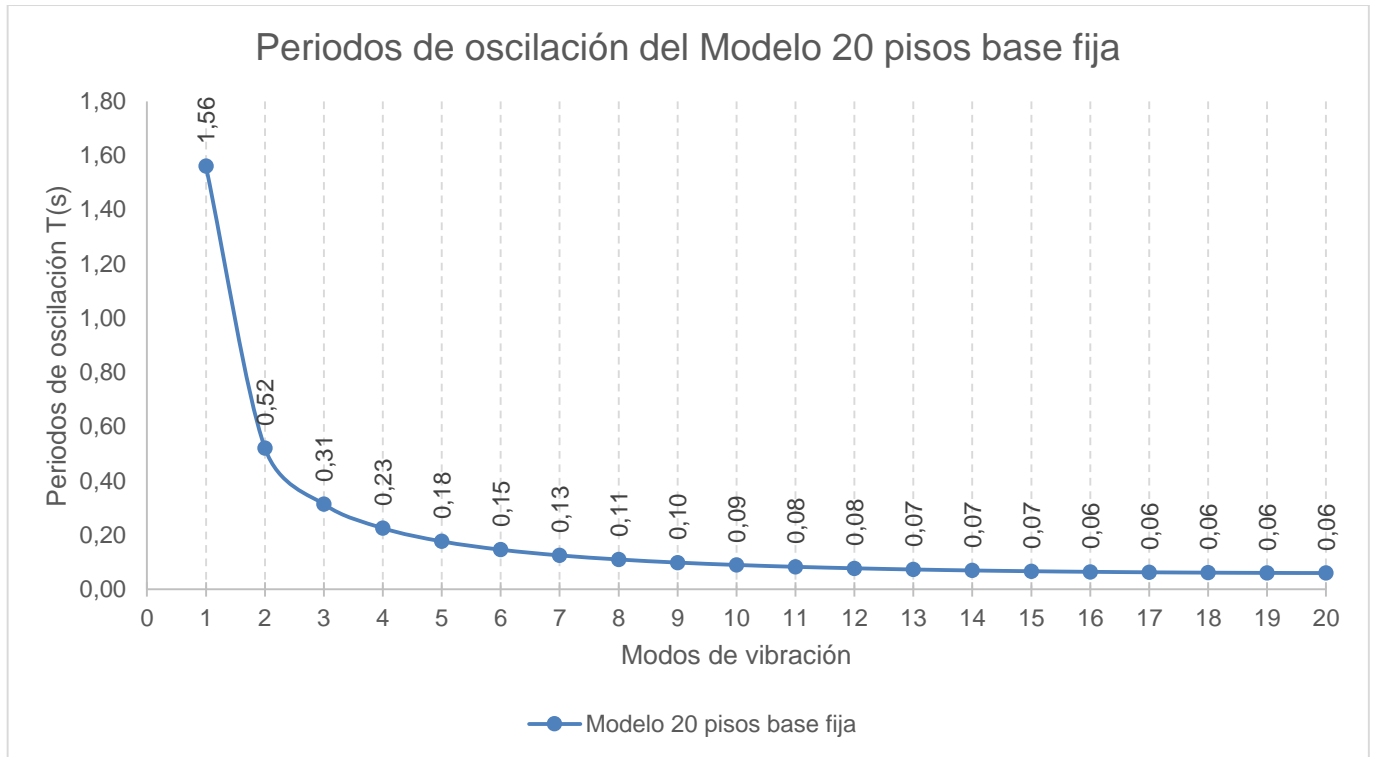


Gráfico 7. Periodos de oscilación del modelo de 10 pisos de base fija

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

Cuadro 21. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base fija en suelo s_1 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M20BF- S_1 (m/s^2)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,56	1,90	0,63	0,37
Modo 2	0,52	5,68	1,90	1,10
Modo 3	0,31	7,36	3,15	1,82
Modo 4	0,23	7,36	3,29	2,22
Modo 5	0,18	7,36	3,29	2,22

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

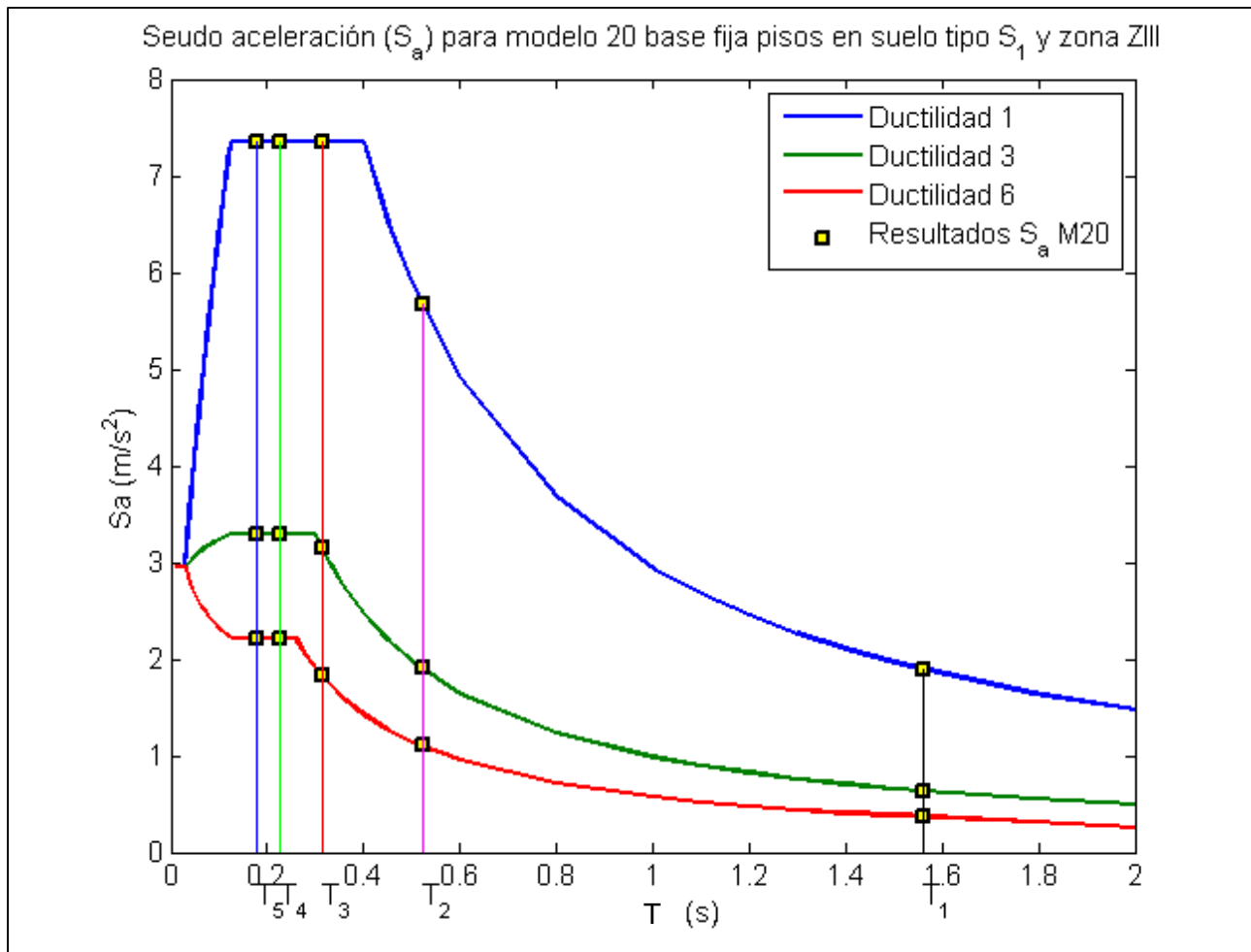


Figura 27. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 20 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_1 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 22. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base fija en suelo s_2 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M20BF- S_2 (m/s ²)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,56	2,85	0,96	0,55
Modo 2	0,52	8,09	2,84	1,65
Modo 3	0,31	8,09	3,62	2,44
Modo 4	0,23	8,09	3,62	2,44
Modo 5	0,18	8,09	3,62	2,44

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

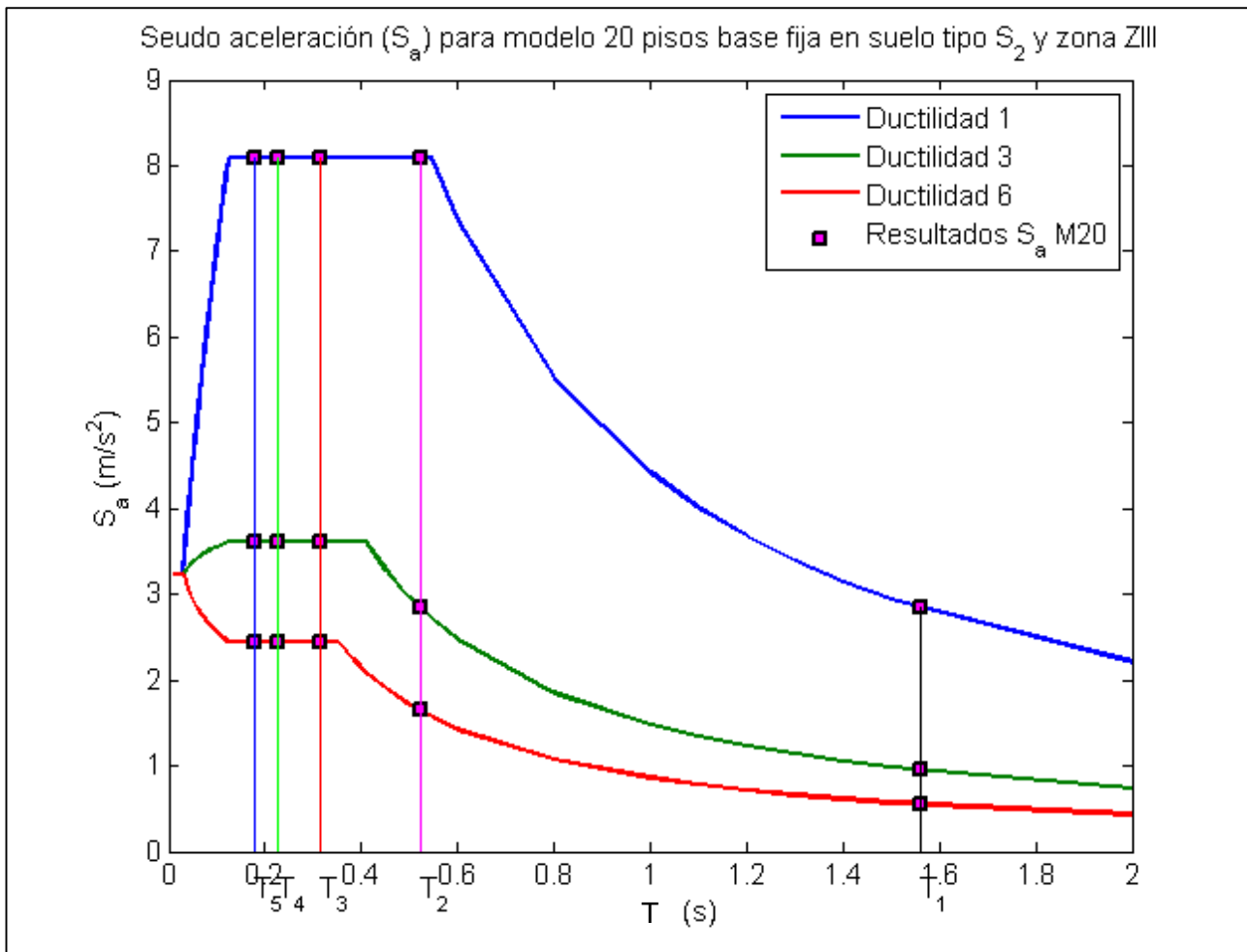


Figura 28. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 15 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_2 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 23. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base fija en suelo s_3 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M20BF- S_3 (m/s ²)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,56	3,42	1,15	0,66
Modo 2	0,52	8,83	3,41	1,97
Modo 3	0,31	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,23	8,83	3,95	2,66
0,176800	0,18	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

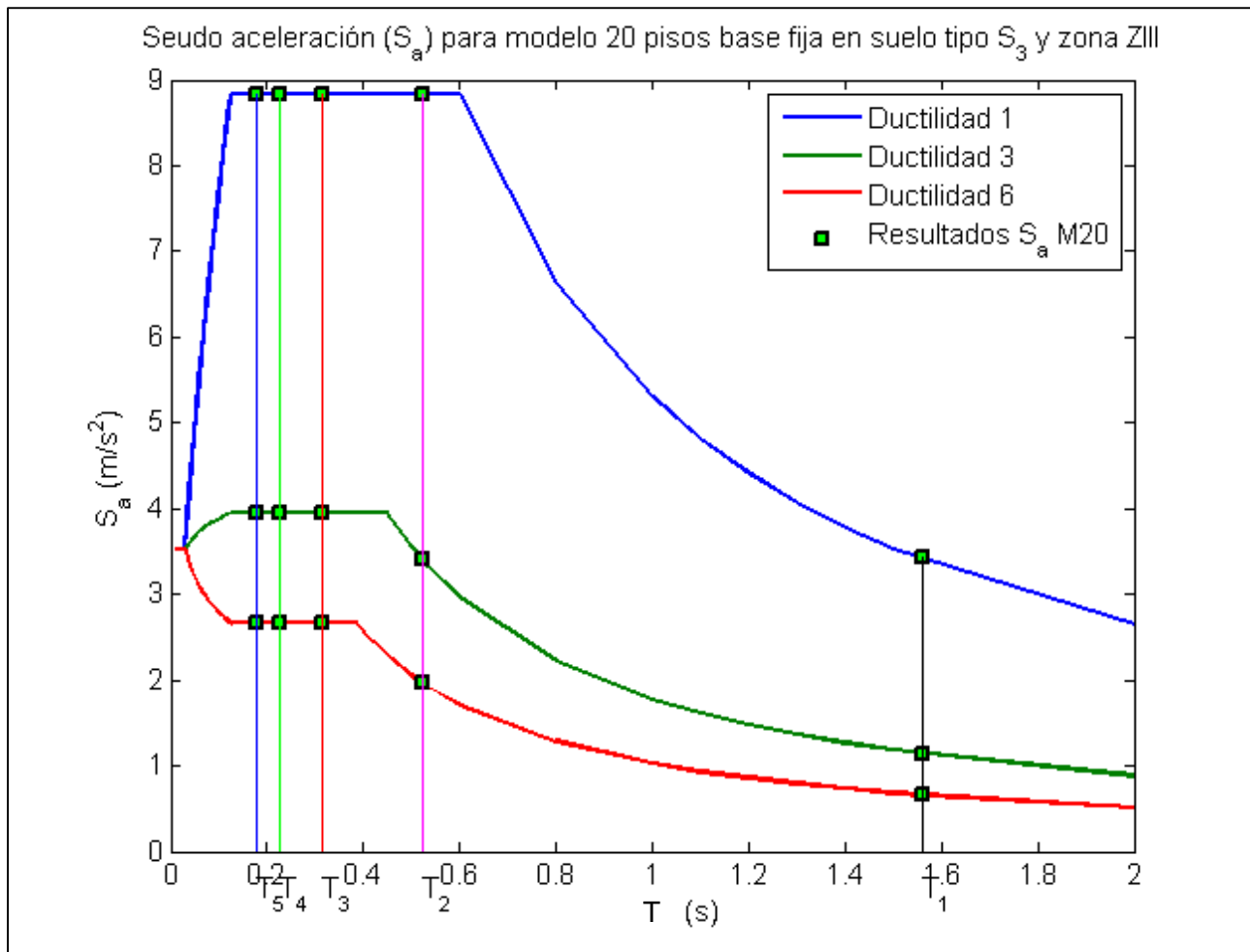


Figura 29. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 20 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_3 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 24. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base fija en suelo s_4 .

Modos vibración	Periodos	S_a -M20BF- S_4 (m/s ²)		
	T(s)	μ_1	μ_3	μ_6
Modo 1	1,56	5,33	1,78	1,03
Modo 2	0,52	8,83	3,95	2,66
Modo 3	0,31	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,23	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,18	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

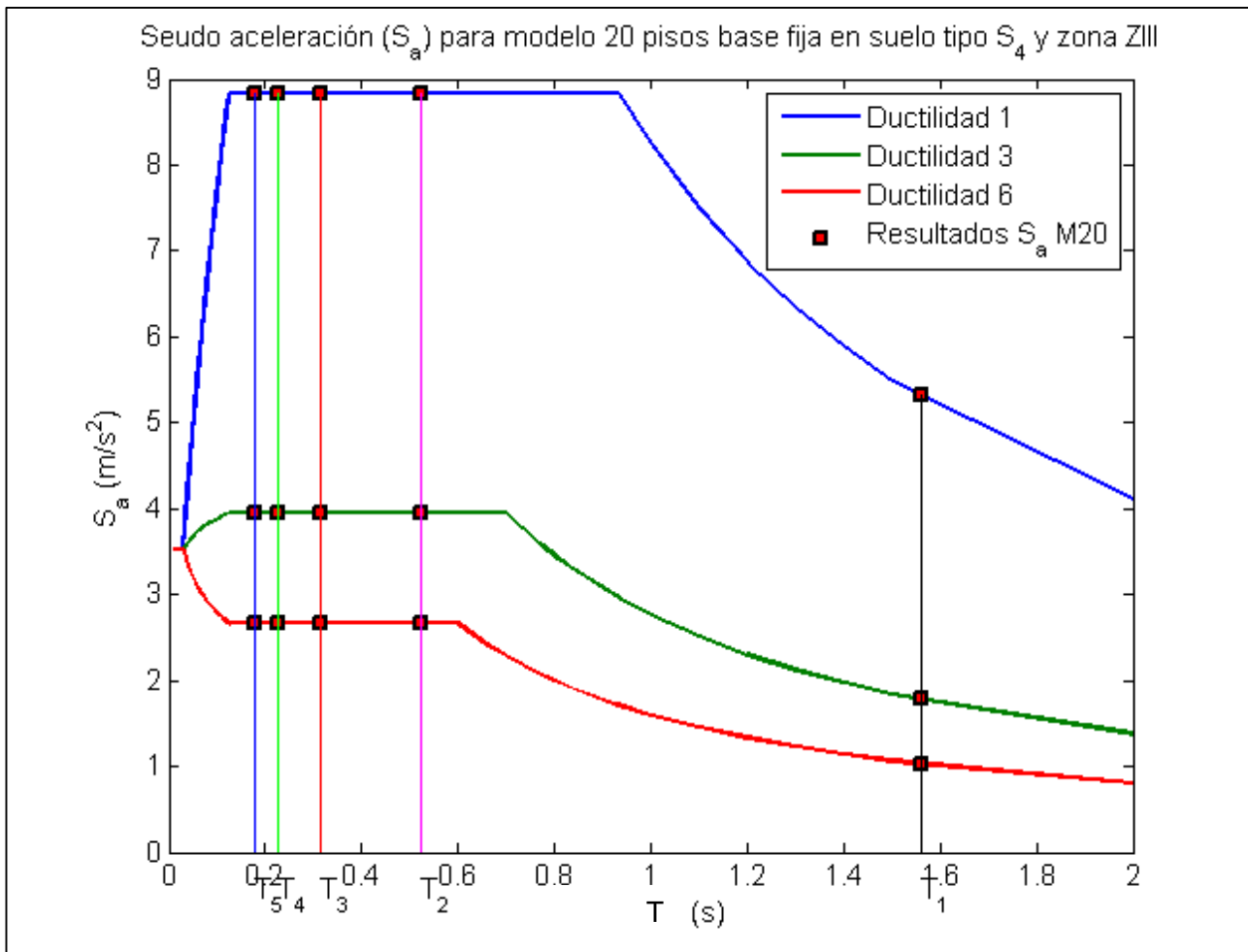


Figura 30. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 20 pisos para los periodos obtenidos en suelos tipo S_4 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

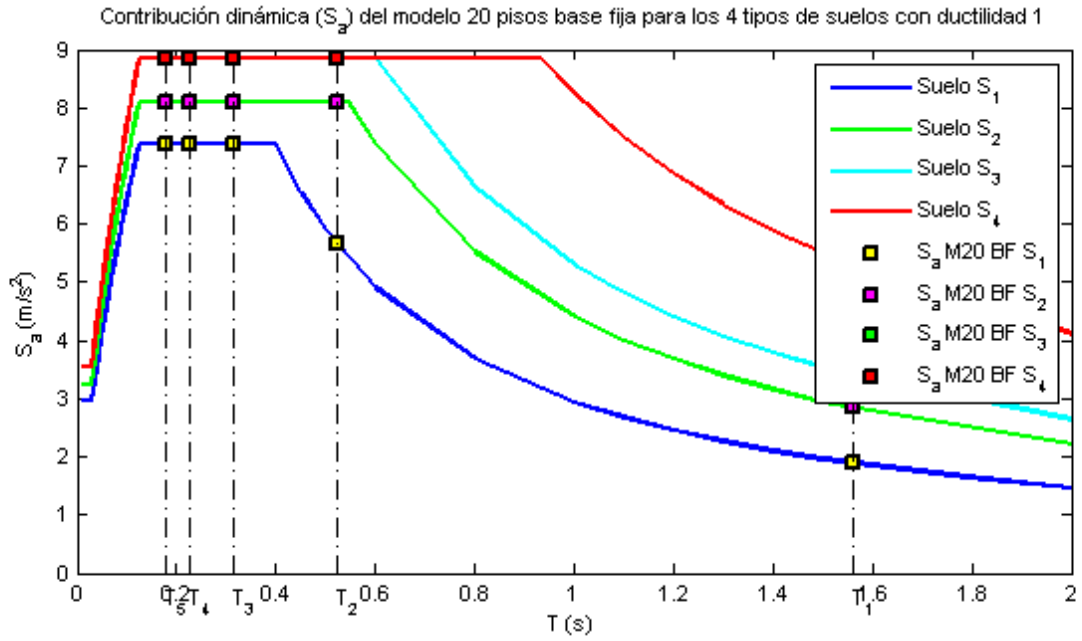


Figura 31. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

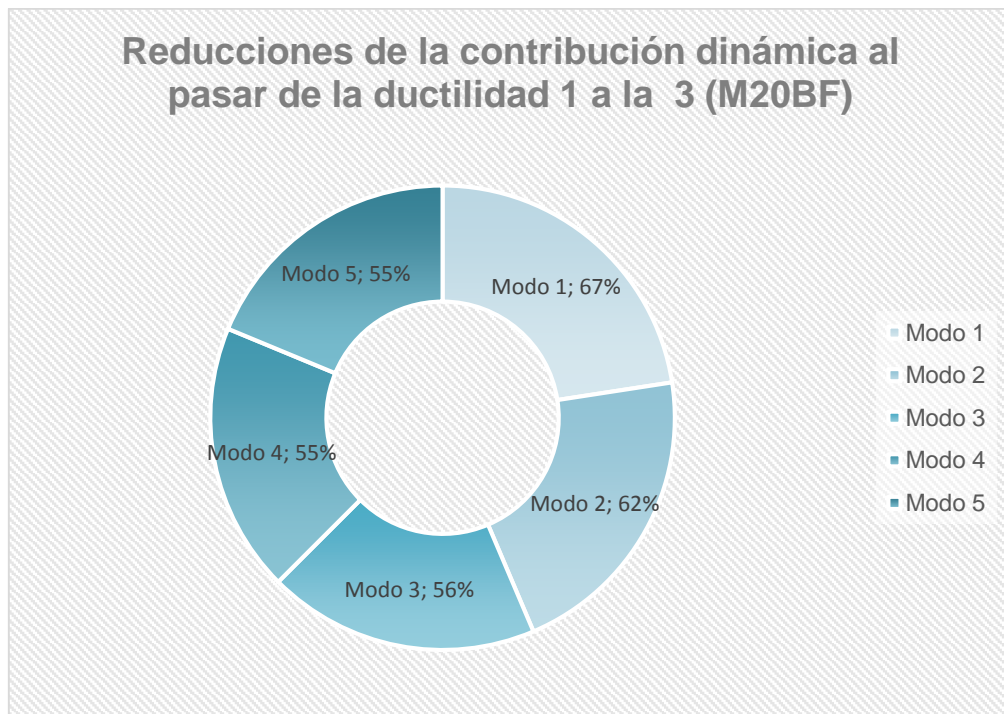


Gráfico 8 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 20 pisos base fija.

Fuente: Apéndice Z.5

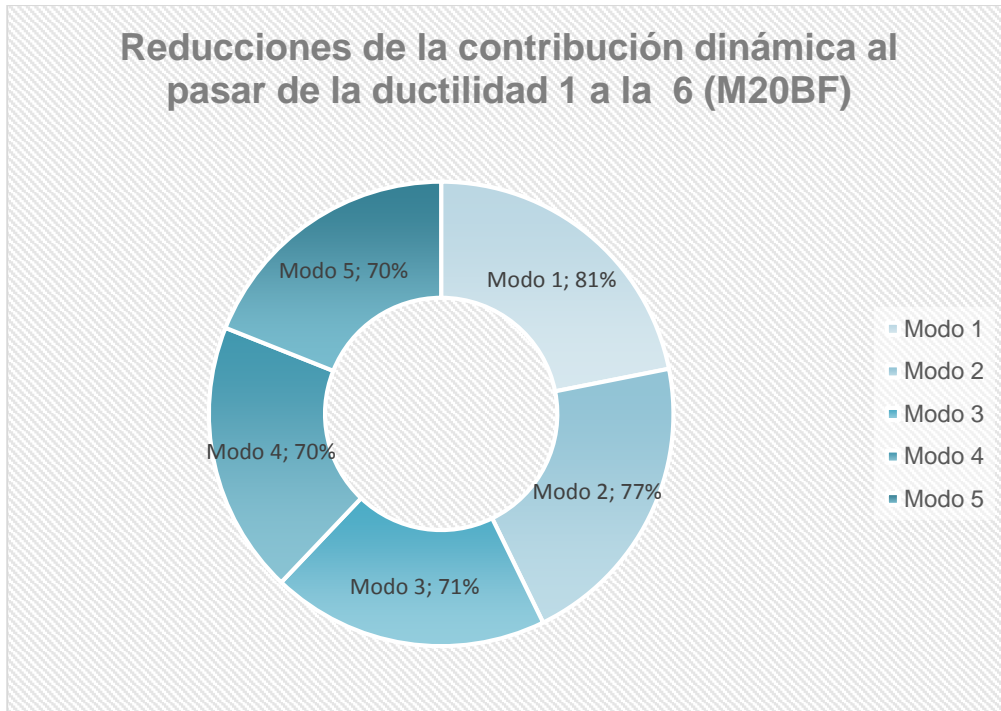


Gráfico 9 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 20 pisos base fija.

Fuente: Apéndice Z.6

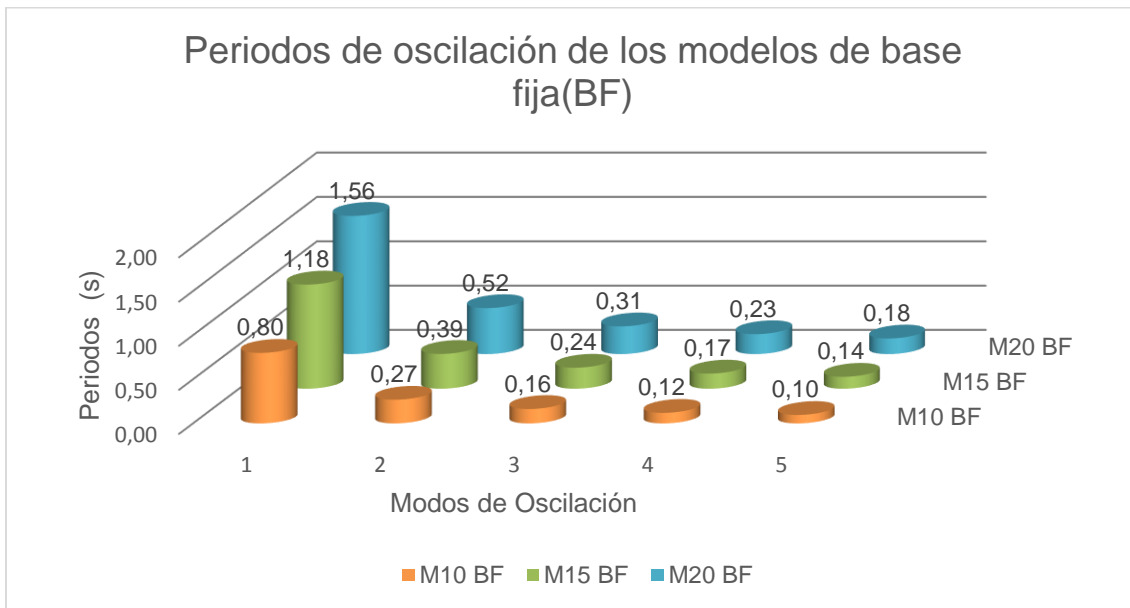


Gráfico 10. Periodos de los tres modelos de 10 pisos, 15 pisos y 20 pisos de base fija.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

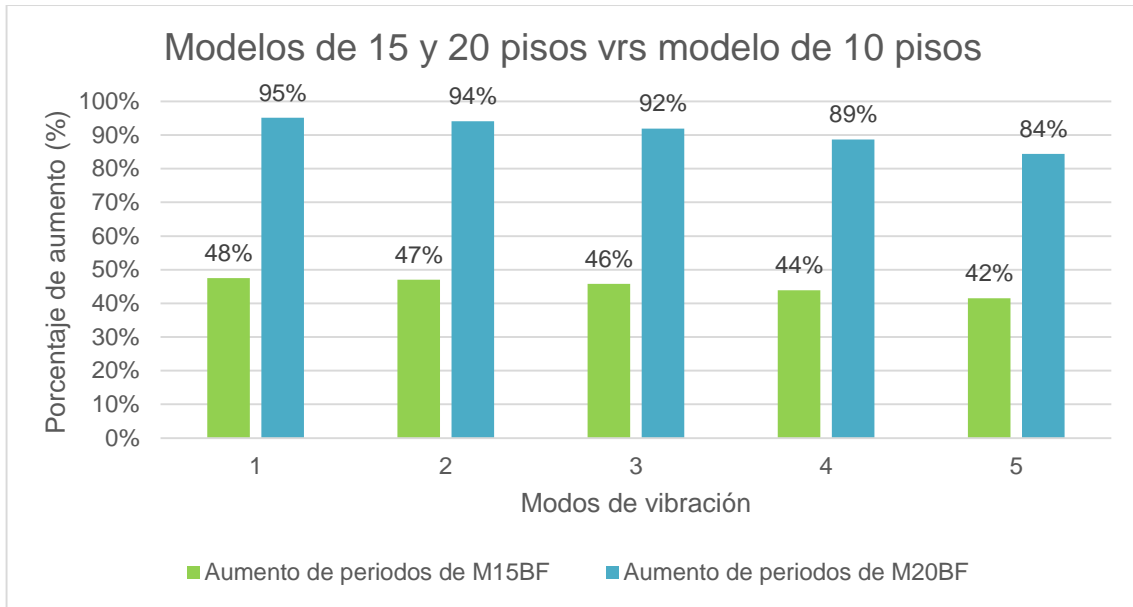


Gráfico 11. Comparación de los periodos de los modelos de 15 y 20 pisos de bases fijas con el modelo de 10 pisos de base fija.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

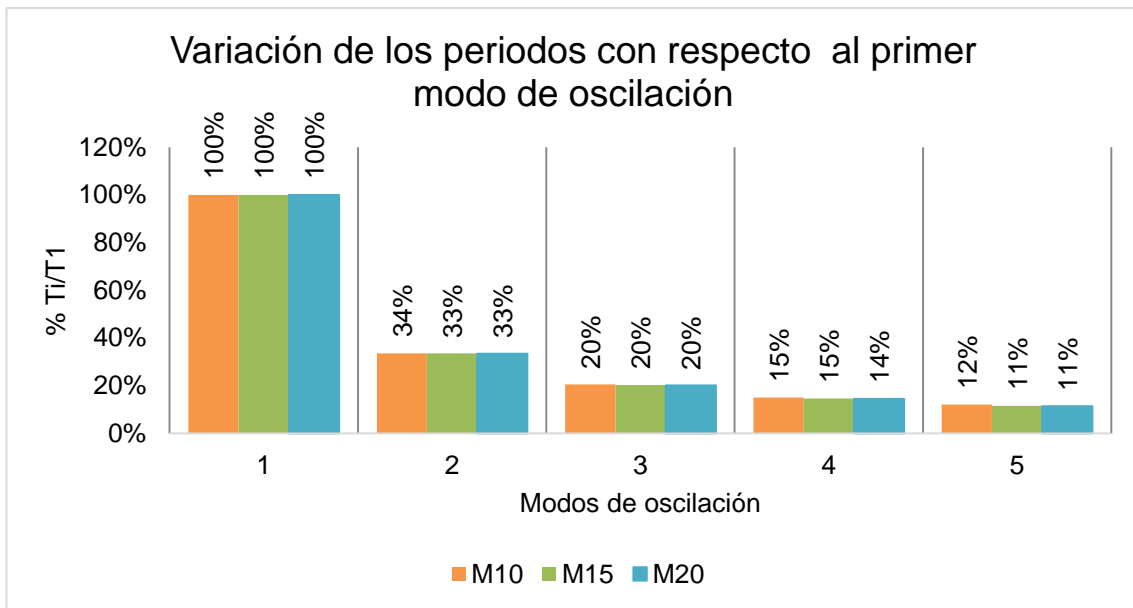


Gráfico 12. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

Modelo de 10 pisos de base aislada

Cuadro 25. Periodos obtenidos en Matlab para el modelo de 10 pisos de base aislada.

Modos de Vibración	Periodos
	T(s)
Modo 1	2,32
Modo 2	0,40
Modo 3	0,21
Modo 4	0,14
Modo 5	0,11
Modo 6	0,09
Modo 7	0,08
Modo 8	0,07
Modo 9	0,07
Modo 10	0,06

Fuente: Elaboración propia, Matlab.

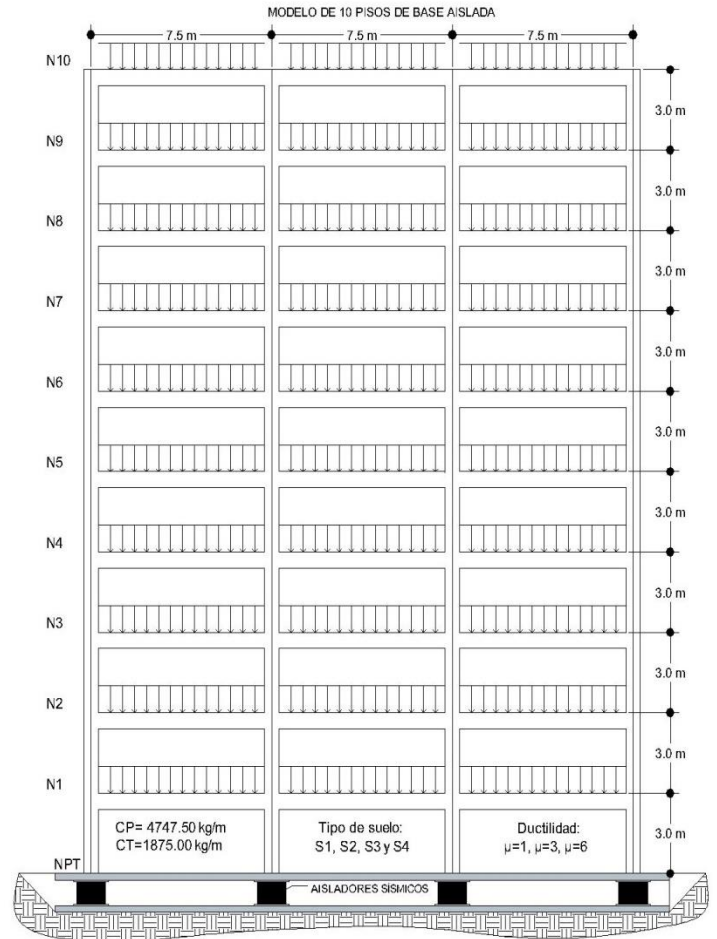


Figura 32. Esquema del modelo de 10 pisos de base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software Auto Cad

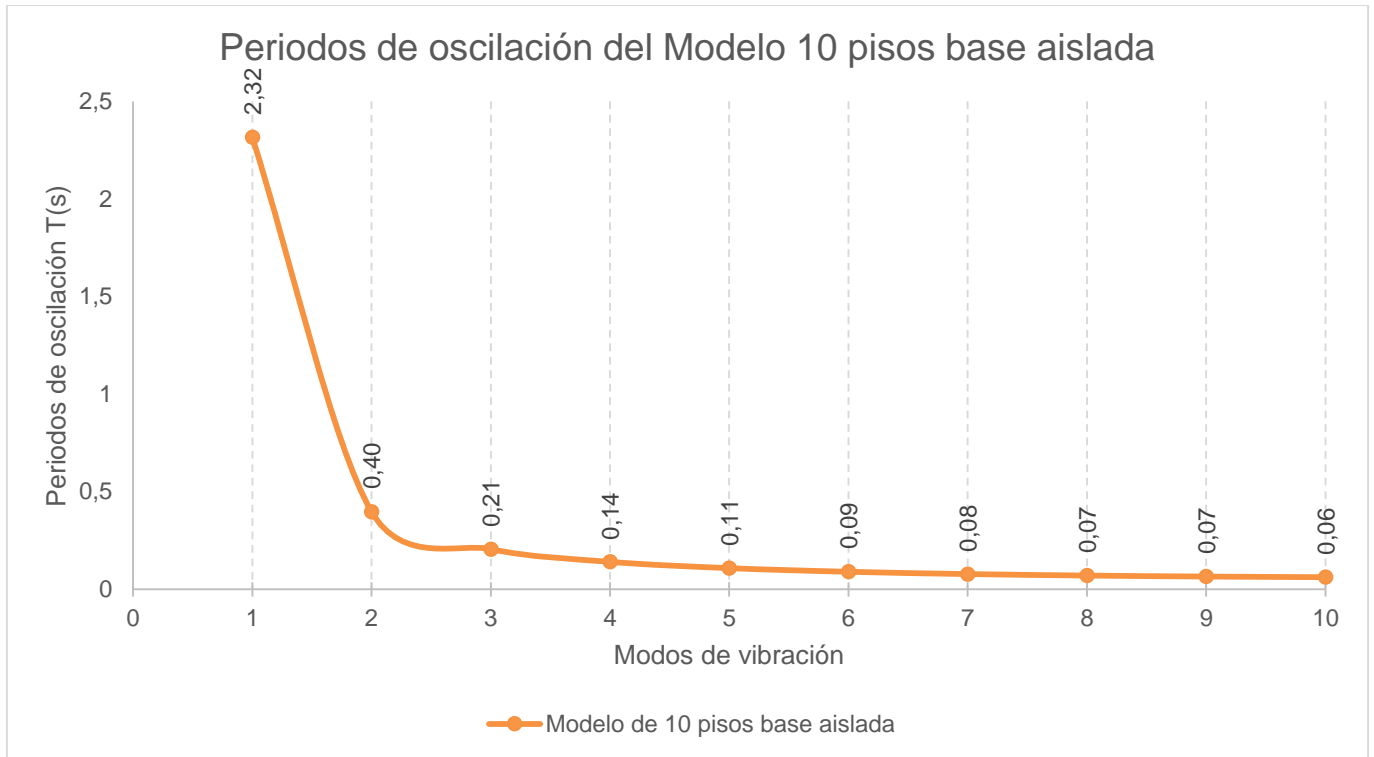


Gráfico 13. Periodos de oscilación del modelo de 10 pisos de base aislada obtenidos en Matlab.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

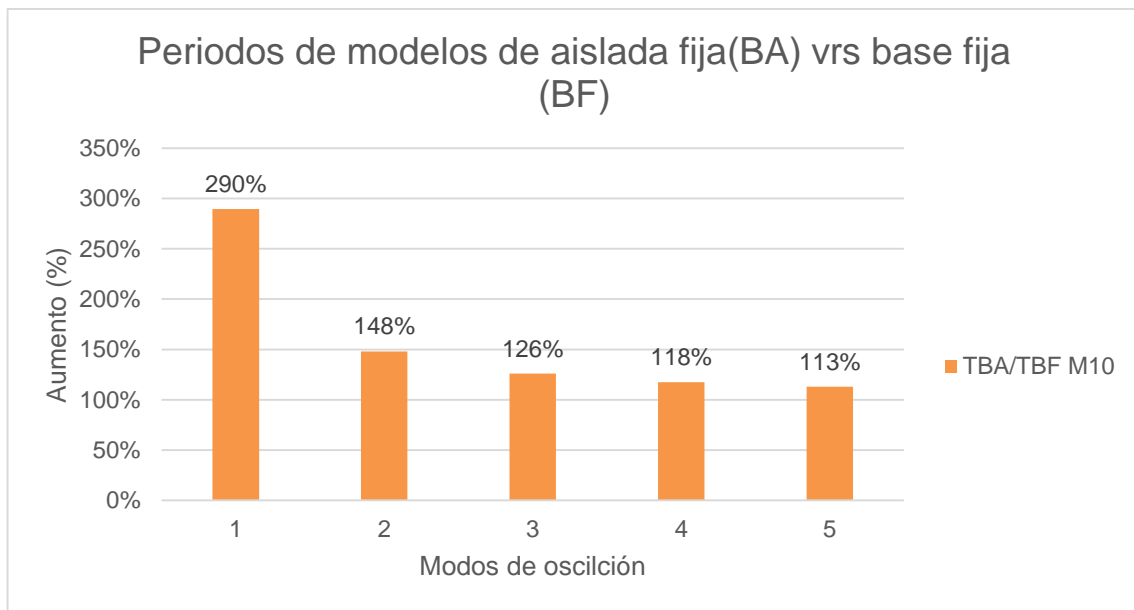


Gráfico 14. Comparación de los periodos de los modelos de base fija con los de base aislada, 10 pisos.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

Cuadro 26. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base aislada en suelo S₁.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M10BA-S ₁ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,32	1,27	0,42	0,19
Modo 2	0,40	7,36	2,48	1,44
Modo 3	0,21	7,36	3,29	2,22
Modo 4	0,14	7,36	3,29	2,22
Modo 5	0,11	6,71	3,25	2,28

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

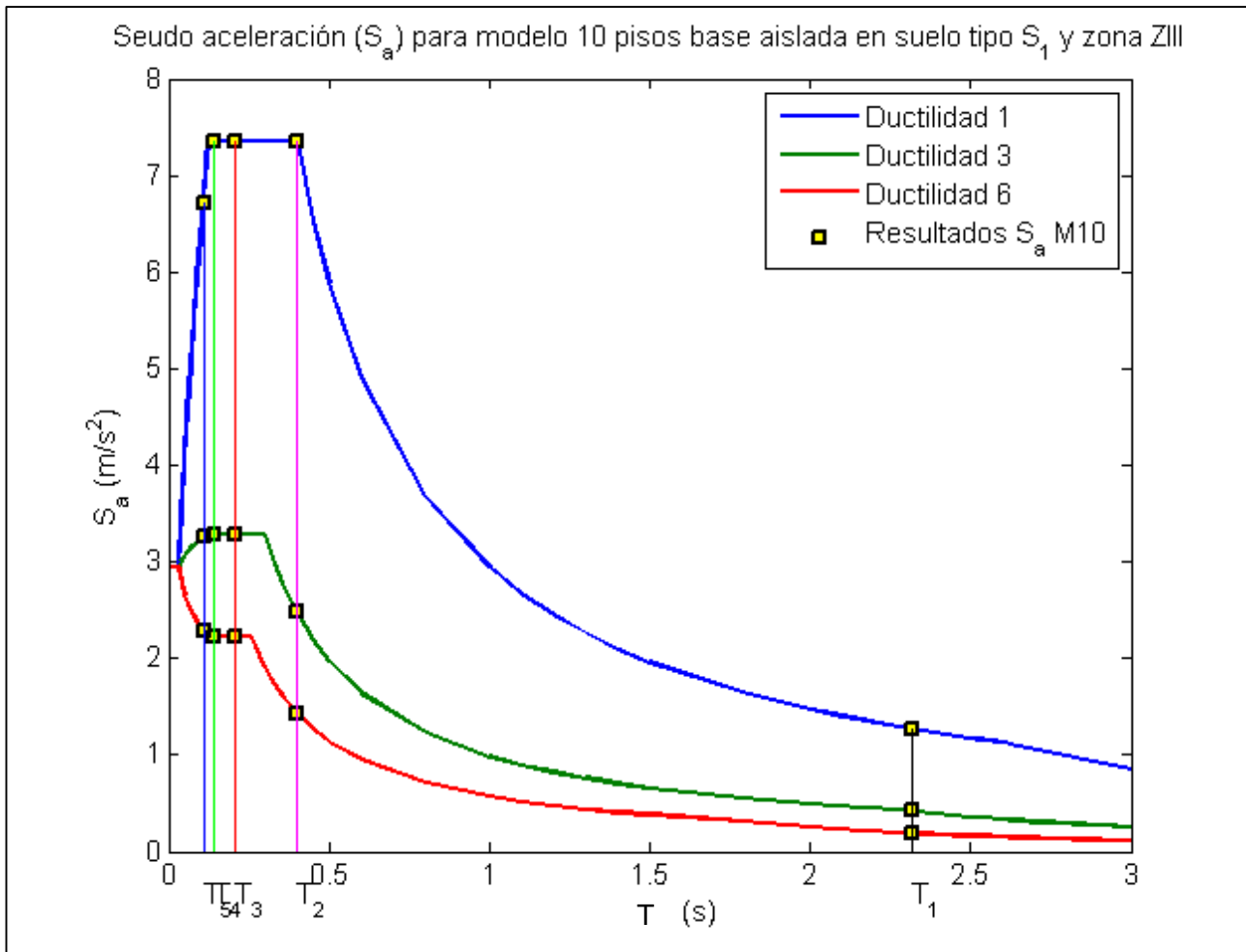


Figura 33. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 10 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_1 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 27. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base aislada en suelo S₂.

Modos vibración	Periodos	S _a -M10BA-S ₂ (m/s ²)		
	T(s)	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,32	1,92	0,64	0,37
Modo 2	0,40	8,09	3,62	2,15
Modo 3	0,21	8,09	3,62	2,44
Modo 4	0,14	8,09	3,62	2,44
Modo 5	0,11	7,38	3,58	2,51

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

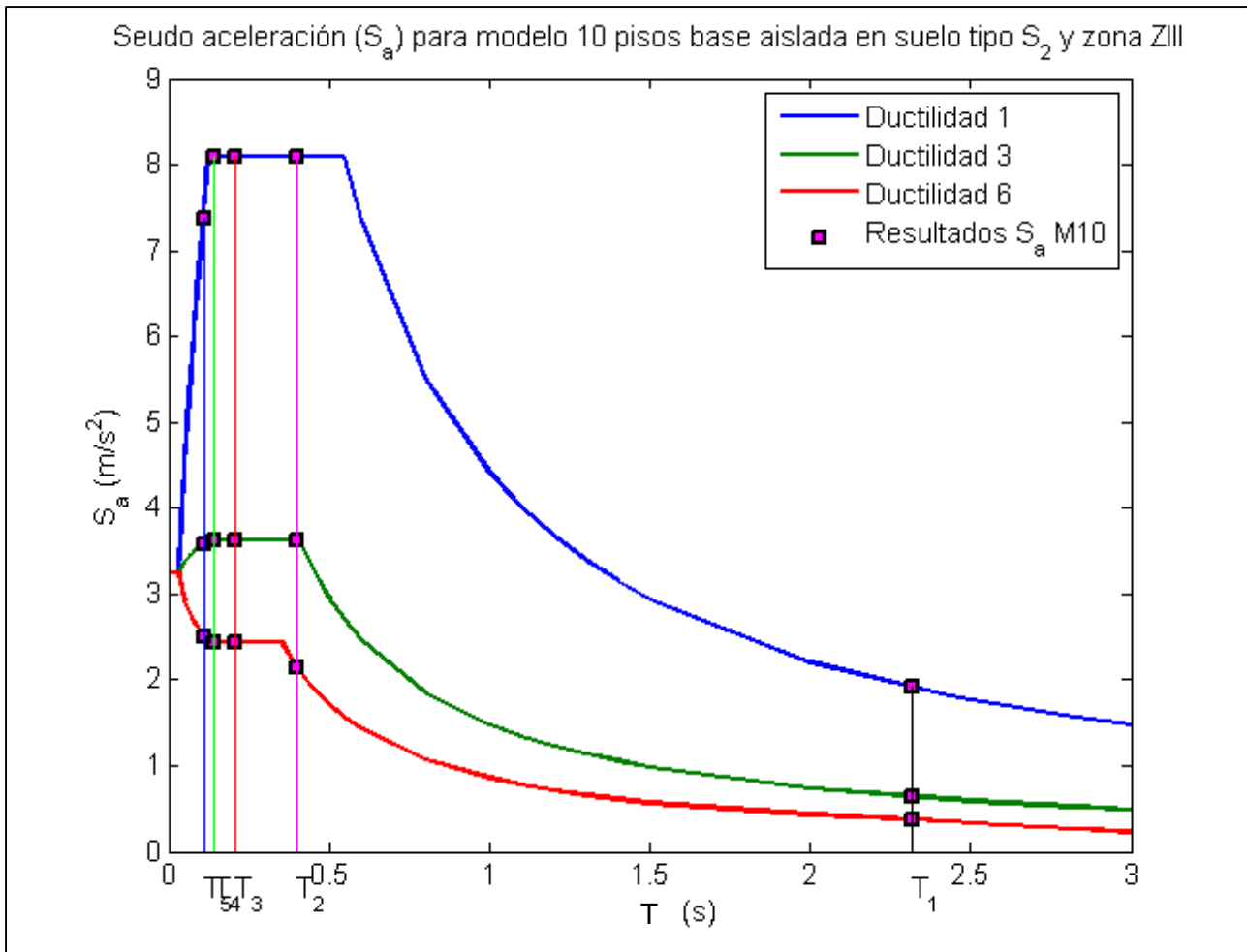


Figura 34. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 10 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_2 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 28. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base aislada en suelo S₃.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M10BA-S ₃ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,32	2,31	0,78	0,45
Modo 2	0,40	8,83	3,95	2,59
Modo 3	0,21	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,14	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,11	8,05	3,90	2,74

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

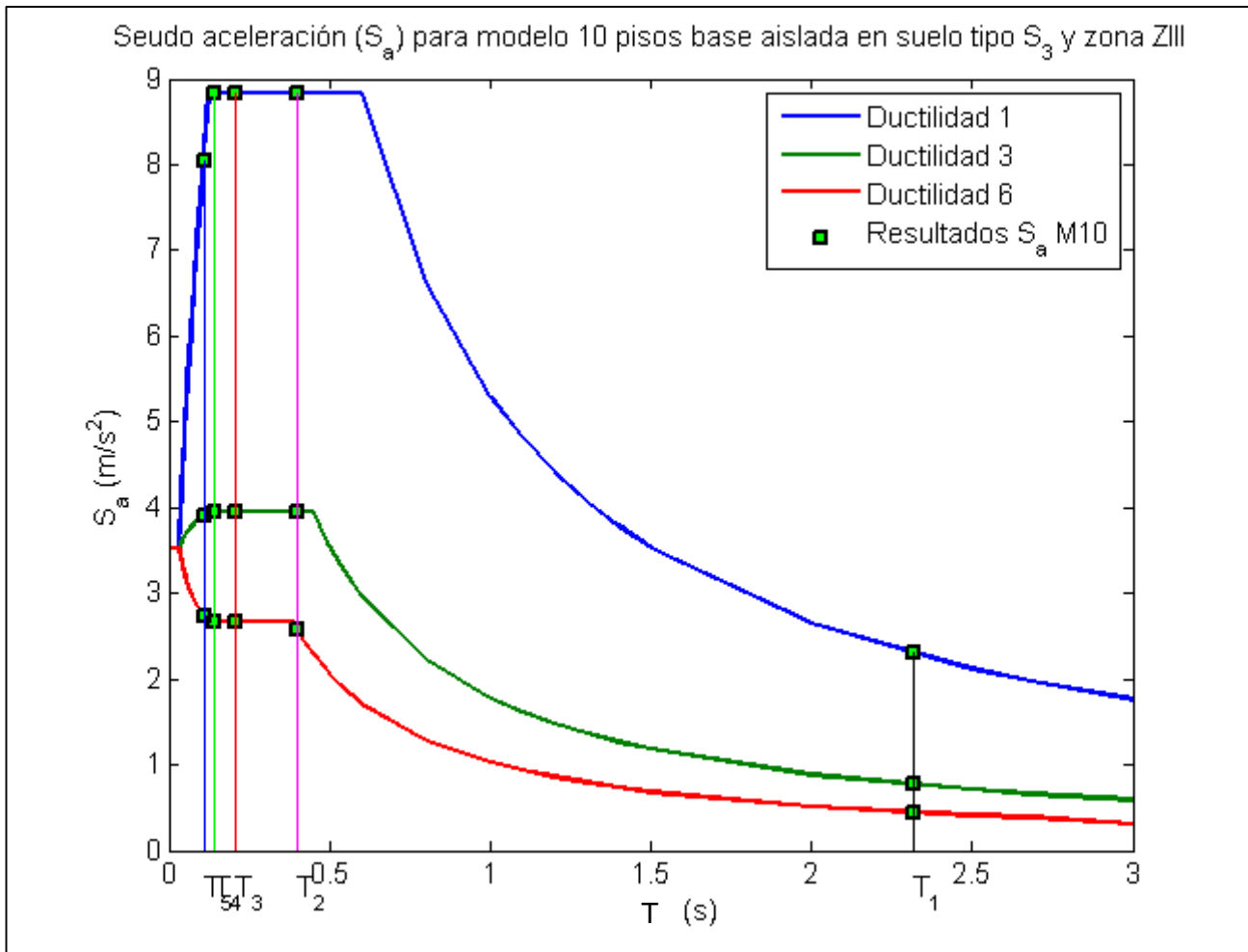


Figura 35. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 10 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_3 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 29. Contribución dinámica del modelo de 10 pisos de base aislada en suelo S₄.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M10BA-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,32	3,60	1,21	0,70
Modo 2	0,40	8,83	3,95	2,66
Modo 3	0,21	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,14	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,11	8,05	3,90	2,74

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

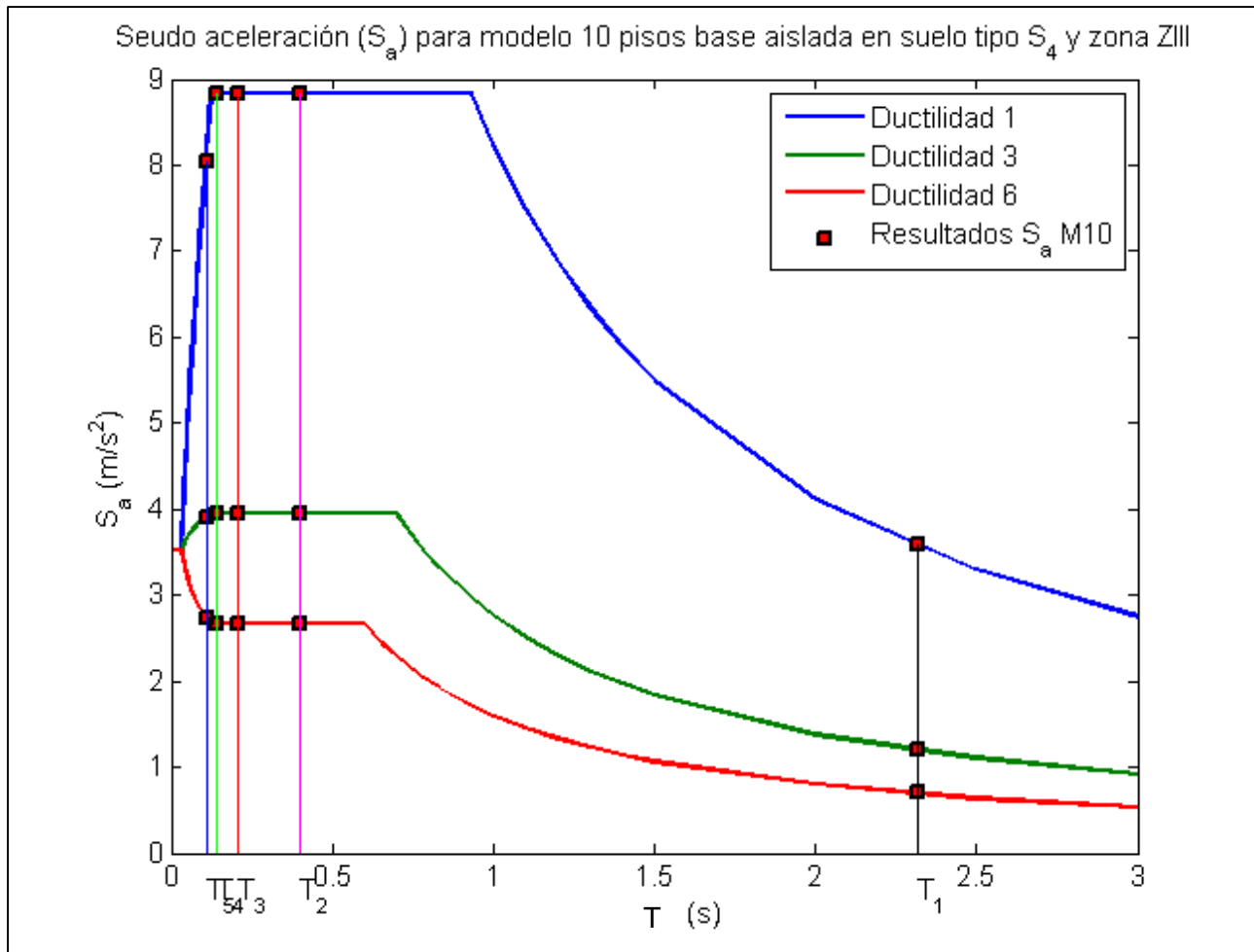


Figura 36. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 10 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_4 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

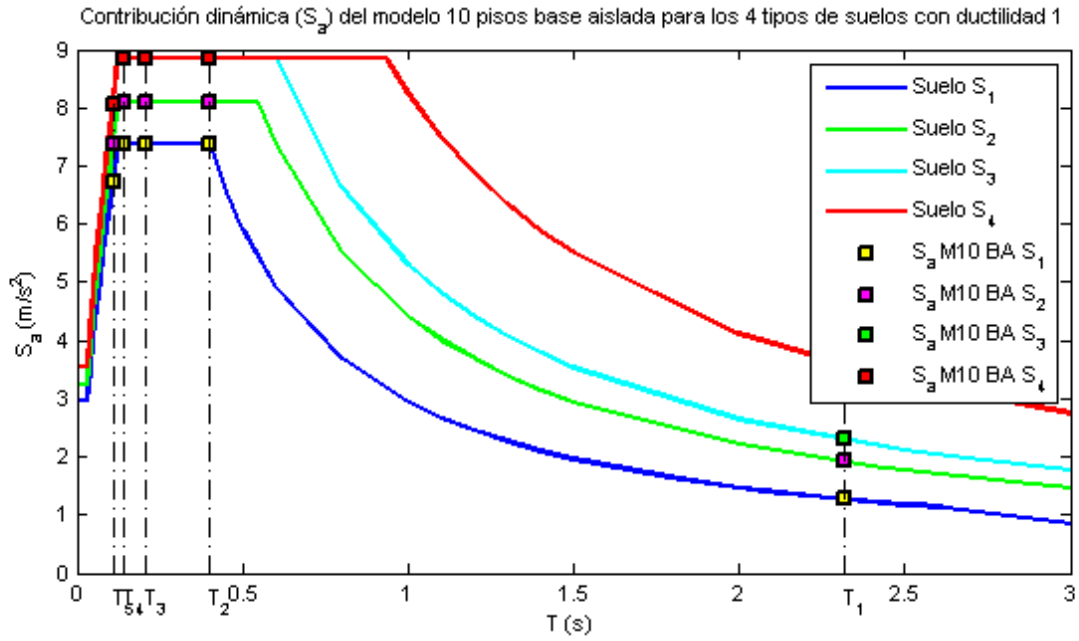


Figura 37. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Matlab.

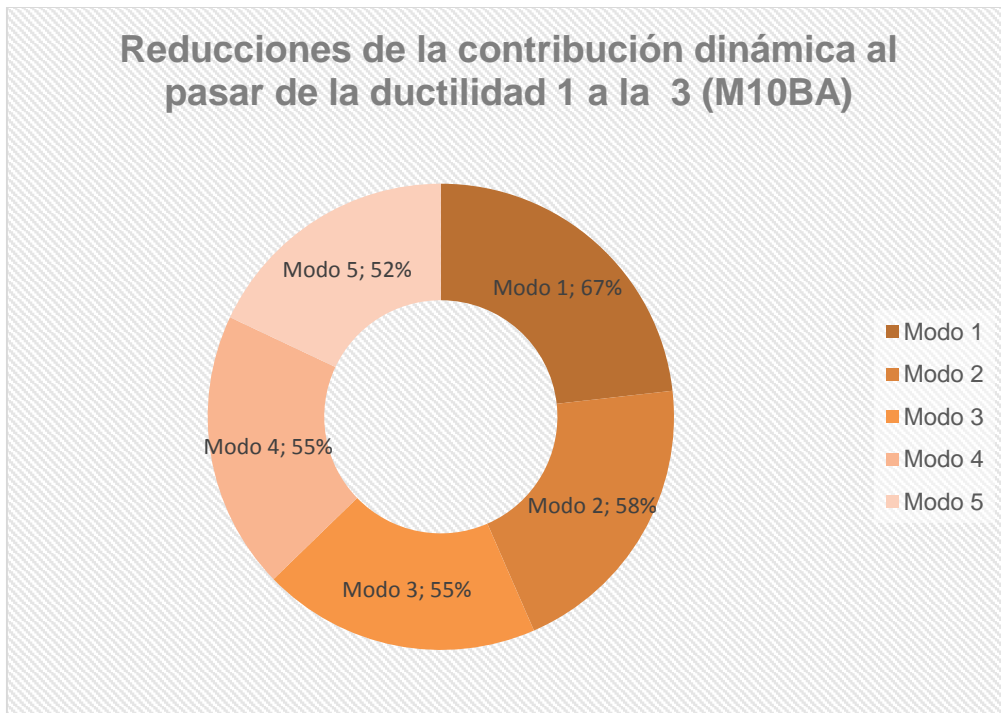


Gráfico 15 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 10 pisos base aislada.

Fuente: Apéndice Z.7

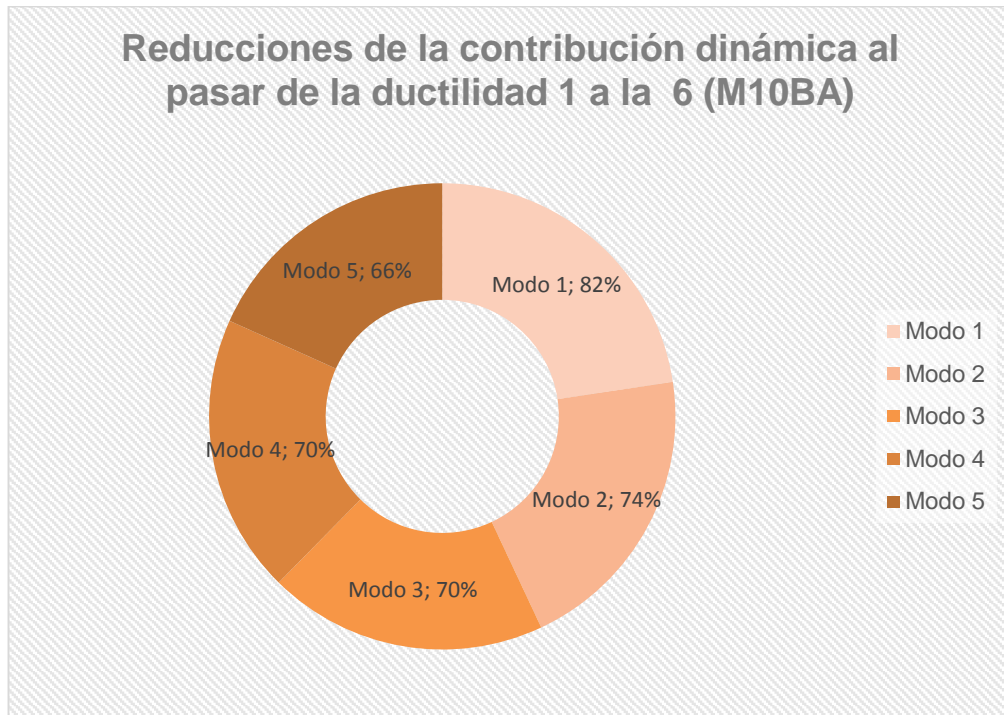


Gráfico 16. Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 6 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 10 pisos base aislada.

Fuente: Apéndice Z.8

Modelo de 15 pisos de base aislada

Cuadro 30. Periodos obtenidos en Matlab para el modelo de 15 pisos de base aislada.

Modos de Vibración	Periodos
	T(s)
Modo 1	2,43
Modo 2	0,56
Modo 3	0,30
Modo 4	0,20
Modo 5	0,15
Modo 6	0,12
Modo 7	0,11
Modo 8	0,09
Modo 9	0,08
Modo 10	0,08
Modo 11	0,07
Modo 12	0,07
Modo 13	0,06
Modo 14	0,06
Modo 15	0,06

Fuente: Elaboración propia, Matlab.

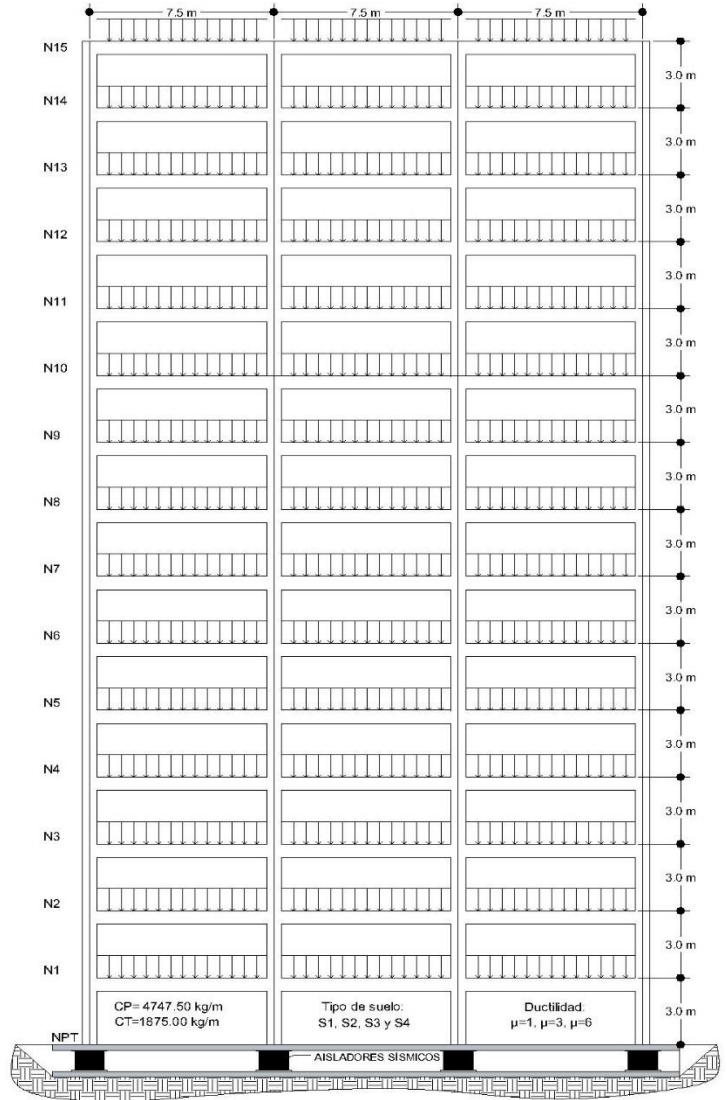


Figura 38. Esquema del modelo de 10 pisos de base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software Auto Cad

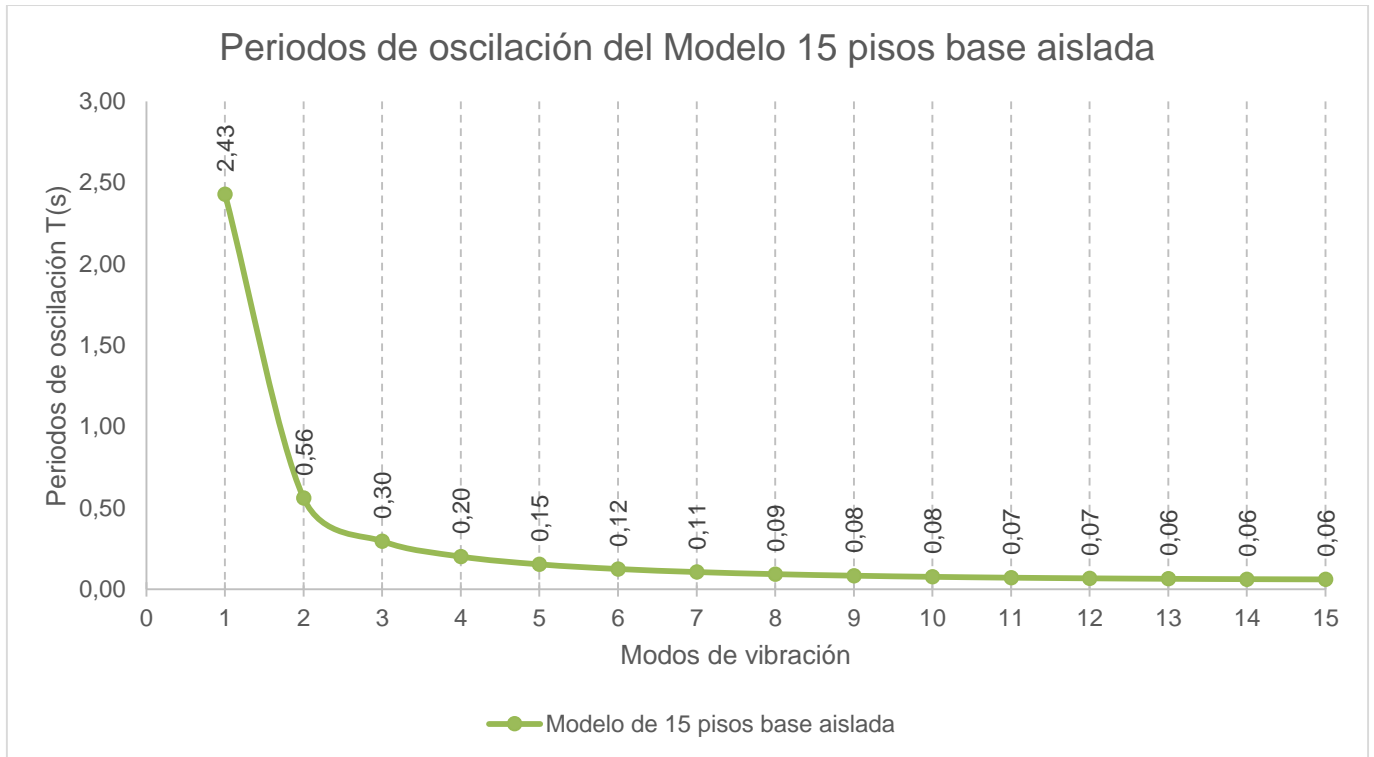


Gráfico 17. Periodos de oscilación del modelo de 15 pisos de base aislada obtenidos en Matlab.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

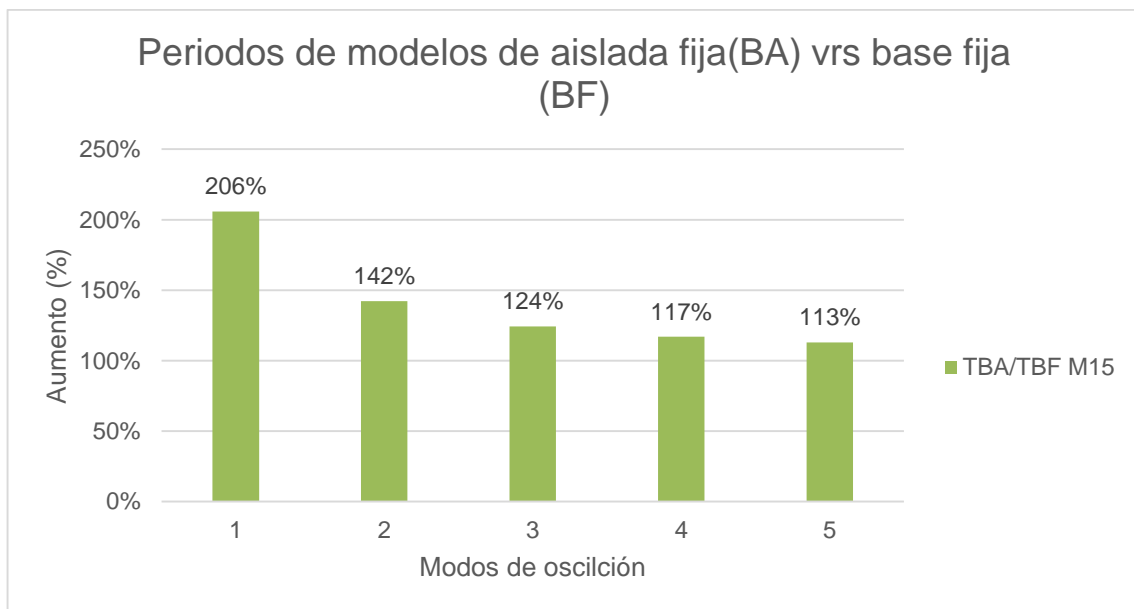


Gráfico 18. Comparación de los periodos de los modelos de base fija con los de base aislada, 15 pisos.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

Cuadro 31. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base aislada en suelo S₁.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M15BA-S ₁ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,43	1,21	0,38	0,17
Modo 2	0,56	5,29	1,77	1,02
Modo 3	0,30	7,36	3,29	1,93
Modo 4	0,20	7,36	3,29	2,22
Modo 5	0,15	7,36	3,29	2,22

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

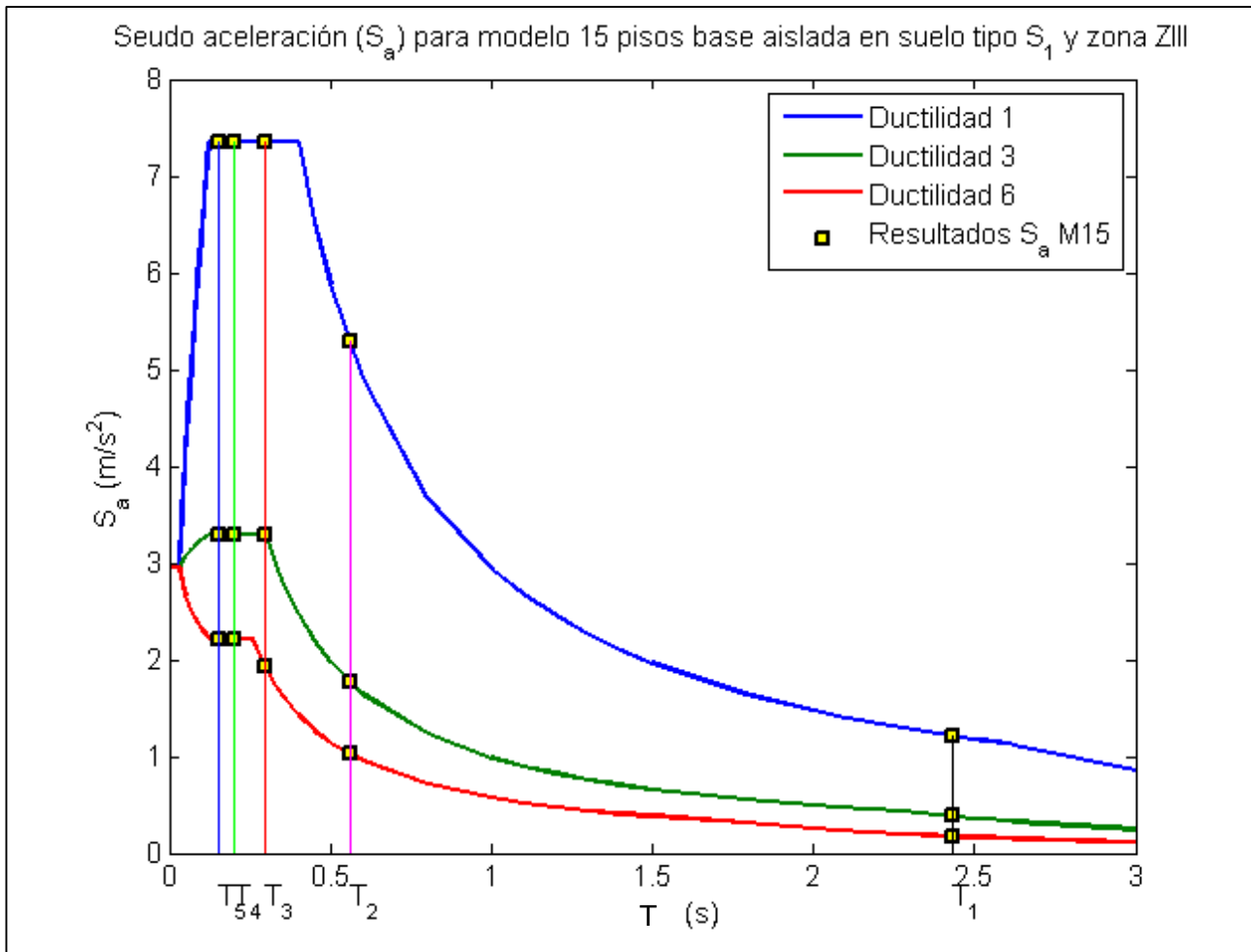


Figura 39. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 15 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_1 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 32. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base aislada en suelo S₂.

Modos vibración	Periodos	S _a -M15BA-S ₂ (m/s ²)		
	T(seg)	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,43	1,82	0,61	0,35
Modo 2	0,56	7,88	2,64	1,53
Modo 3	0,30	8,09	3,62	2,44
Modo 4	0,20	8,09	3,62	2,44
Modo 5	0,15	8,09	3,62	2,44

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

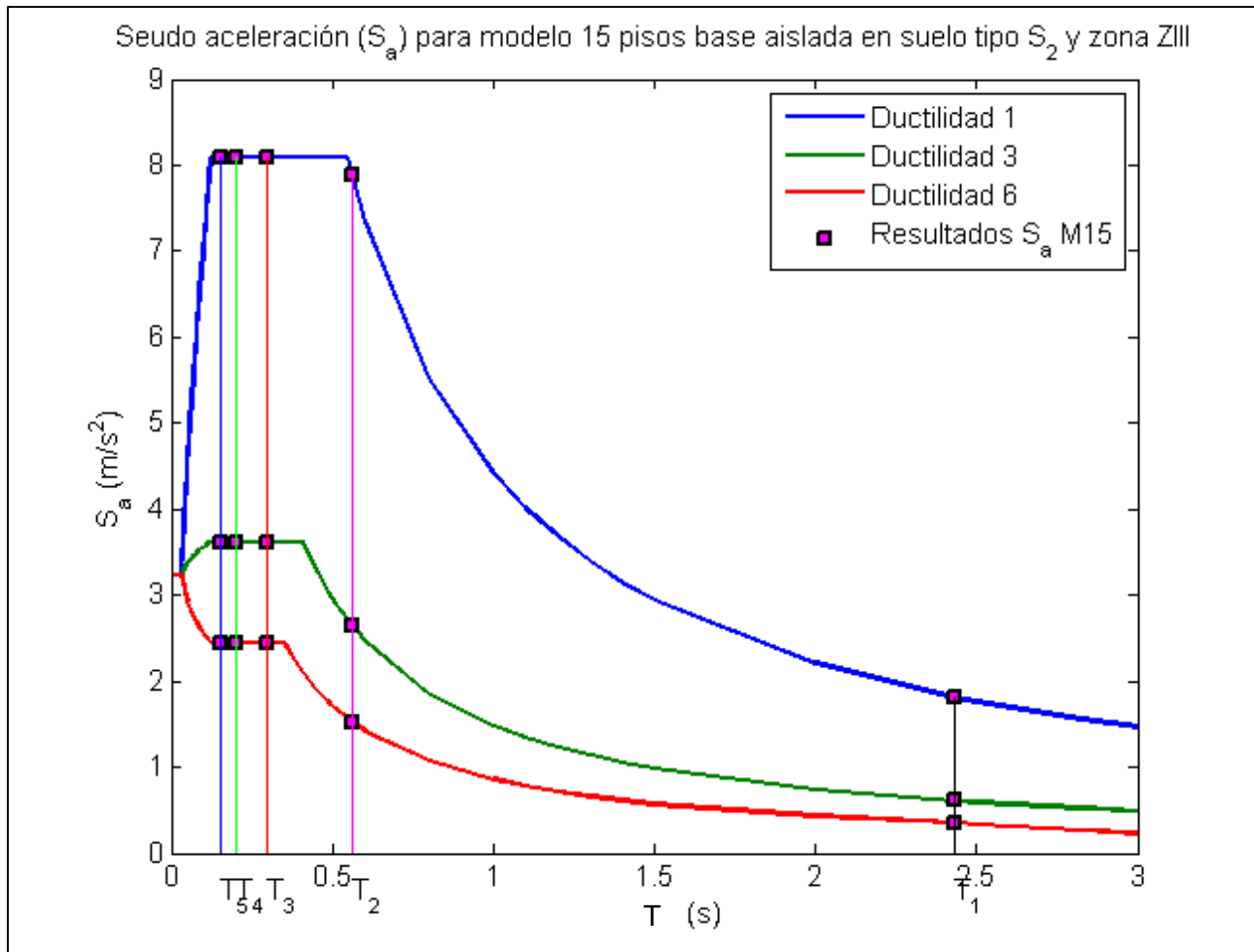


Figura 40. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 15 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_2 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 33. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base aislada en suelo S₃.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M15BA-S ₃ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,43	2,19	0,73	0,43
Modo 2	0,56	8,83	3,17	1,84
Modo 3	0,30	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,20	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,15	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

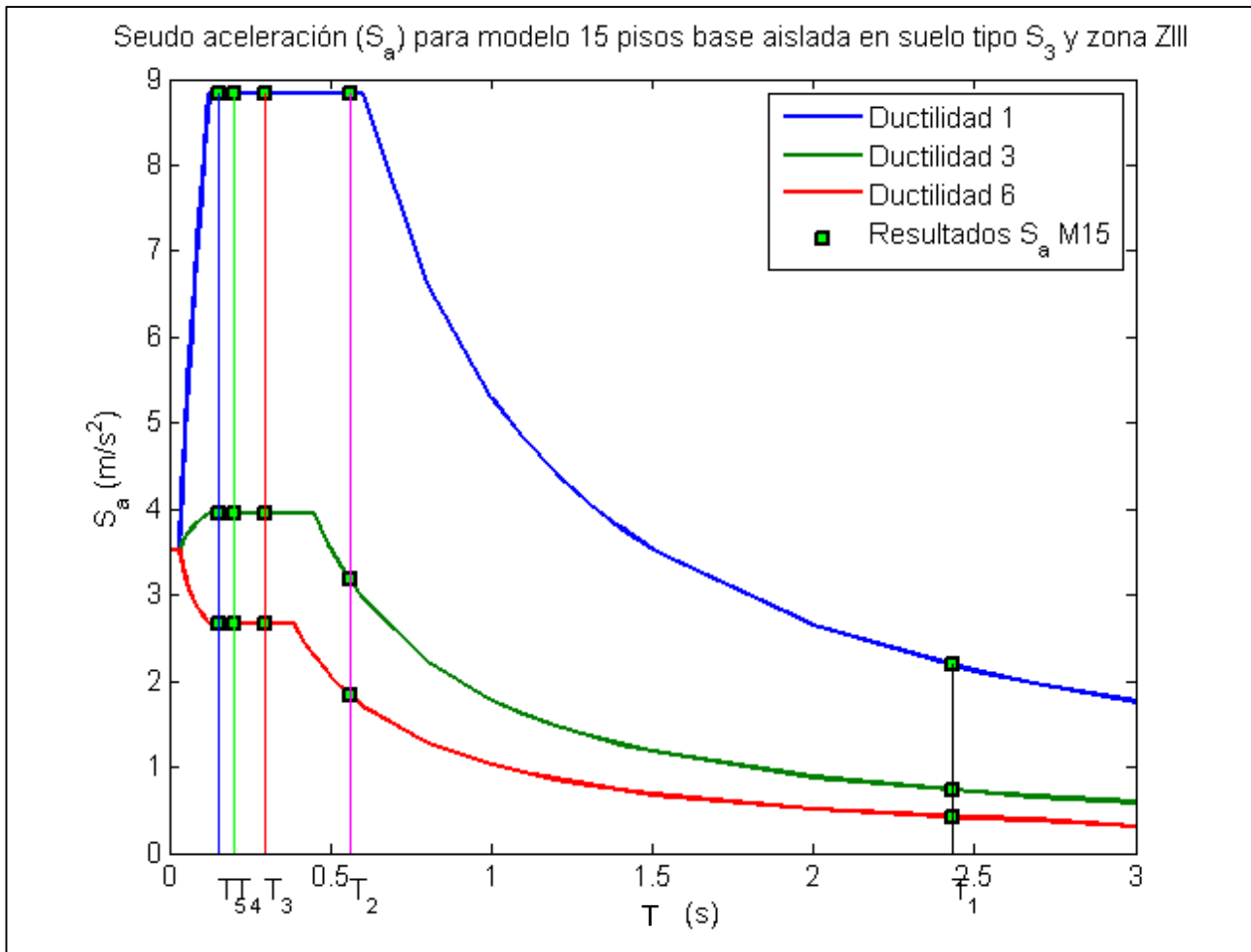


Figura 41. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 15 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_3 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 34. Contribución dinámica del modelo de 15 pisos de base aislada en suelo S₄.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M15BA-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,43	3,41	1,14	0,66
Modo 2	0,56	8,83	3,95	2,66
Modo 3	0,30	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,20	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,15	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

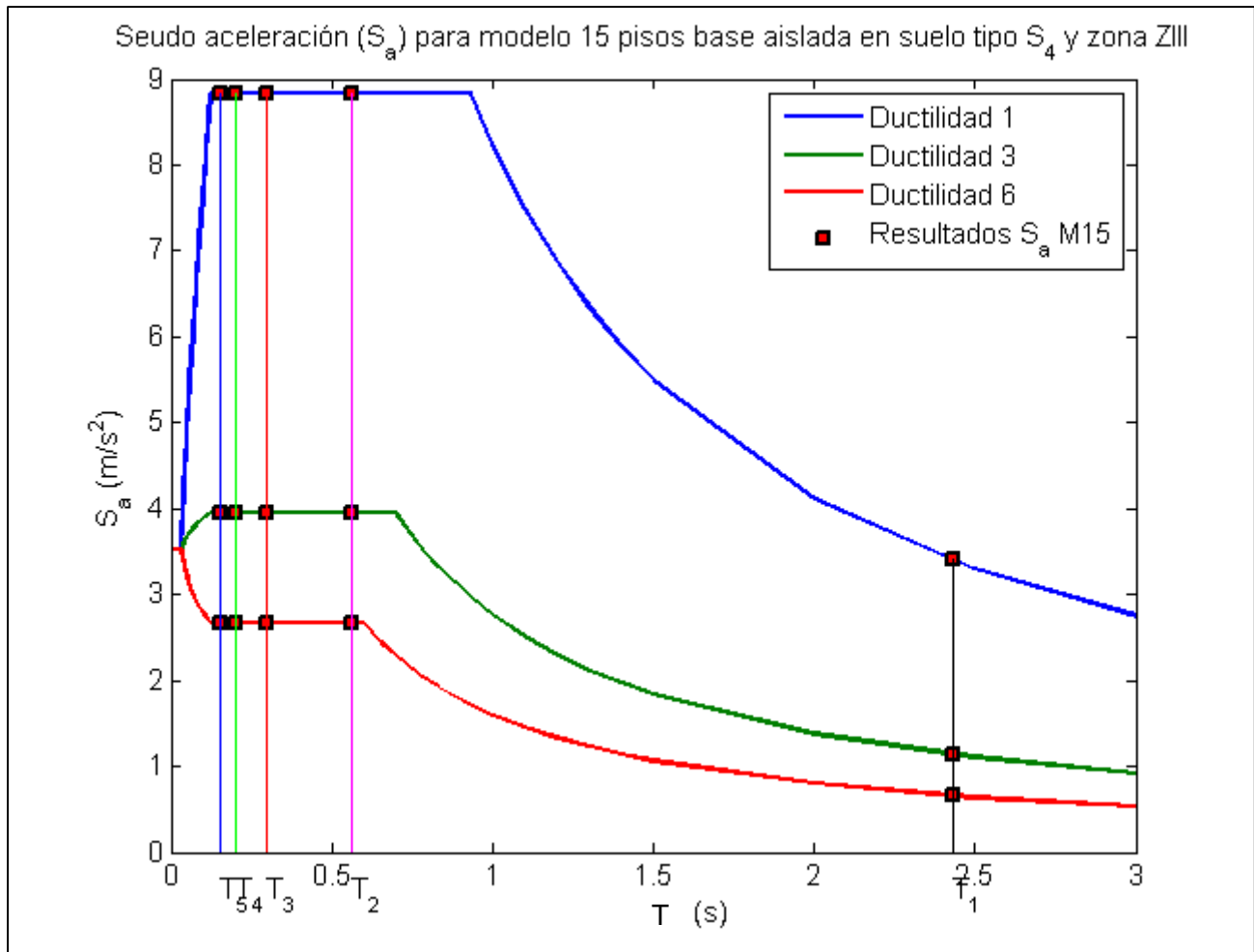


Figura 42. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 15 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S4 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

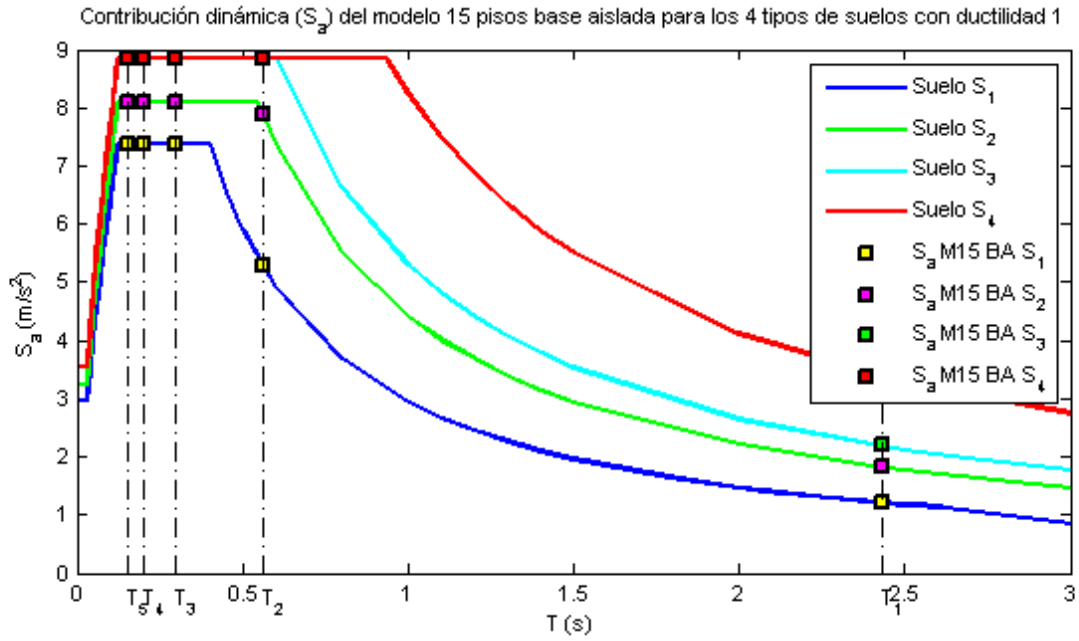


Figura 43. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Matlab.

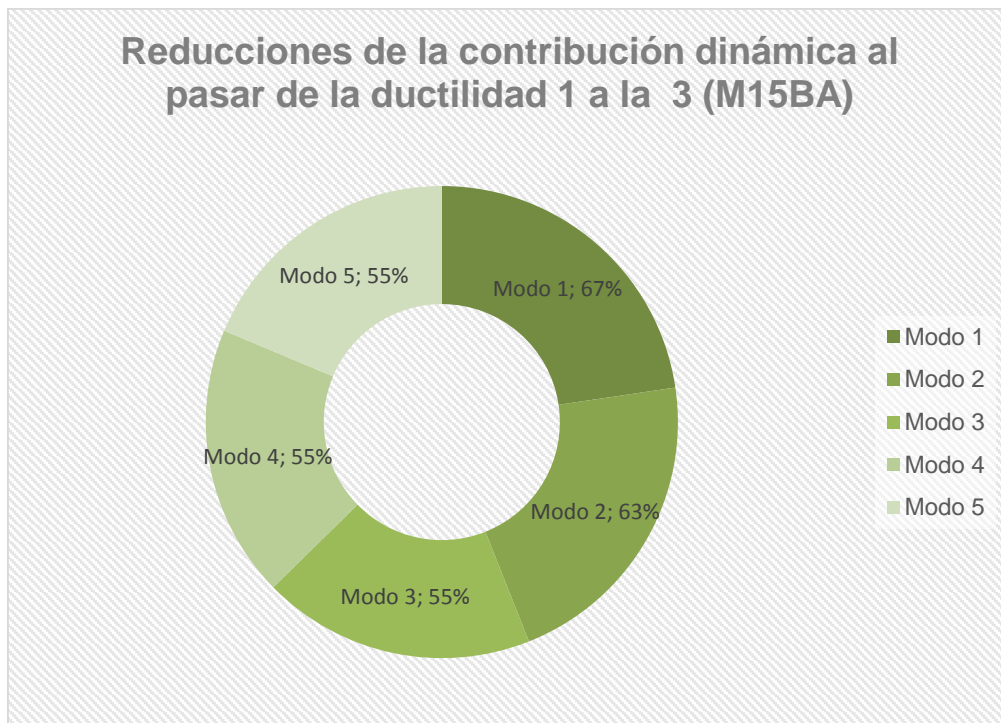


Gráfico 19 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 15 pisos base aislada.

Fuente: Apéndice Z.9

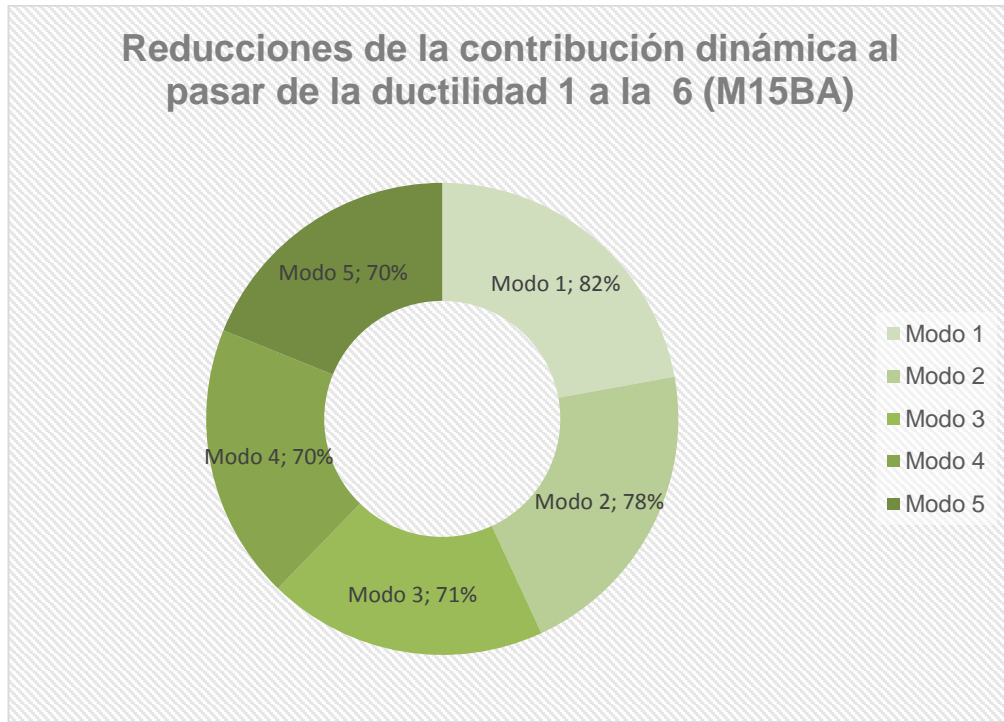


Gráfico 20 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 6 en los 4 tipos de suelos, para el modelo de 15 pisos base aislada.

Fuente: Apéndice Z.10

Modelo de 20 pisos de base aislada

Cuadro 35. Periodos obtenidos en Matlab para el modelo de 20 pisos de base aislada.

Modos de Vibración	Periodos
	T(s)
Modo 1	2,61
Modo 2	0,71
Modo 3	0,38
Modo 4	0,26
Modo 5	0,20
Modo 6	0,16
Modo 7	0,14
Modo 8	0,12
Modo 9	0,11
Modo 10	0,10
Modo 11	0,09
Modo 12	0,08
Modo 13	0,08
Modo 14	0,07
Modo 15	0,07
Modo 16	0,07
Modo 17	0,06
Modo 18	0,06
Modo 19	0,06
Modo 20	0,06

Fuente: Elaboración propia, Matlab.

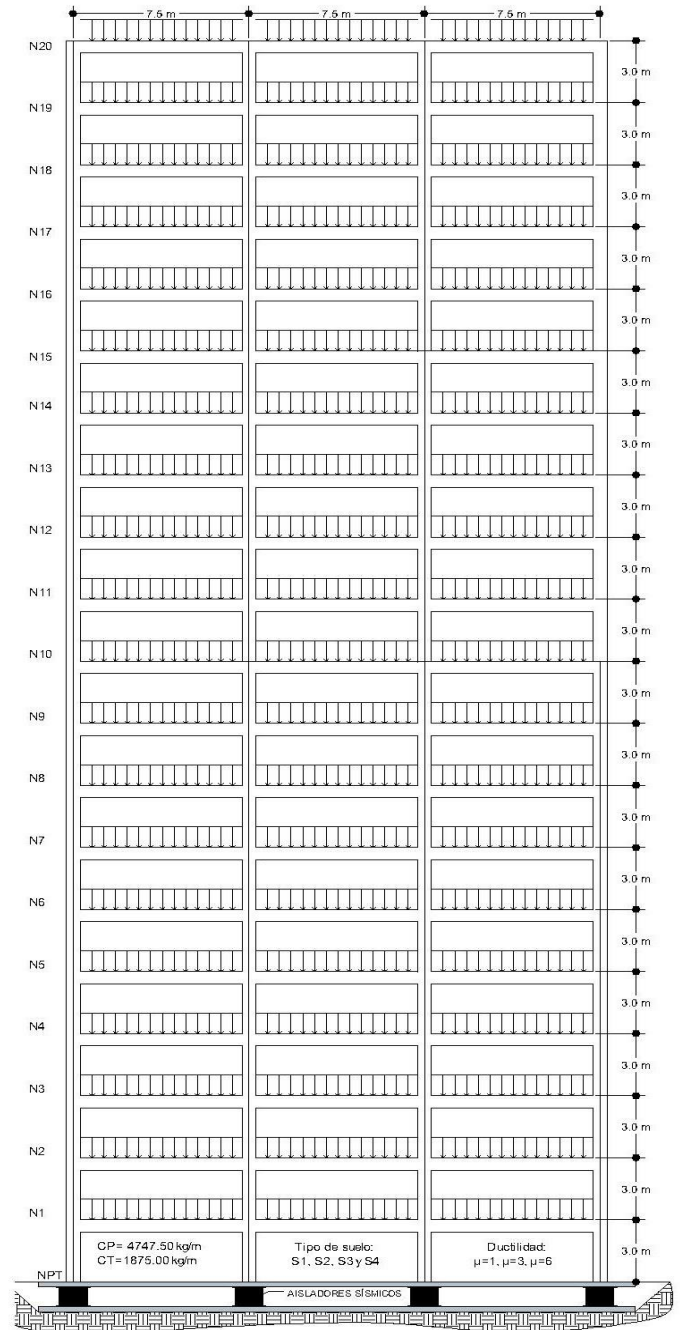


Figura 44. Esquema del modelo de 20 pisos de base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software Auto Cad

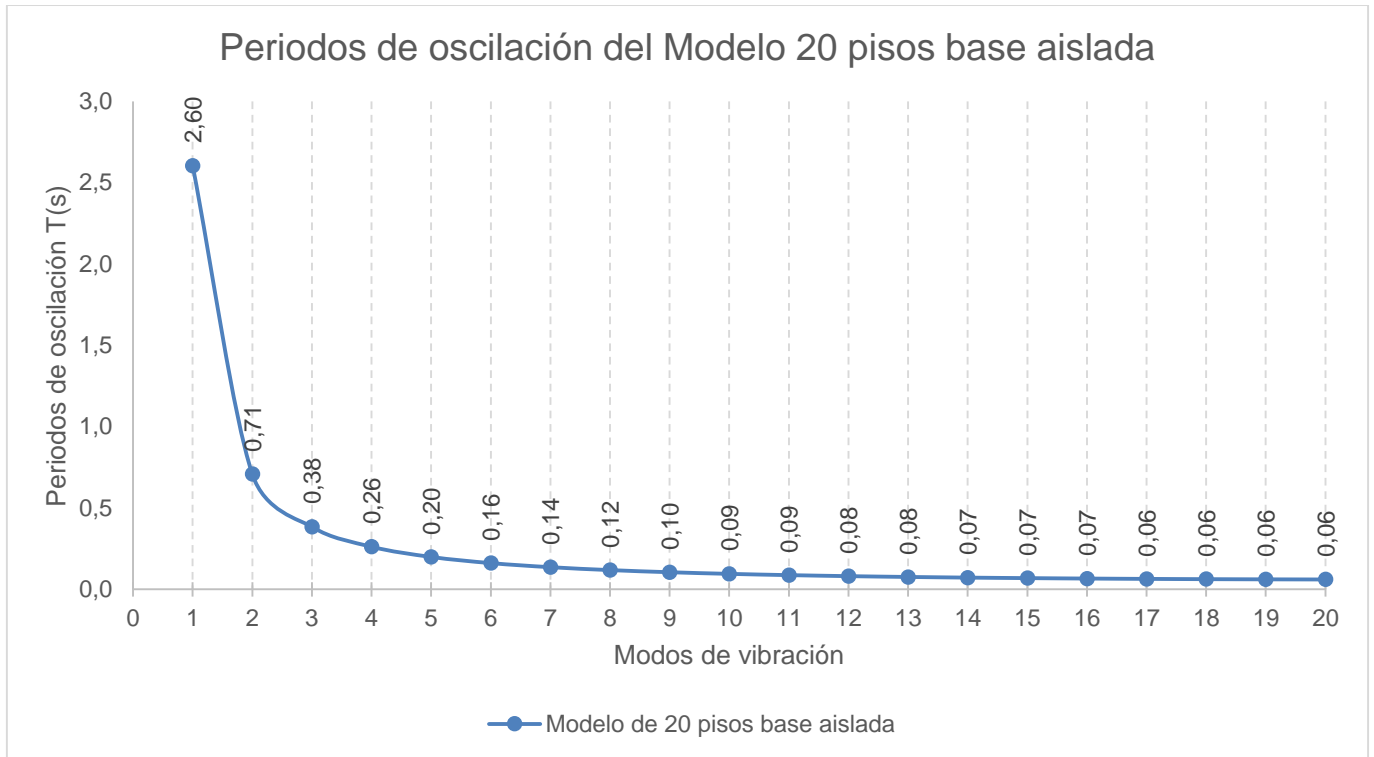


Gráfico 21. Periodos de oscilación del modelo de 20 pisos de base aislada obtenidos en Matlab.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

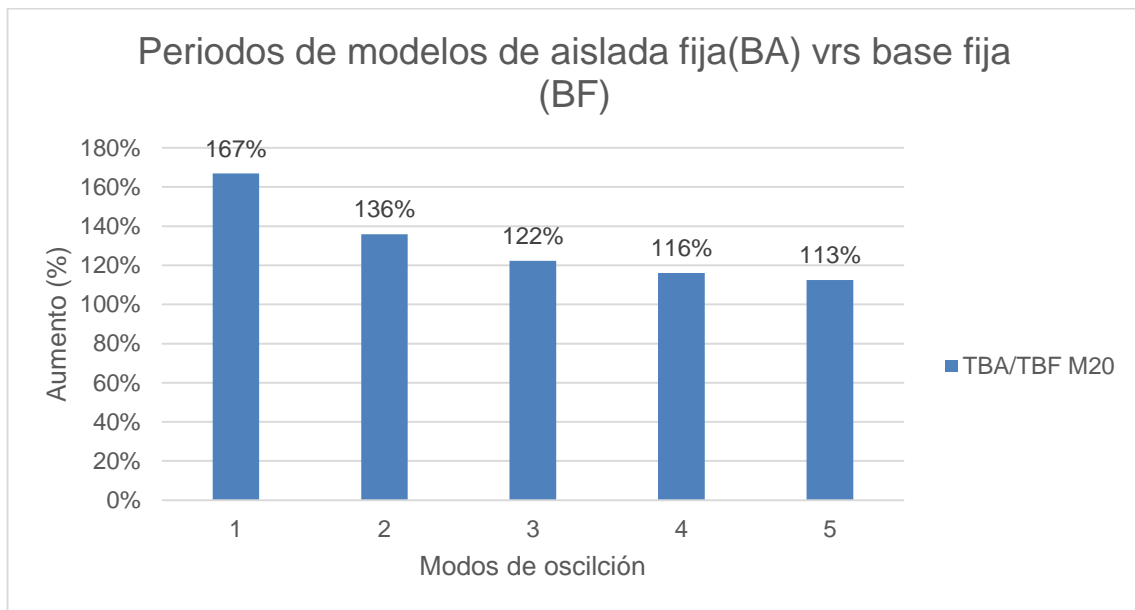


Gráfico 22. Comparación de los periodos de los modelos de base fija con los de base aislada, 20 pisos.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

Cuadro 36. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base aislada en suelo S₁.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M20BA-S ₁ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,60	1,13	0,33	0,15
Modo 2	0,71	4,24	1,42	0,82
Modo 3	0,38	7,36	2,57	1,49
Modo 4	0,26	7,36	3,29	2,18
Modo 5	0,20	7,36	3,29	2,22

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

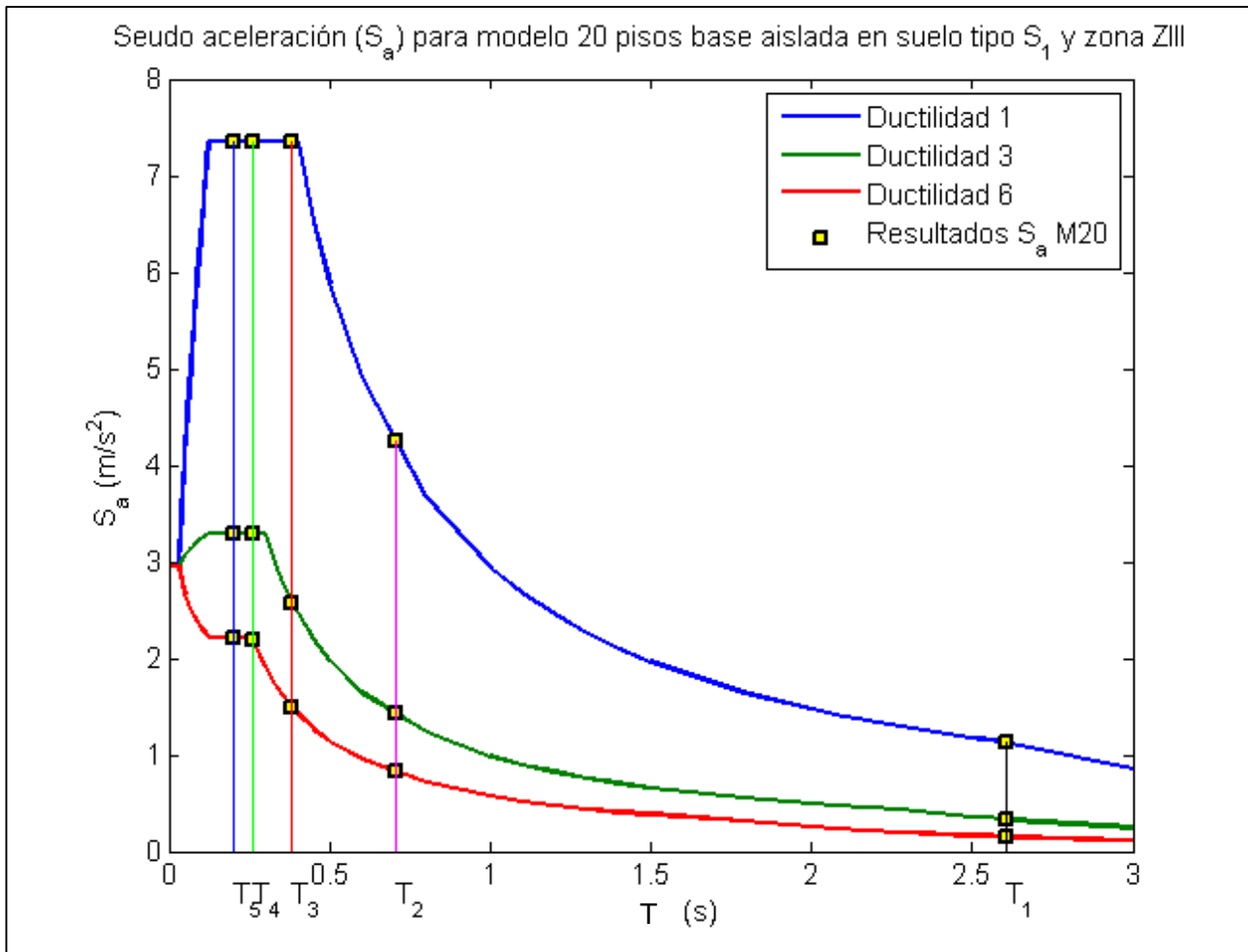


Figura 45. Seudo-aceleración S_a (m/s²) del modelo de 20 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_1 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 37. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base aislada en suelo S₂.

Modos vibración	Periodos	S _a -M20BA-S ₂ (m/s ²)		
	T(s)	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,60	1,70	0,57	0,31
Modo 2	0,71	6,36	2,13	1,23
Modo 3	0,38	8,09	3,62	2,23
Modo 4	0,26	8,09	3,62	2,44
Modo 5	0,20	8,09	3,62	2,44

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

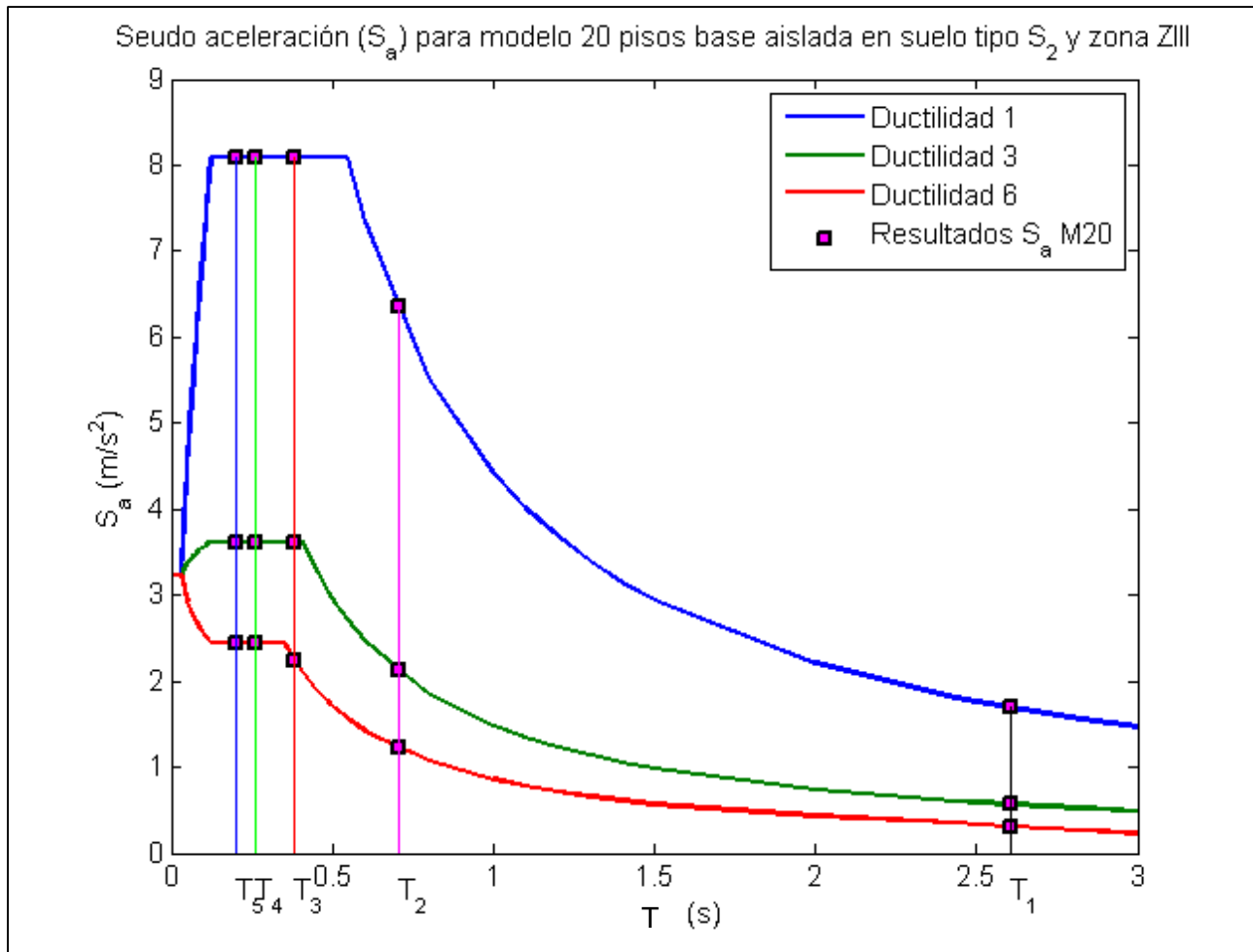


Figura 46. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 20 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S₂ y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 38. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base aislada en suelo S₃.

Modos vibración	Periodos T(s)	S _a -M20BA-S ₃ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,60	2,04	0,68	0,39
Modo 2	0,71	7,63	2,56	1,48
Modo 3	0,38	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,26	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,20	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

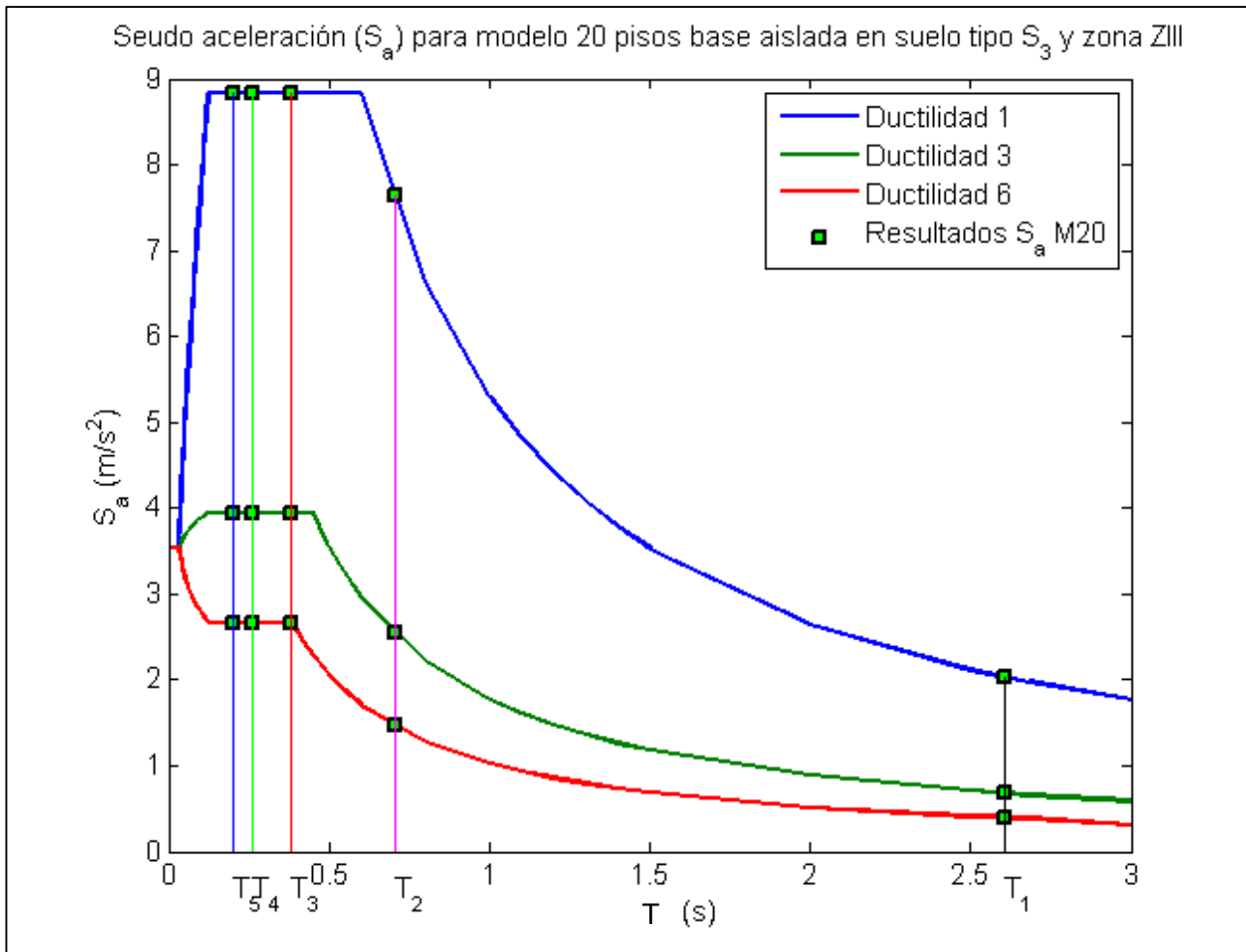


Figura 47. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 20 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_3 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

Cuadro 39. Contribución dinámica del modelo de 20 pisos de base aislada en suelo S₄.

Modos vibración	Periodos	S _a -M20BA-S ₄ (m/s ²)		
	T(s)	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,60	3,18	1,07	0,62
Modo 2	0,71	8,83	3,90	2,26
Modo 3	0,38	8,83	3,95	2,66
Modo 4	0,26	8,83	3,95	2,66
Modo 5	0,20	8,83	3,95	2,66

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y Matlab.

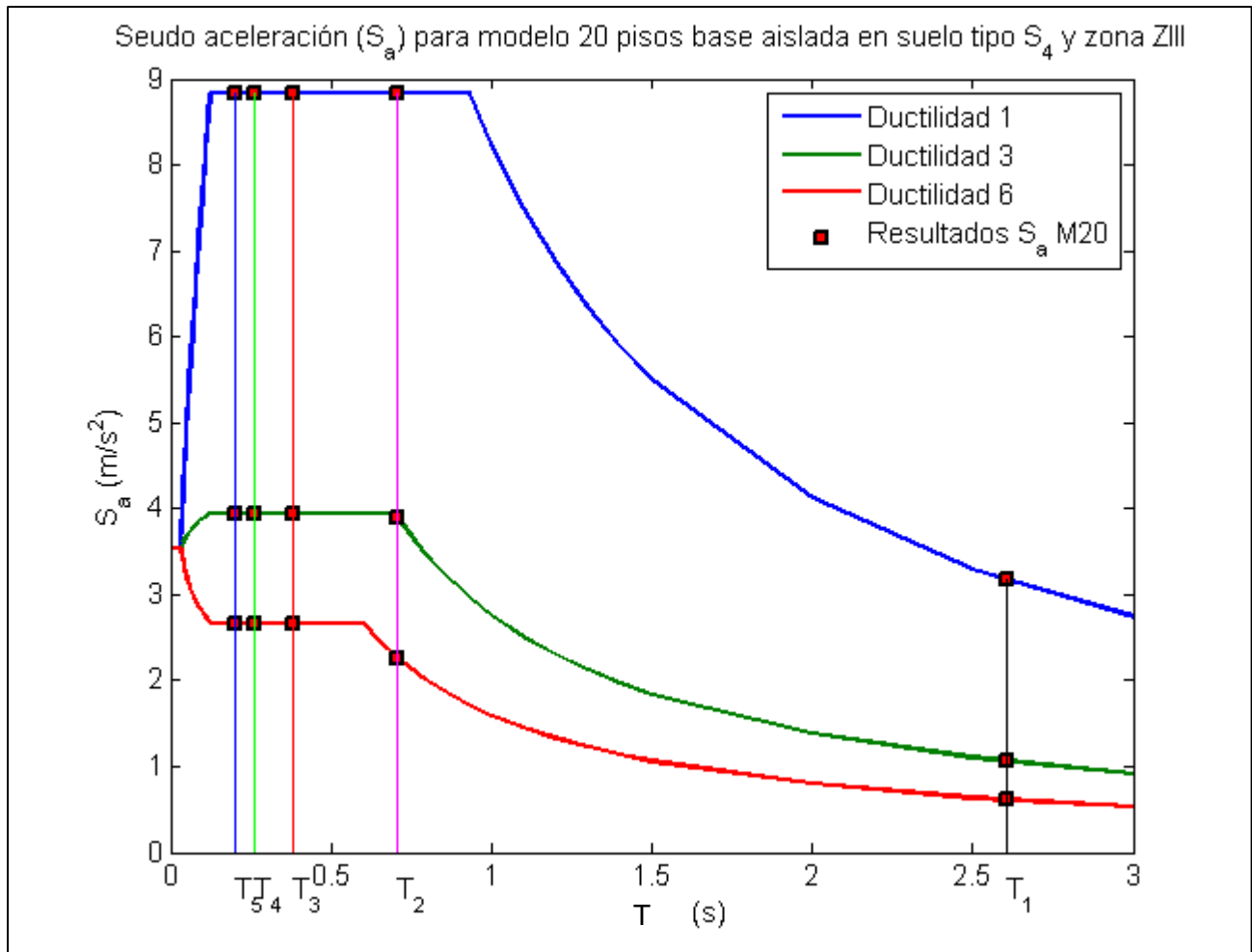


Figura 48. Seudo-aceleración $S_a(m/s^2)$ del modelo de 20 pisos de base aislada de los periodos obtenidos en suelos tipo S_4 y zona sísmica III.

Fuente: Elaboración propia, en software MATLAB.

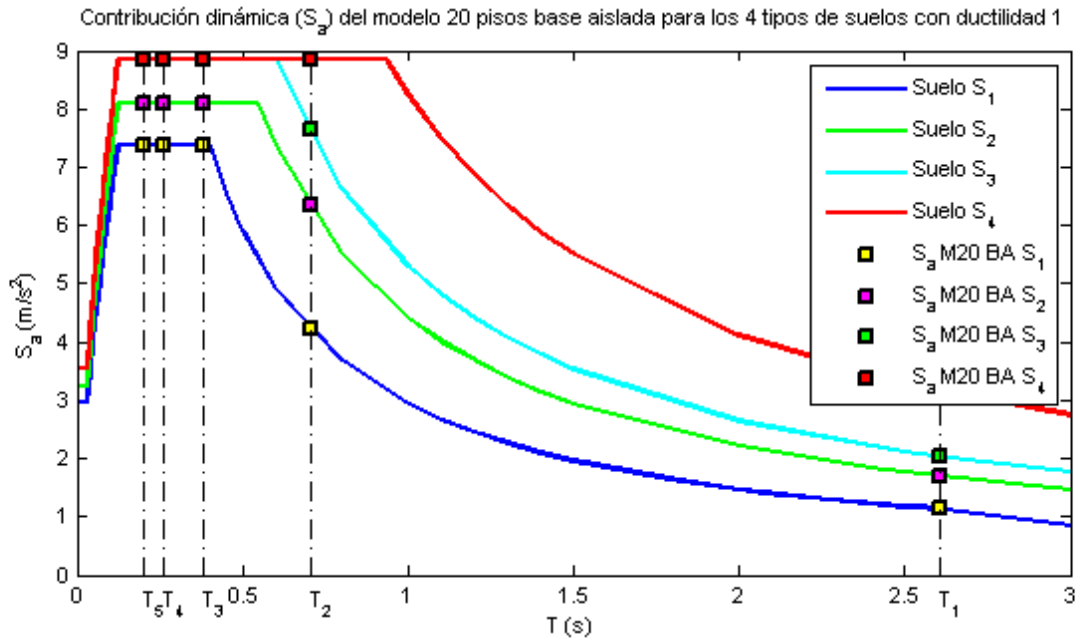


Figura 49. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Matlab.

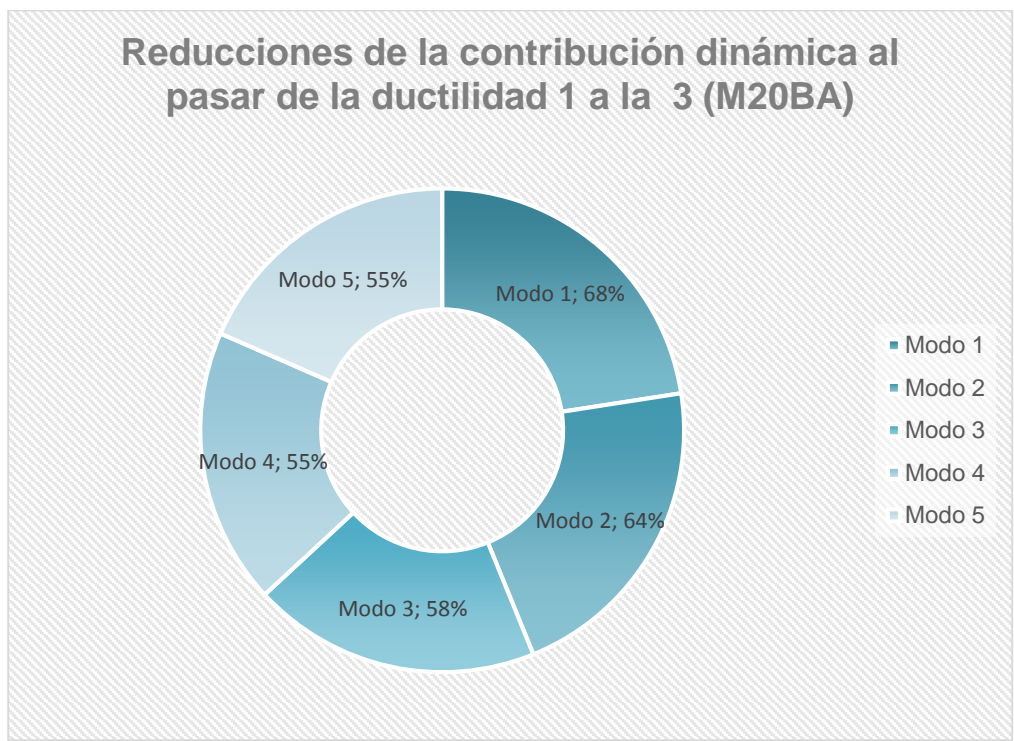


Gráfico 23 .Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en el modelo de 20 pisos base aislada.

Fuente: Apéndice Z.11

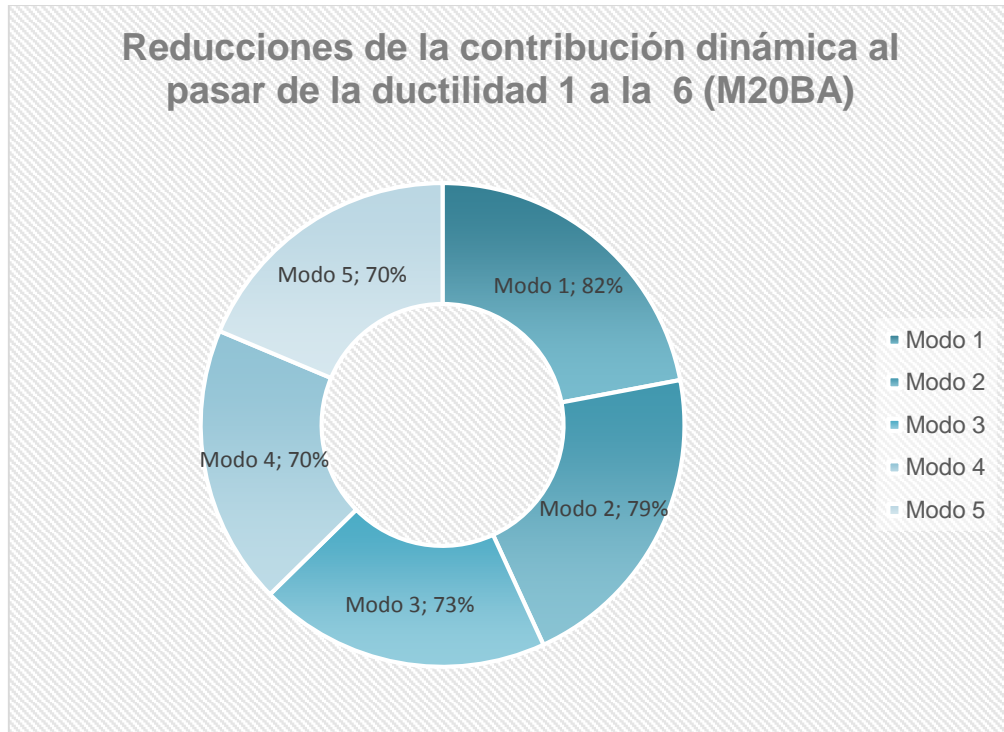


Gráfico 24. Porcentajes de reducción de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 en el modelo de 20 pisos base aislada.

Fuente: Apéndice Z.12

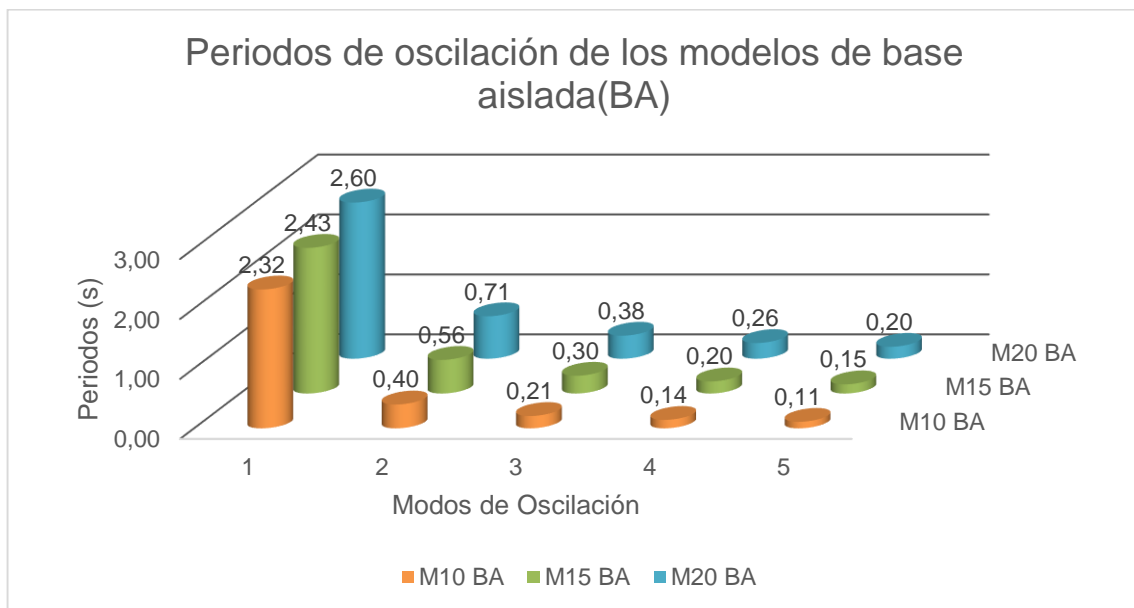


Gráfico 25. Periodos de los tres modelos de 10 pisos, 15 pisos y 20 pisos de base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

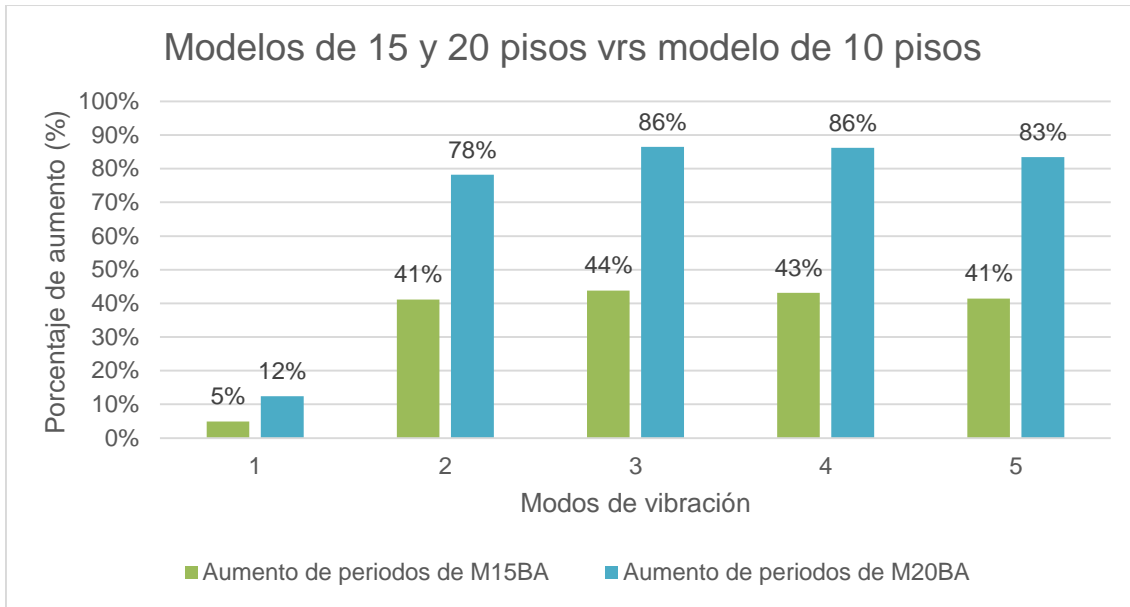


Gráfico 26. Comparación de los periodos de los modelos de 15 y 20 pisos de base aislada con el modelo de 10 pisos de base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

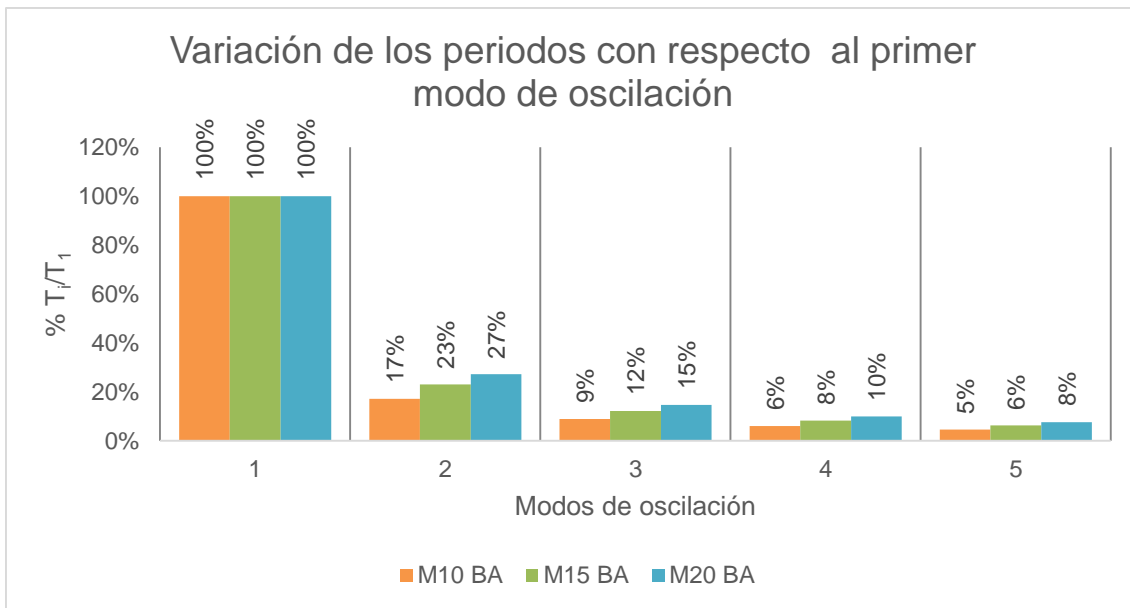


Gráfico 27. Comparación de los periodos de los tres modelos de base fija, con respecto a periodo del primer modo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

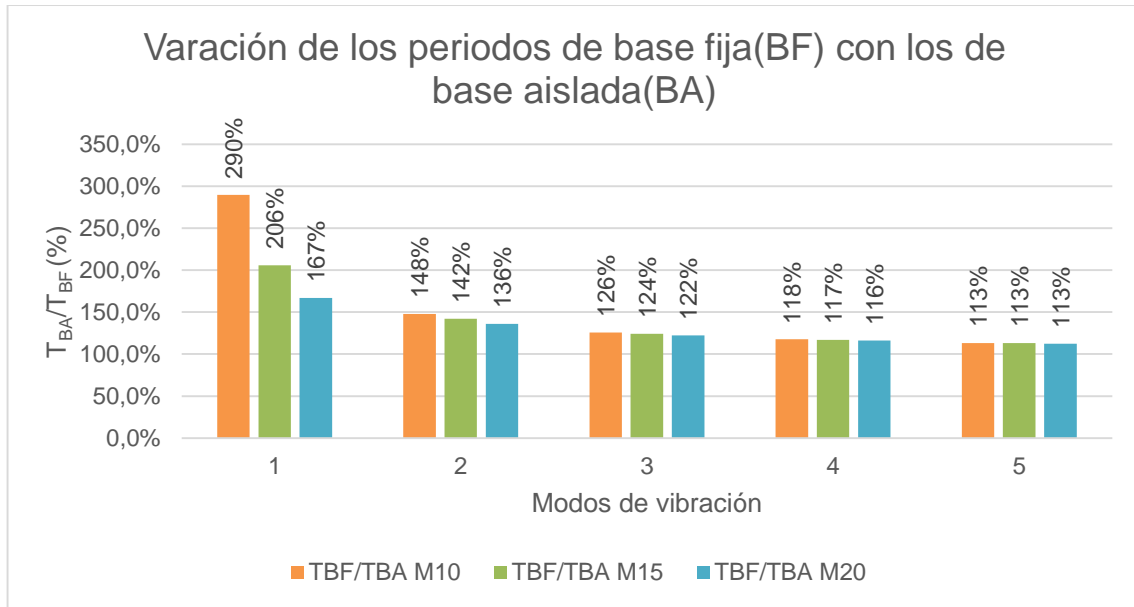


Gráfico 28. Comparación porcentual entre los modelos de base fija y los modelos de base aislada.

Fuente: Elaboración propia, en software Microsoft Excel.

Análisis de resultados

Características del modelo

Inicialmente, se definió el modelo de los edificios tipo marco de concreto reforzado para la determinación de su contribución dinámica, tanto para los de base fija como los de base aislada. Estos marcos fueron analizados en dos dimensiones, con tres claros libres, una altura constante, esto aplicó para los tres modelos, el de 10, 15 y 20 pisos.

En relación con los supuestos que intervienen el comportamiento estructural de este tipo de estructura, se hicieron con el objetivo de simplificar matemáticamente el cálculo de las propiedades dinámicas de cada modelo. El primer supuesto se refiere a la distribución de la masa, la cual es consistente o uniformemente distribuida a lo largo de las vigas. En segundo lugar, se definieron diafragmas rígidos con sistemas de entrepisos de viguetas pretensadas con bloques de concreto y vigas infinitamente rígidas. Por último, la deformación de la estructura es independiente de las fuerzas de cada columna. Esto ayuda a simplificar el comportamiento dinámica de la estructura de un modelo con infinitos grados de libertad a uno con grados de libertad proporcional a número de pisos.

En la primera etapa del proyecto se determinaron las dimensiones de las vigas y columnas de los marcos de concreto reforzado de 10, 15 y 20. Estas se establecieron con entrevistas realizadas a diferentes empresas constructoras (apéndice B), con el fin utilizar dimensiones típicas de edificios que se han construido en Costa Rica.

Se lograron establecer secciones de columnas de 60/60 cm y vigas de 30/60 a como se observa en el cuadro 2. Estos resultados se fundamentan en 17 edificios construidos en las provincias de San José, Heredia y Alajuela, que presentan su mayor territorio en la zona sísmica tres y la cual concuerdan con la zona sísmica que se enfoca este proyecto.

En el caso de las longitud de los claros libres o vanos, se definió con base en el tipo de entrepiso de mayor uso, el cual es el de viguetas con bloques de concreto y se eligió el claro máximo que permite este sistema, según el Manual Técnico de Productos de Concreto, el cual es de 7.5 m para el caso de este tipo de estructura. Por último, de los datos de las entrevistas, se sacó un promedio para la altura de los pisos, cuyo resultado fue 3 m.

El dimensionamiento de los modelos es de mucha importancia para determinar la matriz de rigidez lateral de cada estructura, la cual es junto con la matriz de masa, los principales parámetros de entrada para calcular las propiedades dinámicas fundamentales de las estructuras, como lo es el periodo de oscilación y la frecuencia.

En esta primera etapa también fueron determinadas las masas de cada piso correspondientes a la carga permanente (peso propio de estructura y sobrecarga muerta) y temporal estimadas.

Para los marcos de concreto reforzados en estudio, solo se consideraron sobrecargas muertas de acabado del piso (cerámica o porcelanato) 60 kg/m^2 , instalaciones electromecánicas 30 kg/m^2 , cielo raso 20 kg/m^2 y divisiones livianas 90 kg/m^2 . El peso propio del entrepiso fue 433 kg/m^2 calculado con la tabla para la escogencia y diseño de entrepisos del

Manual Técnico de Productos de Concreto a como se muestra en el anexo 1.

En total, se determinó una sobrecarga muerta total de 633 kg/m^2 a como se muestra en el apéndice C, con coeficiente de participación de "1" (cuadro 6). Por el lado de la carga temporal fueron con base en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (Anexo 6) y la ocupación más común de los recopilados en las entrevistas, de esto resultó ser que los edificios consultados eran de uso habitacional o de oficinas, por tanto, se escogió la que demanda más carga, es decir la de oficinas con 250 kg/m^2 con un coeficiente de participación de 0.15 (cuadro 5 y 7) a como lo establece el CSCR-2010.

La masa por piso obtenida es de $13581,54 \text{ kg}_m/\text{m}^2$ como se observa en el cuadro 9, la cual se utilizó en los modelos de 10, 15 y 20 pisos realizados en SAP 200. Sus respectivas matrices de masa se encuentran en los apéndices H, K y N. La verificación de estas masas se hizo en el cuadros 7, 8 y 9, con el fin de corroborar los resultados obtenidos de SAP 2000, ya que es un parámetro importante para calcular el periodo de las estructuras.

Escenarios

La contribución dinámica o aceleración del sistema estructural por los movimientos del suelo, de los tres modelos tipo marco de 10, 15 y 20 pisos de base fija y base aislada fueron determinadas en la zona sísmica tres, en los cuatro tipos de suelos que establece el CSCR y con tres ductilidades 1, 3 y 6. La escogencia de la zona sísmica tres se debe a cubre la mayor parte del territorio de Costa Rica y principalmente el Valle Central, donde se ubican la mayor cantidad de edificios altos. La elección de los 4 tipos de suelos es con el objetivo de analizar la variación de pasar de un suelo muy rígido como el suelo S_1 a un suelo muy blando como el tipo S_4 . Por último, con el rango de ductilidades de 1 a 6, se cubre desde la ductilidad elástica hasta las inelásticas.

Entonces cuando se hable del escenario 1 es en el suelo S_1 , escenario 2 con el suelo S_2 , el escenario 3 con el suelo S_3 y el escenario 4 con el suelo S_4 .

Puesto que la propiedad dinámica fundamental de cada modelo depende de la forma

de vibrar de cada estructuras en los diferentes modos y como se pueden una infinidad de modos, en este proyecto se limitó a una cantidad igual al número de pisos de cada modelo, por razones de simplificar el estudio. Sin embargo, se debería tomar en cuenta una cantidad de modos que garanticen que la masa modal es al menos el 90 % de la masa sísmica, según el CSCR.

También se aclara que solo los periodos de los primeros 5 modos de vibración fueron tomados en cuenta para determinar la contribución dinámica de los tres marcos de base fija y base aislada, por motivos de limitar la extensión del análisis y con base en los resultados de dichos periodos la tendencia de los restantes periodos no presentaban una variación en la magnitud significativa.

Modelos de base fija

Los primeros modelos a los que se les determinó la contribución dinámica, fueron los tres con base fija, en los que la energía sísmica se transmite desde el suelo hasta la estructura, "esta energía se manifiesta con aceleración y deformación de los componentes y sistemas estructurales y no estructurales, se disipa a través de daño de dichos componentes" (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011, pág. 7).

Para que sea más claro el texto, en adelante se denotará a los modelos de 10, 15 y 20 pisos de base fija como M10BF, M15BF y M20BF respectivamente.

Modelo 10 pisos base fija

Los resultados de los periodos para el M10BF se encuentran en el cuadro 10, en este caso los periodos son 0.80 s (T_1) para el modo 1, 0.27 s (T_2) para modo 2, 0.16 s (T_3) para el modo 3, 0.12 s (T_4) para el modo 4 y 0.10 s (T_5) para el modo 5. Estos resultados se verificaron con los periodos calculados en el programa SAP 2000, obteniendo una diferencia máxima entre los periodos de apenas un 0.35 % en el modelo de 10 pisos en el primer modo (cuadro 10). Esta diferencia es despreciable y una posible explicación puede ser la precisión con las que trabajan cada programa y efectos de redondeos de decimales al haber calculado la masa de cada piso

manualmente, además indica que los periodos calculados con el código de programación en MatLab no son tan precisos en comparación con los de SAP 2000.

En el caso de la contribución dinámica de este primer modelo, M10BF, en el escenario 1 (cuadro 11, figura 15), cuyas características representan un suelo muy rígido (roca), se obtuvo, para el modo 1, una aceleración espectral (periodo T_1) de 3.68 m/s^2 , dicha aceleración es la mínima alcanzada con la ductilidad 1, para los modos 2 y 3 (periodos T_2 y T_3) la contribución es la misma 7.36 m/s^2 los cuales se encuentran en el rango de máxima aceleración o meseta del espectro. En el caso de los modos 4 y 5 (periodos T_4 y T_5), la contribución disminuyó a 7.15 m/s^2 y 6.20 m/s^2 respectivamente. Al pasar a la ductilidad 3, la contribución (1.23 m/s^2) disminuyó en un 33 % en el modo 1 (T_1), los modos 2 y 3 (T_2 y T_3) en un 45 % y registran las máximas aceleraciones 3.29 m/s^2 y por último las disminuciones de la contribución dinámica de los modos 4 y 5 es de un 46 % (3.28 m/s^2) y un 52 % (3.22 m/s^2) respectivamente. En la ductilidad 6, la aceleración del modo 1 (periodo T_1) es 0.71 m/s^2 , el cual representa un 19 % en comparación con la obtenida en la ductilidad 1, la contribución del modo 2 (T_2) es 2.13 m/s^2 equivalente a un 29 % que se obtuvo con la ductilidad 1, para el modo 3 cuya contribución es de 2.22 m/s^2 la disminución un 30 % en comparación con la ductilidad 1, para el modo 4 (T_4) 2.24 m/s^2 que presenta una disminución del 31 %. Por último, el modo 5 presenta una contribución de 2.34 m/s^2 la cual es la máxima contribución de la ductilidad 6, lo cual equivale a un 38 % menos que en la ductilidad 1.

De este primer escenario se observa que las máximas contribuciones se encuentran en los modos superiores, por ende, en este tipo de estructuras se tiene que procurar que la cantidad de modos de vibración que van a tomar en cuenta en un análisis sísmico representan las aceleraciones máximas y mínimas que puede sufrir la estructura.

En el escenario 2 (ver figura 16 y cuadro 12), con un tipo de suelo catalogado como firme según el CSCR, los valores de contribución dinámica aumentan puesto que el suelo amplifica las aceleraciones al perder rigidez. La contribución

dinámica de la ductilidad 1 determinada es 5.52 m/s^2 para el modo 1, 8.09 m/s^2 para el modo 2 y 3 así como 7.87 m/s^2 para el modo 4 y 6.82 m/s^2 para el modo 5. Con la ductilidad 3 las aceleraciones son menores a como sucedió en el escenario 1, la del modo 1 es un 66 % (1.85 m/s^2), la del modo 2 y 3 un 55 % (3.62 m/s^2) y la de los modos 4 y 5 un 46 % (3.61 m/s^2) y un 48 % (3.54 m/s^2) respectivamente. Al determinar la contribución dinámica de este modelo con la ductilidad 6, se reducen en comparación de las ductilidades 1 y 3, como se observa en el cuadro 12, en el cual se muestra que la aceleración del modo 1 es 1.07 m/s^2 cuya magnitud es un 81 % menos de la obtenida en la ductilidad 1, para el caso de los modos 2 y 3 la contribución dinámica es 2.44 m/s^2 que es un 70 % menos que en la ductilidad 1, en el modo 4 es 2.46 m/s^2 y para el modo 5 es 2.57 m/s^2 los cuales corresponden a una disminución del 69 % para el modo 4 y para el modo 5 un 38 %.

Un aspecto que resalta de este escenario, es que las aceleraciones espectrales de los modos 2 y 3, presentan las máximas contribuciones dinámicas y se localizan en la meseta del espectro, reiterando que las condiciones más críticas se presentan en modos de vibración superiores al modo fundamental. Por otra parte, se nota que de la misma manera que sucedió en el escenario 1, 4 de los 5 modos analizados están ubicados a la izquierda del espectro en las tres ductilidades y el del modo 1 está más a la derecha donde las aceleraciones van disminuyendo gradualmente. Por ejemplo del cuadro 12, se puede determinar que en promedio el modo 1 es un 72 % de las contribuciones dinámicas obtenidas en la ductilidad 1 y 51 % en la ductilidad 3 así como un 44 % con la ductilidad 6.

Al pasar al escenario 3 con un suelo blando (cuadro 13 y figura 17), se tiene que en la ductilidad 1, la contribución del primer modo es 6.62 m/s^2 , para el modo 2 y 3 es 8.83 m/s^2 , la del modo 4 es 8.58 m/s^2 y la del modo 5 es 7.44 m/s^2 . Cuando se pasa a la ductilidad 3, las contribuciones del modelo igual disminuyen un 66 % (2.22 m/s^2), la de los modos 2 y 3 un 55 % (3.95 m/s^2) y en los modos 4 muy similar a los modos 2 y 3, disminuye un 54 % (3.93 m/s^2) y en el modo 5 fue de un 48 % (3.87 m/s^2), esto en comparación

con la ductilidad 1. En el caso de la ductilidad 6, y en comparación con la ductilidad 1, la disminución estuvo en un 81 % en el modo 1 (1.28 m/s^2), para los modos 2 y 3 se obtuvieron reducciones de un 70 %, en el modo 4 (2.69 m/s^2) las reducciones fueron de un 69 %, al pasar a modo 5 de vibración, la contribución se reduce en un 62 % al pasar de la ductilidad 1 a la 6.

Este escenario muestra que los porcentajes de disminución, al pasar de una ductilidad a otra son constantes, aspecto que es normal puesto que el porcentaje de reducción de contribución ya establecido teóricamente por los autores de los espectros del CSCR, con el objetivo de disipar energía.

Por último, en el escenario 4 (cuadro 14 y figura 18), con un suelo muy blando el comportamiento varía un poco en relación a los escenarios anteriores. En la ductilidad 1 la contribución dinámica de los modos 1, 2 y 3, se encuentran en la meseta del espectro con una aceleración de 8.83 m/s^2 , en el modo 4 y 5 las aceleraciones son 8.58 m/s^2 y 7.44 m/s^2 respectivamente, prácticamente todos estos modos presentan aceleraciones altas y con poca diferencia. En la ductilidad 3, la contribución del modo 1 es 3.45 m/s^2 , disminuye un 61 %, en el caso de los modos 2, 3 los cuales presentan la misma aceleración, 3.95 m/s^2 , la reducción es de un 55 % muy similar a lo que pasa en el modo 4 (3.93 m/s^2) en donde la reducción es de un 54 % y en el modo 5 con una contribución dinámica de 3.87 m/s^2 con una disminución de un 48 %. La ductilidad 6 presenta una aceleración de 2.00 m/s^2 en el modo 1 para una disminución del 77 % con respecto a la ductilidad 1, la aceleración de los modos 2 y 3 es 2.66 m/s^2 equivalente a una disminución del 70 % en relación con la ductilidad 1, en los modos 4, la aceleración es de 3.96 m/s^2 que es una disminución del 69 % de la ductilidad 1, en el modo 5, 2.81 m/s^2 , la disminución en comparación con la ductilidad 1 es un 61 %.

Además, el cambio de la ductilidad 1 a la 3 genera reducciones en la contribución dinámica (gráfico 2) del 65 % en el modo 1, en los modos superiores entre un 48 % y un 55 %. De la misma manera al pasar de la ductilidad 1 al 6 se obtienen reducciones del 80 % en el modo 1 y entre un 62 % y un 70 % en los modos superiores. Estas

tendencias son independientes del tipo de suelo y demuestra que la ductilidad 1 al ser elástica, genera análisis sísmicos conservadores y diseños de estructuras con capacidad de resistir solicitaciones dinámicas superiores a las que puede desarrollar en su vida útil.

Con el modelo de 10 pisos con base fija, se vieron las diferencias que hay al pasar de un escenario 1 con suelo muy rígido a un escenario 4 con suelo muy blando, ahora con el modelo de 15 pisos con base fija M15BF se verá el efecto de aumentar la altura a los marcos de concreto en los mismos escenarios.

Modelo 15 pisos base fija

Para el M15BF los periodos para los primeros cinco modos de vibración aumentaron a 1.18 s (T_1), 0.39 s (T_2), 0.24 s (T_3), 0.17 s (T_4) y 0.14 s (T_5) a como se muestran en el cuadro 15. En el gráfico 4, se ve que la tendencia de los 15 periodos obtenidos es decreciente con cambio brusco desde el modo 1 al modo 7 y de este la pendiente presenta una inclinación casi constante.

Con respecto al modelo de 10 pisos, estos periodos aumentaron en un 148 % para el periodo T_1 , un 144 % en el T_2 , un 150 % el T_3 y un 142 % y un 140 % lo periodos T_4 y T_5 , en donde en promedio el aumento fue de un 145 %. El alargamiento de los periodos beneficia a la estructura bajando su demanda sísmica.

En el escenario 1 (ver cuadro 16 y figura 21), la aceleración menor en la ductilidad elástica ($\mu=1$), está en el modo 1 con una contribución dinámica de 2.50 m/s^2 y las máximas contribuciones se encuentran en los modos 2, 3, 4 y 5 que se localizan en la meseta del espectro 7.36 m/s^2 . Con la ductilidad 3, la mínima aceleración la tiene el modo 1 con 0.84 m/s^2 que significa que disminuyó un 66 % y en el modo 2 un valor intermedio de 2.50 m/s^2 con una disminución igual del 66 %, en el caso de las máximas aceleraciones se presentaron en los modos restantes (3, 4 y 5) con 3.29 m/s^2 que representan una disminución del 55 % con respecto a la ductilidad elástica. En la gráfica se observa que en la ductilidad 6 el comportamiento es igual que en la ductilidad 3, pero con aceleraciones mayores 0.48 m/s^2 , 1.45 m/s^2 para los modos 1 y 2 respectivamente cuyas que representan una reducción son 81 % y 80 %, de los obtenido en la ductilidad 1 y para los modos

3, 4 y 5 es $2,22 \text{ m/s}^2$ un 70 % menos que en la ductilidad 1.

En los modos fundamentales de las tres ductilidades analizadas son menores que las que se obtuvieron con el modelo de 10 pisos en un 68 %, en el caso del modo 2 la contribución de la ductilidad 1 es igual, en la ductilidad 3 un 76 % y en la ductilidad 6 un 68 %. En el modo 3 y 4 las aceleraciones prácticamente se mantienen iguales, en el caso del modo 5 las contribuciones son un poco mayores en la ductilidad 1 en un 119 %, en la ductilidad 3 un 102 %, pero en la ductilidad 6 menor en un 5 % de la obtenida en el modelo de 10 pisos. Esta situación dice que al aumentar la altura se consiguió disipar energía sísmica pues al incrementar los periodos, la flexibilidad de la estructura también lo hace, aspecto que de suma importancia por los daños no estructurales que puede ocasionar a los edificios cuando estén en servicio.

En el escenario 2, suelo firme, 4 de las 5 contribuciones dinámicas se localizan en el rango de aceleración máxima del espectro a excepción de la ductilidad 6, como lo muestra el cuadro 17 y la figura 22. En la ductilidad 1 la mínima contribución está en el modo 1 con una aceleración de 3.74 m/s^2 y la máxima de 8.09 m/s^2 para los modos del 2 al 5. De la misma manera, para la ductilidad 3, se obtuvo una pseudo aceleración mínima de $1,25 \text{ m/s}^2$ con una disminución del 67 % para el modo 1 comparándolo con la ductilidad elástica y la máxima bajó en un 55 % a 3.62 m/s^2 , para los modos del 2 al 5. En la ductilidad 6 como ya se mencionó, el modo 1 y 2 obtuvieron aceleraciones de $0,73 \text{ m/s}^2$ y $2,17 \text{ m/s}^2$ respectivamente, y para los modos 3, 4 y 5 se mantuvieron en la máxima aceleración del espectro $2,44 \text{ m/s}^2$. Comparado con la ductilidad 1 la reducción es de un 81 % y un 80 % para los primeros dos modos respectivamente. En lo que corresponde a los modos 3, 4 y 5 esta reducción, por pasar de la ductilidad 1 a la 6 es de un 70 %.

En este escenario 2, se va estableciendo una tendencia en donde se presentan prácticamente dos resultados, uno con valores mínimos en el modo 1 y otro con valores máximos para los modos 2, 3, 4 y 5. Este salto puede ser un riesgo para las estructuras, no en lo que se refiere

a daños estructurales, sino de los daños no estructurales después de un evento sísmico, pues lo ideal es que se puedan mantener en servicio y al mismo tiempo que si existen reparaciones, pues que no sean económicamente altas.

Ahora en el escenario 3 (cuadro 18 y figura 23), el comportamiento es prácticamente igual que en el escenario 2 con valores de contribución dinámica máximos y mínimos, a diferencia que las magnitudes de las pseudo aceleraciones son mayores por ser un suelo menos rígido. En la ductilidad 1, se presenta tiene un mínimo de aceleración de $3,42 \text{ m/s}^2$ en modo 1 y un máximo de $8,83 \text{ m/s}^2$ para los modos 2, 3, 4 y 5. En el caso de la ductilidad 3 se repite el mismo comportamiento ya que gráficamente se nota que en todas las ductilidades los modos a excepción del primero 1.51 m/s^2 , están en la meseta del espectro 3.95 m/s^2 , estos resultados representan una disminución del 66 % y el 55 % respectivamente, de lo que se obtuvo en la ductilidad 1. Pasando a la ductilidad 6, visualmente en la figura 23 se observa que sucede el mismo comportamiento; sin embargo, existe una excepción en modo 2, donde existe una diferencia de $0,06 \text{ m/s}^2$ entre este y los modos 3, 4 y 5, por lo tanto se tiene que la contribución del modo 1 es 0.87 m/s^2 , en el modo 2 es de 2.60 m/s^2 y en los modos 3, 4 y 5 es 2.66 m/s^2 . En esta ductilidad la reducción es de un 66 % en el modo 1 y un 55 % en los modos 2 al 5 en comparación con la ductilidad 1. y un 81 % para el modo 1 y un 71 % para el modo 2, un 70 % para los modos 3, 4 y 5, esto al pasar de la ductilidad 1 a la 6.

Por último, para el M15BF en escenario 4 (cuadro 19 y figura 24), es similar al escenario 3, las tres ductilidades solo se tienen dos valores de aceleración, máximas y mínimas. Las menores aceleraciones las siguen teniendo el modo 1 con aceleraciones de $6,99 \text{ m/s}^2$, $2,34 \text{ m/s}^2$ y $1,36 \text{ m/s}^2$ respectivamente para las ductilidades 1, 3 y 6. En el caso de la contribución de la ductilidad 3 y 6, estas representan una disminución del 67 % y 81 % respectivamente en comparación a la ductilidad 1. Por otra parte, las máximas aceleraciones se presentaron en todos los modos de vibración restantes analizados (2, 3, 4 y 5) con valores de 8.83 m/s^2 , 3.95 m/s^2 y $1,36 \text{ m/s}^2$ para las ductilidades 1, 3 y 6 respectivamente y de la

misma manera, se tiene reducciones al pasar de la ductilidad elásticas a las inelásticas, siendo esta reducción del 55 % y el 70 % al pasar de la ductilidad 1 a la 3 y de la 1 a la 6 respectivamente.

De los cuadros 18 y 19, se observa que entre el escenario 3 y 4 son muy similares, de tal forma que los resultados de contribución dinámica son en un 92 % igual en ambos escenarios, para los modos 2, 3, 4 y 5 a diferencia del modo fundamental que en las tres ductilidades son un 34 % mayores en el escenario 4. Por lo tanto, realizar un análisis sísmico que involucre modos superiores al fundamental, con este tipo de estructuras y estas condiciones, se obtendrían resultados muy similares, pues según los espectros del CSCR, estos suelos generan resultados muy parecidos.

Aumentando la altura del marco en 5 pisos, sus periodos aumentan también y esto causa que las contribuciones dinámicas de los diferentes modos de vibración se desplacen a la derecha del espectro origina que la mayor cantidad de modos se localicen en la meseta del espectro como es el caso de los modos del 2 al 5. A esto se le suma que, conforme se analice la estructura en un suelo menos rígido, el rango de aceleraciones máximas en los espectros sean más amplios y aumente la probabilidad de que los periodos más bajos estén en la meseta del espectro.

Con respecto a las tendencias que se obtienen con el cambio de ductilidad, las cuales se pueden observar en los gráficos 5 y 6. Aquí se muestra que al usar la ductilidad 3, las contribuciones se reducen un 66 % en el modo 1 y entre un 55 % y un 58 % en los modos superiores. Con la ductilidad 6 las reducciones son del 81 % en el modo 1 y entre un 70 % y un 73 % en los modos superiores. Siendo estas tendencias similares a las que se obtuvieron con el modelo de 10 pisos.

Por último, las contribuciones de este modelo de 15 pisos son menores que los obtenidos en el de 10 pisos para el modo 1 en un 79 % para la ductilidad 1 y un 68 % en la 3 y 6. En los modos superiores del 3 al 4 son prácticamente los mismos y en el modo 5 si aumentaron a 119 %, 102 % para las ductilidades 1 y 3, en la ductilidad

6 disminuyó a un 95 %. Siendo el modo fundamental en el que mayor cambio se obtiene.

Modelo 20 pisos base fija

Para terminar de analizar el efecto de la altura en la variación de la contribución dinámica en los modelos con base fija, se aumentó en 5 pisos más para llegar al modelo de 20 pisos "M20BF". Esto ocasionó un aumento en los periodos de oscilación (cuadro 23). El primer periodo es 1.56 s (T_1), el segundo 0.52 s (T_2), el tercero 0.31 s (T_3), el cuarto 0.23 s (T_4) y el quinto 0.18 s (T_5).

El porcentaje de aumento en comparación con el modelo de 10 pisos se puede observar en el gráfico 7, en el cual se tiene que el incremento fue de un 95 % para el primer modo, un 94 % para el segundo modo, un 92 % en el tercer modo, un 89 % en el cuarto modo y un 84 % en el quinto modo. Estos aumentos de casi un 91 % en promedio se traducen en una mayor flexibilidad y mayores desplazamientos relativos en los pisos, que implícitamente genera que la estructura por si sola disipe energía sísmica a como se ve reflejado en los escenarios a continuación.

Con esta nueva altura de 60 m, el M20BF en el escenario 1 (cuadro 21 y figura 27), la pseudo aceleración del modo 1 es 1.90 m/s² la menor de todas en la ductilidad 1, el modo 2 tiene un valor intermedio de 5.68 m/s² y las máximas aceleraciones de 7.36 m/s² en los modos 3, 4 y 5. En la ductilidad 3, los modos 1, 2 y 3 están en el rango derecho decreciente de la figura 27 con aceleraciones de 0.63 m/s², 1.90 m/s² y 3.15 m/s² respectivamente para los modos 1 y 2, lo que también representa una disminución del 67 % de la contribución que se obtuvo en la ductilidad 1 y un 57 % en el modo 3 y las máximas aceleraciones de 3.29 m/s² en los modos 4 y 5 un 55 % menos. En el caso de la ductilidad 6, las contribuciones dinámicas bajan a 0.37 m/s² en el modo 1 (un 81 % de la ductilidad 1), en el modo 2 a un 1.10 m/s² (un 81 % de la ductilidad 1 y), en el modo 3 a un 1.82 m/s² (un 75 % de la ductilidad 1) y en el modo 4 y 5 a 2.22 m/s². Estos resultados respaldan lo que ya se mencionó que sucedería una disminución en las contribuciones dinámicas al aumentar la altura, esto se da principalmente en los modos 1 y 2, en donde, en promedio (tomando en cuenta las tres ductilidades), representan un 52

% y un 62 % respectivamente de lo obtenido en el modelo de 10 pisos. En comparación con el de 15 pisos las contribuciones representan un 76 % tanto para el modo 1 como para el modo 2. Por otra parte, los modos 3, 4 y 5 la variación no es tan significativa como la de los modos 1 y 2.

En el escenario 2 (cuadro 22 y figura 28), con la ductilidad 1 la menor aceleración es en el modo 1 (T_1) 2.85 m/s^2 y las máximas (8.09 m/s^2) están en los modos del 2 al 5. En la ductilidad 3, la aceleración del modo 1 es 0.96 m/s^2 , un 66 % menos que en la 1, en el modo 2 (un 65 % menos que en la 1) es 2.84 m/s^2 , y los de máxima aceleración (3.62 m/s^2) están en los modos del 3 al 5 con una reducción del 55 %. En la ductilidad 6 tienen la misma tendencia que en la 3, con magnitudes mínimas de 0.55 m/s^2 (un 81 % menos que en de la ductilidad 1) y 1.65 m/s^2 (un 80 % menos que en de la ductilidad) para los modos 1 y 2 y para los modos 3, 4 y 5 una máxima contribución dinámica de 2.44 m/s^2 , que es un 70 % menos que lo que se obtuvo con la ductilidad 1.

La variación de la contribución dinámica con respecto al modelo de 10 pisos se da principalmente en el modo 1, en donde este es un 52 % en promedio de lo que se obtuvo en las tres ductilidades, y con base en el de 15 pisos este representa un 76 % también en promedio de las tres ductilidades.

El escenario 3 (cuadro 23 y figura 29) como ya se observó en los modelos de 10 pisos y 15 pisos, tiene un mismo comportamiento y solo se difiere en la magnitud de sus aceleraciones. Para la ductilidad 1, la pseudo aceleración mínima es 3.42 m/s^2 en el modo 1 y la máxima es 8.83 m/s^2 en los modos del 2 al 5. En la ductilidad 3, los modos 1 y 2 tienen una aceleración de 1.15 m/s^2 (un 66 % menos que en la 1) y 3.41 m/s^2 (un 61 % menos que en la 1) respectivamente y los modos 3 al 5 tienen la máxima aceleración de 3.95 m/s^2 (un 55 % menos que en la 1). Por último en la ductilidad 6, los modos 1 y 2 tienen una aceleración de 0.66 m/s^2 (un 81 % menos que en de la ductilidad 1) y 1.97 m/s^2 (un 78 % menos que en de la ductilidad 1) respectivamente y los modos del 3 al 5 tienen la máxima aceleración 2.66 m/s^2 (un 70 % menos que en de la ductilidad 1).

Se sigue manteniendo la tendencia que la contribución dinámica del primer modo varía entre

un 51 % y un 52 % de lo que se obtuvo en este mismo escenario con el modelo de 10 pisos y un 76 % con respecto al de 15 pisos. Con la el aumento de la altura de 15 a 20 pisos, las contribuciones del modo 1 bajaron a un 76 % con las tres ductilidades, en el caso del modo 2 hubo una disminución de un 86 % y un 76 % en las ductilidades 3 y 6, en el resto no se presentaron variaciones.

En el escenario 4 se obtiene la misma tendencia que con el modelo de 15 pisos, con contribuciones mínimas para el modo 1 y máximas para los modos del 2 al 5 en las tres ductilidades ($\mu=1$, $\mu=3$ y $\mu=6$ a como se muestra en el cuadro 24 y figura 30. En la ductilidad 1, la mínima aceleración es 5.33 m/s^2 y la máxima 8.83 m/s^2 . En la ductilidad 3 la mínima es 1.78 m/s^2 (un 67 % menos que en la $\mu=1$) y la máxima 3.95 m/s^2 (un 55 % menos que en la $\mu=1$). En el caso de la ductilidad 6, la mínima es 1.03 m/s^2 (un 81 % menos que en de la ductilidad 1) y la máxima es 2.662 m/s^2 (un 42 % menos que en de la ductilidad 1).

El cambio más notable al aumentar el número de pisos a 20, es la disminución de la contribución dinámica en el primer modo de vibración, pues es el que presenta el periodo que sufre un mayor desplazamiento hacia la zona de menor demanda sísmica, de los 5 analizados, siendo un este incremento en un 195 % en comparación con el modelo de 10 pisos y en un 132 % con respecto al de 15 pisos. Entonces afirma que al aumentar la altura, la flexibilidad que se gana, origina una disipación de energía sísmica como ya se había mencionado.

Con el cambio de altura en este tipo de estructura, el modo fundamental siempre es el que más disminuye en todos los escenarios y en las tres ductilidades. Esta disminución es de un 68 % al pasar del modelo de 10 pisos al de 15, de la misma manera al pasar del de 10 al de 20 pisos disminución es de un 52 % y de un 76 % cuando se cambia de 15 a 20 pisos, y por lo que las estructuras más baja es la presenta mayor demanda de aceleración sísmica. Esta tendencia coincide con la comparación del periodo del modo 1 de las tres estructuras, puesto que periodo 1 del modelo de 10 pisos es un 68 % de que se obtiene en el modelo de 15 pisos y un 52 % en

comparación con el de 20 pisos, por su parte el periodo 1 de modelo de 15 pisos es un 76 % del periodo 1 del modelos de 20 pisos.

Con este último modelo de base fija, las reducciones en la demanda sísmica que se presentan al aumentar la ductilidad de la 1 a la 3 es de un 67 % en el modo 1 y entre un 55 % y un 62 % en los modos superiores, y de la 1 a la ductilidad 6 la reducción es del 81 % en el modo 1 y entre un 70 % y un 77 % en los modos superiores.

Se pueden generalizar las tendencias de reducción de la contribución dinámica que se obtuvieron con el aumento de la ductilidad en los tres modelos de base fija, pues la variación fue pequeña al aumentar la altura. Por lo tanto, al pasar de la ductilidad a la 3, las reducciones de la contribución dinámica en el modo 1 obtenidas en este tipo de estructura con base fija están entre un 65 % y un 67 % para el modo 1 y en los modos superiores entre un 48 % y 62 % y en el caso de pasar de la ductilidad 1 a la 6 las reducciones fueron entre un 80 y un 81 % en el modo 1 y en los superiores entre un 62 % y un 77 %.

Este tipo de estructura con base fija tiende a seguir un patrón con respecto al período fundamental, según el gráfico 12. Aquí observa que siempre el periodo del modo dos representa en promedio un 33 % del modo 1, el modo 3 es un 20 %, el modo 4 un 15 % (promedio). Esta tendencia se da siempre, sin importar las dimensiones de vigas, columnas y altura de piso, por lo que se afirma que la propiedad fundamental de la dinámica como es el periodo, depende principalmente de su masa producto de la carga muerta y carga viva.

Al variar los tipos de suelos se van amplificando, las demandas sísmicas van aumentando por la capacidad que tienen los suelos de ir disipando energía sísmica, posiblemente en los espacios vacíos de los suelos. A esto se le suma que en los suelos muy rígidos los rangos de aceleraciones máximas son menores, caso contrario sucede en los suelos blandos, lo que aumenta la probabilidad de que los modos de vibración con menores periodos como el 2, 3, 4, 5 estén en el rango de máxima aceleración de los espectros.

En las figuras 39, 40 y 41, en donde se tiene graficado los resultados de cada modelo de base fija en los 4 tipos de suelos y para la ductilidad 1, visualmente se aprecia como los periodos del modo fundamental (T_1) se desplaza hacia la derecha lo que significa la disminución de la demanda sísmica de este tipo de estructura conforme se aumenta el número de pisos. Esta reducción en la aceleración espectral se debe a la flexibilidad de los marcos a aumentar los números de pisos, permitiendo mayor capacidad de desplazamientos entre los pisos.

Modelos de base aislada

Con la tecnología de los aisladores se pretende separar la superestructura de los movimientos del suelo, a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación, creando un filtro para limitar la energía que el sismo transfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones, previendo el daño estructural y no estructural de aceleraciones para reducir la energía sísmica que se transfiere a la estructura, se busca que la energía sísmica sea absorbida por estos dispositivos que se colocan en la base de la superestructura como se ilustra en la figura 28, reduciendo así la energía transferida a la estructura disipándola así en calor y deformaciones del mismo.

La principal propiedad dinámica, el periodo, en este caso se obtuvo con la ecuación de los aisladores y la rutina de programación en el software Matlab, ambas otorgadas por el profesor guía. Esto facilitó determinar la matriz de rigidez lateral aislada además de los periodos. En el caso de matriz lateral de la estructura, están cambiando por el efecto de deformación lateral que ocurren en los aisladores.

Modelo 10 pisos base aislada

En el caso del modelo de 10 pisos (M10BA), los resultados de los periodos se aprecian en el cuadro 25 y el gráfico 13. De la misma manera que en los de base fija el análisis involucró un modo por piso. La principal característica que se visualiza en la gráfica es un salto del primer modo en relación con los 9

restantes, y con una tendencia a cero con forme aumentan el número de modos.

Los 5 primeros periodos para los cuales se determinó la contribución dinámica fueron 2.32 s (T_1), 0.40 s (T_2), 0.21 s (T_3), 0.14 s (T_4), 0.11 s (T_5). El mayor efecto de los aisladores en este primer modelo, es el alargamiento del periodo fundamental, en el cual el aumento es de un 290 % (gráfico 13), casi tres veces el periodo fundamental con base fija. También, los modos 2, 3, 4 y 5 presentaron aumentos de 148 %, 126 %, 118 % y 113 % respectivamente. Con respecto al aumento del primer periodo, con cuerda con la teoría, pues el uso de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que los periodos con base aislada sea hasta tres veces mayor al periodo con base fija (Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD, 2011).

Las contribuciones dinámicas alcanzadas por el M10BA en el escenario 1 (cuadro 26 y figura 33) presentan gran diferencia entre los obtenidos para el primer periodo y los 4 periodos restantes en las tres ductilidades estudiadas. En la ductilidad 1, las contribuciones es 1.27 m/s² para el modo 1, 7.36 m/s² para los modos 2, 3 y 4 y 6.71 m/s² para el modo 5. En la ductilidad 3, la aceleración menor es 0.42 m/s² para modo 1 (un 67 % menos que en la $\mu=1$), 2.48 m/s² para el modo 2 (un 66 % menos que en la $\mu=1$), la máxima es 3.29 m/s² (un 55 % menos que en la $\mu=1$) para los modos 3 y 4 y en el modo 5 presenta una pequeña disminución a 3.25 m/s² (un 52 % menos que en la $\mu=1$). En la ductilidad 6, 0.19 m/s² para modo 1 (un 85 % menos que en la $\mu=1$), 1.44 m/s² para el modo 2 (un 80 % menos que en la $\mu=1$), para los modos 3 y 4 es 2.22 m/s² (un 55 % menos que en la $\mu=1$) y la máxima de 2.28 m/s² en el modo 5 (un 66 % menos que en la $\mu=1$).

Las contribuciones en el primer modo son menores que en los modos superiores, y es el que sufre más reducción en comparación con el modelo de 10 pisos con base fija. En este primer modo, la contribución con base aislada representa un 35 %, 34 % y un 27 %, de lo que se obtuvo con base fija, en las ductilidades 1, 3 y 6 respectivamente. Sin embargo, en los modos superiores no se nota cambios significativos y se puede decir que son iguales a los que se obtuvo

con base fija a excepción del modo 2 en donde hubo una reducción del 75 % y 68 % en las ductilidades 3 y 6.

En el escenario 2 (cuadro 27 y figura 34), el comportamiento es igual en las ductilidades 1 y 3 en donde la menor aceleración está en el modo 1 1.92 (μ_1) y 0.64 m/s² (μ_3) y las máximas de 8.09 m/s² (μ_1) y 3.62 m/s² (μ_3) en los modos 3, 4 y 5, en el modo 5 hay una ligera disminución de 7.38 m/s² y 3.58 m/s² para las ductilidades 1 y 2 respectivamente, en el modo 1 la reducción de pasar de la ductilidad 1 a la 3 es de un 67 %, en el 3, 4 y en el 5 es de un 55 % y en el modo 5 de un 51 %. En la ductilidad 6 la aceleración del modo 1 es 0.37 m/s², la del periodo T_2 2.15 m/s² y las máximas de 2.44 m/s² corresponden a los modos 3 y 4, en el 5 la contribución aumentó un poco a 2.51 m/s², lo que significa una reducción del 81 % y 73 % en el modo y 2, de un 70 % en los modos 3 y 4 y en el modo 5 un 66 %, al pasar de la de la ductilidad 1 a la 6.

Las contribuciones dinámicas con base aislada en el modo 1, representan un 35 % de las obtenidas con base fija en las tres ductilidades analizadas. Esta disminución se debe al filtro de energía que crean los aisladores sísmicos.

En el escenario 3 (cuadro 28 y figura 35) se mantiene la misma tendencia del escenario 2. En la ductilidad 1 la aceleración menor está en el modo 1 con 2.31 m/s², los modos 2, 3 y 4 presentan las máximas aceleraciones de 8.83 m/s² y en el modo 5 disminuye a 8.05 m/s². De la misma manera, en la ductilidad 3 la menor aceleración es 0.78 m/s² en el periodo T_1 , la máxima 3.95 m/s² en los modos del 2 al 4 y en el modo 5 es 3.90 m/s², se mantienen los porcentajes de reducción al pasar a la ductilidad 3, un 66 % en el modo 1, un 55 % en el modo 2 y un 52 % en el 5. Las aceleraciones en la ductilidad 6 disminuyen considerablemente a 0.45 m/s² en el modo 1, 2.59 m/s² en el modo 2, 2.66 m/s² en los modos 3 y 4 y en el 5 a 2.74 m/s². Con respecto a los porcentajes de reducción al pasar a la ductilidad 6 es del 81 % en el modo 1, un 71 % en 2, un 70 % en los modos 3 y 4, y un 66 % en el modo 5.

En las tres ductilidades la reducción de la contribución en el modo 1, al pasar de base fija a base aislada es de un 35 %. En el caso de la contribución dinámica de los modos superiores se

mantienen prácticamente igual, en la meseta del espectro o muy cerca de esta.

La estructura en el escenario 4 (cuadro 29 y figura 36) prácticamente solo se tiene aceleraciones máximas y mínimas, en donde los modos del 2 al 5 están el rango de máxima aceleración y por ende el modo 1 en el de mínima aceleración. En la ductilidad 1, la aceleración del modo 1 es 3.60 m/s^2 , la de los modos 2, 3 y 4 es 8.83 m/s^2 y en el modo 5 es 8.05 m/s^2 . En la ductilidad 3, la aceleración de 1.21 m/s^2 es para el modo 1, la de 3.95 m/s^2 para los modos 2, 3 y 4, y para el modo 5 es de 3.90 m/s^2 , se mantienen los porcentajes de reducción al pasar a la ductilidad 3, un 66 % en el modo 1, un 55 % en el modo 2 y un 52 % en el 5. Por su parte, en la ductilidad 6, para el modo 1 la aceleración es 0.70 m/s^2 y de 2.66 m/s^2 para los modos 2, 3, y 4, el modo 5 aumenta un poco a 2.74 m/s^2 . Con respecto a los porcentajes de reducción al pasar a la ductilidad 6 es del 81 % en el modo 1, un 71 % en 2, un 70 % en los modos 3 y 4, y un 66 % en el modo 5.

Con este primer modelo con base aislada se tiene que los primeros dos modos son los que disminuyen su contribución dinámica. Además que estos modos junto con el tercero representan bien el comportamiento dinámico de esta estructura, pues comprenden un rango de aceleraciones que van desde la mínima que puede alcanzar el hasta la máxima. Esto no quiere decir que los demás modos sean menos importantes, pues hay que tener en cuenta la cantidad de masa se está tomando con la cantidad de modos.

También se tiene tendencias de reducción en la contribución dinámica, sin importar el tipo de suelo de cimentación, al variar la ductilidad, como se muestra en los gráficos 15 y 16. En el primero se tienen las reducciones de pasar de la 1 a la 6, obteniendo en el modo 1 una reducción del 67 % y en los modos superiores entre un 52 % y un 58 %. En el segundo gráfico se tiene una reducción del 82 % en el modo 1 y en los superiores entre 66 % y un 74 %.

Modelo 15 pisos base aislada

Con el modelo de 15 pisos de base aislada M15BA, se obtienen una tendencia similar a la del modelo de 10 pisos con aisladores. En el caso de los primeros 5 modos, los periodos se observan en el cuadro 30, donde T_1 es 2.43 s, T_2 0.56 s, T_3 0.30

s, T_4 0.20 s y 0.15 s para T_5 . Estos resultados también tienen grandes aumentos si se comparan con el modelo de base fija de 15 pisos (gráfico 18) y principalmente en el modo 1, donde el aumento fue del 206 %, en los modos 2, 3, 4 y 5 fueron 142 %, 124 %, 117 % y 103 % respectivamente. Sin embargo, si se comparan con los periodos del marco de 10 pisos con aisladores, el aumento del primer periodo fue de apenas un 105 %, siendo poco el alargamiento del periodo fundamental al aumentar la altura, para los modos superiores si se dieron aumentos considerables, en el modo 2 es un 140 %, en el 3 y 4 es un 143 % y en el 5 un 136 %.

La contribución dinámica de este modelo (M15BA) en el escenario 1, se encuentran en el cuadro 31 y figura 39. En la ductilidad 1, se tiene para el modo 1 una contribución de 1.21 m/s^2 , para el modo 2 5.29 m/s^2 y las máximas contribuciones dinámicas de 7.36 m/s^2 fueron alcanzadas con los modos 3, 4 y 5. Con la ductilidad 3 la contribución del modo 1 es 0.38 m/s^2 (un 69 % menos que en $\mu=1$), para el modo 2 1.77 m/s^2 (un 86 % menos que en $\mu=1$) y también las máximas de 3.29 m/s^2 fueron alcanzadas por los modos 3, 4 y 5 (un 55 % menos que en $\mu=1$). En la ductilidad 6 el modo 1 tiene una contribución de 0.174 m/s^2 (un 86 % menos que en $\mu=1$), el modo 2 una de 1.02 m/s^2 (un 81 % menos que en $\mu=1$), el modo 3 una de 1.93 m/s^2 (un 74 % menos que en $\mu=1$) y en el modo 4 y 5 fue de 2.22 m/s^2 que es la meseta del espectro (un 70 % menos que en $\mu=1$).

Al utilizar base aislada, las contribuciones dinámicas en el modo 1, se reducen a un 49 % con las ductilidades 1 y 3 respectivamente y a un 48 % en la 6, en comparación con las contribuciones del modelo de 15 pisos con base fija. Otro de los modos en los que se obtuvo disipación de energía con el uso de los aisladores, es el modo 2, el cual presenta reducciones del 72 %, 71 % y 70 % en las ductilidades 1, 3 y 6 respectivamente. En el caso de los modos superiores se mantuvieron con la misma contribución dinámica a excepción del modo 3 con la ductilidad 6 que se redujo a un 87 %.

De esto se observa que el uso de aisladores ayuda casi en un 50 % a bajar la demanda sísmica en el modo 1, sin embargo, desde el punto de vista de la altura, solo se logra

disminuir un 5 % de la contribución al aumentar a 15 pisos el modelo con aisladores sísmicos, punto importante a la hora de decidir si es factible usar aisladores sísmicos en una estructura de gran altura u otro tipo de protección sísmica como los disipadores de energía por mencionar alguno.

Al analizarlo en el tipo de suelo S_2 , escenario 2, las aceleraciones aumentan (cuadro 32) producto de las propiedades del suelo, pero la ubicación de los periodos en el espectro varían muy poco (figura 40). En la ductilidad 1 la aceleración para el modo 1 es 1.82 m/s^2 , para el modo 2 es 7.89 m/s^2 y las máximas aceleraciones 8.09 m/s^2 , fueron alcanzadas con los modos del 3 al 5. En la ductilidad 3, la contribución dinámica del modo 1 es 0.61 m/s^2 para el modo 2 es 2.64 m/s^2 , y también las máximas de 3.62 m/s^2 fueron alcanzadas por los modos 3, 4 y 5, en esta ductilidad las contribuciones de los modos 1 y 2 son un 66 % menos que en la ductilidad 1 y el los modos 3, 4 y 5 un 55 %. En la ductilidad 6 el modo 1 tiene una aceleración de 0.35 m/s^2 , el modo 2 una de 1.02 m/s^2 , en estas dos primeras contribuciones las contribuciones son un 81 % menos que en la ductilidad 1 y para los modos 3, 4 y 5 una de 2.44 m/s^2 , un 70 % menos.

Igual que en el escenario 1, es el que más reducción sufre al usar aisladores sísmicos, la cual es de un 49 % en las ductilidades 1 y 3 y un 48 % en la 6. De la misma manera que en el escenario 1, el incremento de altura al modelo de 10 pisos de base aislada, solo origina que se disminuyan las contribuciones dinámicas en un 5 % más.

En el escenario 3 (cuadro 33 y figura 41) en la ductilidad 1, la contribución dinámica varían solo en el modo 1 (2.19 m/s^2) y en los modos del 2 al 5 se mantiene constante en la meseta del espectro 8.83 m/s^2 . En la ductilidad 3 solo los modos 3, 4 y 5 están en la meseta 3.95 m/s^2 y para los modos 2 y 1 disminuye a 3.17 m/s^2 y 0.73 m/s^2 respectivamente. De la misma manera en la ductilidad 6 las aceleraciones de los modos 1 y 2 son 0.42 m/s^2 y 1.84 m/s^2 , menores que la de los modos 3, 4 y 5 que se encuentran en la meseta 2.66 m/s^2 . Los porcentajes de disminución de contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 son prácticamente los mismos de los escenarios 1 y 2, siendo de un 67 % en el modo 1, un 64 % en el modo 2 y un 55 en los modos 3, 4 y

5. También al pasar de la ductilidad 1 a la 6, los porcentajes de reducción siguen manteniendo la tendencia para este modelo en los escenarios 1 y 2, siendo un 80 % en el modo 1, un 79 % en el modo 2 y un 70 % en los modos 3, 4 y 5.

Otro de los porcentajes que sigue la tendencia de los escenarios 1 y 2, es el de disminución en la contribución dinámica con respecto a lo que se obtuvo con base fija en el primer modo pues este es de un 49 % en las ductilidades 1 y 6, y un 48 en la ductilidad.

También al aumentar la altura a el modelo de 10 pisos a 15, con base aislada, el aumento es pequeño en el modo 1, de un 5 % en la ductilidad 1, un 6 % en la ductilidad 3 y de un 4 % en la 6.

En el último, escenario 4, por condiciones del suelo como ya se mencionó, en las tres ductilidades el modo registra mínimas aceleraciones y del 2 al 5, las máximas (cuadro 34 y figura 42). En los modos 2, 3, 4 y 5 (T_2 , T_3 , T_4 y T_5) las magnitudes fueron 8.823 m/s^2 , 3.95 m/s^2 y 2.66 m/s^2 para las ductilidades 1, 3 y 6 respectivamente. Por el contrario en el modo 1 (T_1) las contribuciones decrecen a 3.41 m/s^2 , 1.14 m/s^2 y 0.66 m/s^2 respectivamente para las ductilidades 1, 3 y 6. Esto origina reducciones del 67 % en el modo 1, 55 % en los modos 2, 3, 4 y 5, en comparación con las contribuciones de la ductilidad 1 y Al pasar a la 6, las reducciones fueron del 81 % en el modo 1 y un 70 % en los modos 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Al comparar con los resultados de las contribuciones dinámicas del modelo de 15 pisos con base aislada en este mismo escenario 4, estas se redujeron en un 49 % en el modo 1, pero en los modos superiores, los resultados fueron un 100 % igual. Sin embargo, al pasar de 10 pisos a 15 pisos con base aislada, la reducción de la contribución dinámica disminuyó en el modo 1 un 5 % más con la ductilidad 1, y un 6 % en las ductilidades 3 y 6.

Con la aislación sísmica en este tipo de estructura y con 15 pisos, se tiende a reducir la contribución dinámica del modo 1, en promedio con los resultados de los cuatro tipos de suelo, en un 49 % la con la ductilidad 1, un 48 % con la ductilidad 3 y un 45 % con la ductilidad 6.

Con respecto a las reducciones en la contribución dinámica al pasar de la ductilidad 1 a la 3 (gráfico 19), se tiene que para el modo 1 la

reducción tiende a un 67 % y en los modos superiores entre un 55 % y un 63 %. De igual forma al pasar de la ductilidad 1 a la 6 la reducción de la contribución dinámica (gráfico 20) en el modo 1 es del 82 % y para los modos superiores entre un 70 % y un 78 %.

Modelo 20 pisos base aislada

Por último, se aumenta el número de pisos a 20 con aisladores sísmicos (M20BA), los periodos con esta nueva altura se encuentran en el cuadro 35, en este se observa que los periodos obtenidos para los primeros 5 modos fueron, 2.60 s para T_1 , 0.71 s para el T_2 , 0.38 s para el T_3 , 0.26 s para el T_4 y 0.20 s para el T_5 . La tendencia de estos periodos lo podemos ver en el gráfico 21, es la misma a la de todos los modos anteriores, con variaciones significativas en los primeros 6 periodos aproximadamente y con una tendencia a 0.06 s a partir del modo 6.

En el gráfico 22, se observa que los porcentajes de aumentos que se obtuvieron con el uso de los aisladores sísmicos en este modelos de 20 pisos. En el caso del modo 1, el aumento es del 167 %, en el caso de los modos 2, 3 y 4 los aumentos son del 136 %, 122 % y 116 % respectivamente. Estos aumentos son menores que los que se obtuvo con los modelos de 10 y 15 pisos, por lo tanto, al aumentar la altura en este tipo de estructura, el efecto de alargar los periodos con el uso de aisladores es menor. Una de las razones que explican este comportamiento, es la flexibilidad de las estructuras, pues el modelo de 20 pisos el más flexible entre los modelos de base fija. Siendo los aisladores sísmicos mejor para estructuras rígidas, lo que concuerda con la recomendación teórica que los aisladores son más eficientes en estructuras bajas o rígidas.

Otro argumento por el cual los aisladores se benefician más de las estructuras es comparando los aumentos en los periodos que se presentan, en comparación con el modelo de 10 y 15 pisos con base aislada. Con respecto al primero (10 pisos), los aumentos fueron de un 12 % y 78 % en los modos 1 y 2, un 86 % en los modo 3 y 4 y en el modo 5, un 83 %. Con respeto al segundo (15 pisos), los aumentos fueron del 7 % en el modo 1, un 27 % en los modos 3 y 4, en los modos 4 y 5 de un 30 % y un 33 % respectivamente. Con estos resultados de base aislada el modo fundamental

de vibración es el menos alargamiento y que se puede asumir que es una característica del tipo de aislador de estudio.

En el escenario 1 (cuadro 36 y figura 45), la aceleración en la ductilidad 1 para modo 1 es 1.13 m/s^2 , para el 2 la aceleración se desplaza a la derecha y se disminuye a 4.24 m/s^2 y las máximas aceleraciones 7.36 m/s^2 , fueron alcanzadas con los modos 3, 4 y 5. En la ductilidad 3 la aceleración del modo 1 es 0.33 m/s^2 , para el modo 2 es 1.42 m/s^2 y también las máximas de 3.29 m/s^2 fueron alcanzadas con los modos 3, 4 y 5. En la ductilidad 6, el modo 1 tiene una aceleración de 0.15 m/s^2 , el modo 2 una de 0.82 m/s^2 , en el modo 3 una de 1.49 m/s^2 , el modo 4 2.18 y la meseta del espectro 2.22 m/s^2 fue alcanzado con el modo 5. En las tres ductilidades se logra una distribución de las contribuciones dinámicas especialmente en las ductilidades 3 y 6. De la misma manera que en los modelos de 10 y 15 pisos de base aislada, la disminución de la contribución dinámica tiene mayor consideración en el modo 1 de vibración.

Se obtienen porcentajes de disminución en la contribución dinámica del 71 % en modo 1, 67 % en el modo 2, 65 % en el modo 3 y un 55 % en los modos 4 y 5, al pasar de la ductilidad 1 a la 3. Al pasar de la ductilidad 1 a la 6 los porcentajes fueron de un 87 % en el modo 1, un 81 % en el modo 2, un 80 % en el modo 3 y un 70 % en los modos 4 y 5. Esto genera porcentajes altos de disminución de la contribución dinámica en la ductilidad 6 adicional al efecto disipación de energía que originan los aisladores.

Comparando la contribución dinámica del modo 1 con la obtenida en este mismo modo, pero con el modelo de base fija de 20 pisos, estas se reducen a un 59 % en la ductilidad 1, un 52 en la 3 y un 41 % en la 6. Igual en el modo 2, las contribuciones bajaron a un 75 % con el uso de aisladores sísmicos, en las tres ductilidades (1, 3 y 6).

Con respecto al modelo de 10 pisos de base aislada, se logra disminuir la contribución dinámica del modo 1 en un 11 % y un 21 % en las ductilidades 3 y 6 respectivamente.

En el tipo de suelo S_2 , escenario 2, las aceleraciones aumentan en todos los modos (cuadro 37 y figura 46). En la ductilidad 1 la aceleración para el modo 1 es 1.70 m/s^2 , para el

modo 2 es 6.36 m/s^2 y las máximas aceleraciones de 8.09 m/s^2 , fueron alcanzadas con los modos del 3, 4 y 5. En la ductilidad 3 la aceleración del modo 1 es 0.57 m/s^2 , para el modo 2 2.13 m/s^2 y también las máximas de 3.62 m/s^2 fueron alcanzadas por los modos 3, 4 y 5. En la ductilidad 6 el modo 1 tiene una aceleración de 0.31 m/s^2 , el modo 2 una de 1.23 m/s^2 , para el modo es 3 2.23 m/s^2 y para los modos 4 y 5 una de 2.44 m/s^2 .

Los porcentajes a los que se reducen las contribuciones dinámicas al pasar de la ductilidad 1 a la 3 son de un 66 % y un 67 % en los modos 1 y 2, en los modos 3, 4 y 5 es de un 55 %. Al pasar de la 1 a la 6 los porcentajes son de un 81 en el modo 1 y 2, y de un 70 % en los modos 3, 4 y 5.

Las reducciones de la contribución dinámica al pasar del modelo de 20 pisos con base fija al modelo de 20 pisos con base aislada en modo 1, es de un 66 % con la ductilidad 1, un 59 % con la ductilidad 3 y un 56 % con la ductilidad 6. También en el modo 2 se obtuvo reducciones significativas, pues las reducciones fueron del 79 % con la ductilidad 1 y un 75 % con las ductilidades 3 y 6.

Al comparar los resultados de las contribuciones dinámicas de modelo de 10 pisos de base aislada con las del modelo de 20 pisos con base aislada, dichas contribuciones aumentaron en un 11 % en las ductilidades 1 y 2 y en un 16% en las ductilidad 6.

En el escenario 3 (cuadro 38 y figura 47), las aceleraciones de la ductilidad 1 en el modo 1 es 2.04 m/s^2 y el modo 2 es 7.63 m/s^2 y en los modos 3, 4 y 5 se mantiene constante en la máxima aceleración 8.83 m/s^2 del espectro. En la ductilidad 3 solo los modos 3, 4 y 5 están en el rango de máxima aceleración 3.95 m/s^2 y para los modos 2 y 1 disminuye a 2.56 m/s^2 y 0.68 m/s^2 respectivamente. De la misma manera, en la ductilidad 6 las aceleraciones de los modos 1 y 2 son 0.39 m/s^2 y 1.48 m/s^2 , y en los modos 3, 4 y 5 es 2.66 m/s^2 . Las contribuciones se reducen al analizar la estructura con la ductilidad 3 en un 67 % y un 66 % en los modos 1 y 2, en un 55 % en los modos 3, 4 y 5. Al pasar de la ductilidad 1 a la 6, se reducen en un 81 % para los modos 1 y 2, en los modos 3, 4 y 5 en un 70 % menos.

También, los modos en los que se redujo la contribución dinámica al pasar de base fija a

base aislada, son los modos 1 y 2. En el primero se redujo en un 60 % en la ductilidad 1, en un 59 % en las ductilidades 3 y 6. En el resto de los modos las contribuciones no se presentaron cambios en sus magnitudes.

Comparando los resultados de las contribuciones dinámicas de modelo de 10 pisos de base aislada con las del modelo de 20 pisos con base aislada, dichas contribuciones aumentaron en un 12 % en la ductilidad 1 y un 13 % en las ductilidades 3 y 6.

Por último, en el escenario 4 (cuadro 39 y figura 48), en la ductilidad 1, la menor aceleración $3,18 \text{ m/s}^2$ está en el modo 1, y en los modos del 2 al 5 es 8.83 m/s^2 , los cuales están en la meseta del espectro. En la ductilidad 3, las menores aceleraciones $1,07 \text{ m/s}^2$ y $3,90 \text{ m/s}^2$ están en los modos 1 y 2 respectivamente, y para los modos 3, 4 y 5 que se localizan en el rango de máxima contribución del espectro con 3.95 m/s^2 . En la ductilidad 6 la menor sigue siendo la del modo 1 con 0.62 m/s^2 y la del modo 2 con 2.66 m/s^2 , en el caso de los modos 3, 4 y 5 la aceleración es la máxima del espectro 2.66 m/s^2 . Los porcentajes de reducción al pasar a la ductilidad 3 a un 66 % y un 56 % en los modos 1 y 2 respectivamente, y en el modo 5 a un 55 %.

Las tendencias de reducción de la contribución dinámica por el incremento de la ductilidad, se encuentran en los gráficos 23 y 24. En el primero se encuentran las reducciones al pasar de la ductilidad 1 a la 3, en este el modo 1 se reduce a un 68 % y en los modos superiores entre un 55 % y un 64 %. En el segundo se presentan las reducciones en la contribución dinámica al pasar se la ductilidad 1 a la 6, con un 82 % en el modo 1 y para los modos superiores entre un 70 y un 79 %. Se observa que estas tendencias son similares a las obtenidas en los modelos de 10 y 15 pisos con base aislada, por lo ende, se puede definir que en los modelos de base aislada las reducciones en la contribución dinámica al variar la ductilidad para el modo 1 se encuentra entre un 67 % y un 68 %, y en los modos superiores entre un 52 % y un 64 %.

Con respecto a la disminución que se obtiene a pasar de base fija a base aislada en el marco de 20 pisos, la reducción del modo 1 es un 60 % en las tres ductilidades, siendo el modelo en

donde menos se reduce la demanda sísmica. Además, al pasar al aumentar la altura de 10 a 20 con base aislada, las contribuciones en el modo 1 se disminuyen en un 12 % con las ductilidades 1 y 3, y en un 11 % en la ductilidad 6.

Al instalar aisladores sísmicos a los marcos de concreto reforzado, se aprecia que su mayor influencia en el comportamiento dinámico, se da en el alargamiento de los periodos, como ya se mencionaron, principalmente en el del modo fundamental de vibración (ver gráfico 25). Este alargamiento se da por la gran flexibilidad de la interface de aislación y permite ubicar la estructura en una zona de menor demanda sísmica.

Con el aumento de altura, los periodos aumentaron un 5 % y un 12 % en el modo 1, en el modo 2 un 41 % y un 78 %, en el modo 3 un 44 % y 86 %, en el modo 4, un 43 % y un 86 % y por último el modo 5 un 41 % y 83 %, respectivamente en el modelo de 15 y 20 pisos según el gráfico 26. Aquí se observa que al incrementar el número de pisos, el alargamiento del periodo en el modo fundamental aumenta poco, por lo tanto, el modelo

de 10 pisos al ser la menos flexible o más rígida, es la estructura que más se beneficia con el uso de aisladores.

Comparando los periodos de los modos superiores con respecto al fundamental, obtenidos en estos tres modelos con aisladores (10, 15 y 20 pisos), según el gráfico 27, se tiene que el periodo del modo 2 varían entre un 17 % y un 27 %, el del modo 3 entre un 9 % y un 15 %, en el modo 4 entre un 6 y un 10 % y entre un 5 % y un 8 % para modo 5. Esta tendencia difiere a la que se obtuvo con los modelos de base fija (gráfico 12), debido a que en esta el aumento de la altura la tendencia no es la misma.

Conclusiones

- Las dimensiones utilizadas para los marco de concreto reforzado son basadas en la de edificios construidos en Costa Rica según la encuesta realizada, son vigas de 30/60 cm, columnas de 60/60 cm, claros libres de 7.5 m y alturas de 3 m. Estos datos son de mucha importancia para determinar la matriz lateral de los macos de concreto reforzado.
- En el caso de la carga muerta y viva, para la primera se estableció 633 kg/m² y para la segunda 250 kg/m². Con esto se obtuvo una masa sísmica de 13581,54 kg/m² por piso.
- Al comparar estos resultados con los obtenidos con SAP 2000 la máxima diferencia es de un 0.35 % en modo 1.
- En los modelos de base fija, el aumento de la ductilidad de la 1 a la 3 origina reducciones en la contribución dinámica entre un 65 % y un 67 % para modo 1 y en los superiores entre un 48 % y un 62 % y al aumentar la ductilidad de la 1 a la 6 la reducción en el modo 1 es entre un 80 % y un 81 % y en los modos superiores entre un 62 % y un 77 %. Estas tendencias son independientes del tipo de suelo y toma en cuenta los resultados de los tres modelos (10, 15 y 20 pisos).
- Con aumento de la ductilidad en este tipo de estructuras con base fija, se logra disminuir considerablemente la demanda sísmica en todos los modos de vibración, siendo importante considerar utilizar una ductilidad inelástica en vez de la elástica, para aprovechar la capacidad de los materiales de disipar energía.
- La variación en los tipos de suelos lo presenta una amplificación en la demanda de aceleración espectral para los modelos de base fija y base aislada, siendo mayor en los suelos blandos como los son el S₃ y S₄ que en los rígidos como el S₁ y S₂. Además, que en los blandos la mayoría de los periodos de los modos 2, 3, 4 y 5, se ubicaron el rango de máxima aceleración, debido al alargamiento de los picos de máxima pseudo aceleración con forme se pasa del suelo S₁ al suelo S₄.
- En el modelo de 10 pisos de base fija, las aceleraciones espectrales se distribuyen a lo largo de todo el espectro en los 4 tipos de suelos y conforme se aumenta el número de pisos los modos superiores tienden a estar en la meseta del espectro en los 4 tipos de suelos, especialmente en los más blandos (S₃ y S₄).
- En el caso de los modelos de base fija, el aumento en la altura contribuye a disminuir la aceleración espectral independientemente del tipo de suelo y la ductilidad.
- Al aumentar la cantidad de pisos de 10 a 15 pisos en los modelos de base fija, la contribución dinámica se redujo a un 68 % en modo 1 en las tres ductilidades y en los 4 tipos de suelo analizados, a excepción en el suelo 4 y ductilidad 1 en donde la se redujo a un 79 %. En el resto de los modos no hubo variaciones significativas y se puede decir que son iguales.
- Al aumentar la cantidad de pisos de 10 a 20 pisos, en los modelos de base fija, se presentaron reducciones de la

- contribución dinámica en el modo 1 entre un 50 % y un 51 %, en el modo 2 entre un 52 % y un 78 % y en los modos superiores no se presentan variaciones significativas. Con respecto al aumento de 15 a 20 pisos la contribución se redujo entre un 75 y un 77 % en el modo 1 y entre un 74 % y un 86 % en el modo 2. En el caso de pasar de 15 a 20 pisos las contribuciones dinámicas del primer modo se reducen entre un 75 % y un 77 % y en el modo 2 entre un 76 y un 100 %.
- En los modelos de base fija, el aumento de la ductilidad de la 1 a la 3 origina reducciones en la contribución dinámica entre un 67 % y un 68 % para modo 1 y en los superiores entre un 52 % y un 64 % y al aumentar la ductilidad de la 1 a la 6 la reducción en el modo 1 es entre un 67 % y un 68 % y en los modos superiores entre un 52 % y un 64 %. Estas tendencias son independientes de tipo de suelo y toma en cuenta los resultados de los tres modelos (10, 15 y 20 pisos).
 - Aumentar de 10 pisos a 15 y a 20 pisos con base fija, se genera un incremento en los periodos de un 48 % y 95 % en el primer modo respectivamente. En el segundo modo aumentan un 47 % y un 94 %, en el tercer modo un 46 % y un 92 %, en cuarto modo un 44 % y un 89 % y en el modo 5 un 42 y un 84 %. Esto ocasiona una mayor flexibilidad producto del incremento de las propiedades dinámicas de la estructura.
 - En los modelos de base fija las propiedades dinámicas de la estructura son independientes de las dimensiones de las vigas y columnas de los marcos, pues existe una tendencia entre el primer modo y los 4 restantes en estudio. El segundo modo esta entre un 33 % y un 34 % del primer modo, el tercero es un 20 %, el cuarto entre un 14 y un 15 % y el quinto periodo entre un 11 % y un 12 %.
 - Con el uso de aisladores sísmicos en los modelos de 10, 15 y 20 pisos, el principal efecto que se logra es el alargamiento de periodo fundamental, obtenido incrementos del 290 % (con 10 pisos), 206 % (con 15 pisos) y 167 %, en comparación con los periodos fundamentales logrados con base fija.
 - El efecto de los aisladores se va perdiendo a partir del quinto modo de vibración y el comportamiento de la estructura es como si fuera con base fija.
 - Al comparar los periodos de los modos superiores con el modo fundamental, se presentan una variación entre un 17 % y un 27 % para el modo 2, entre un 9 % y un 15 % para el modo 3, entre un 6 y 10 % para modo 4 y entre un 5 y un 8 % para modo 5, dicha tendencia es totalmente diferente a la que se obtuvo con base fija.
 - El aumento en la altura al modelo de 10 pisos de base aislada a 15 y 20 pisos, generó un incremento en los periodos de un 5 % y un 12 % en el modo 1, en el modo 2 un 41 % y un 78 %, en el modo 3 un 44 % y 86 %, en el modo 4 un 43 % y un 86 % y por último el modo 5 un 41 % y 83 %.
 - En los modelos de base aislada, el aumento de la ductilidad de la 1 a la 3 origina reducciones en la contribución dinámica entre un 67 % y un 68 % para modo 1 y en los superiores entre un 52 % y un 64 % y al aumentar la ductilidad de la 1 a la 6 la reducción en el modo 1 es entre un 67 % y un 68 % y en los modos superiores entre un 52 % y un 64 %. Estas tendencias son independientes de tipo de suelo y toma en cuenta los resultados de los tres modelos (10, 15 y 20 pisos).
 - En el modelo de 10 pisos con el uso de aisladores sísmicos, la contribución dinámica del modo fundamental se reduce entre un 35 % y un 41 % con la ductilidad 1, con la ductilidad 3 entre un 34

% y un 35 % y con la ductilidad 6 entre un 27 % y un 35 %, en los 4 tipos de suelos.

- En el modelo de 15 pisos con el uso de aisladores sísmicos, la contribución dinámica del modo fundamental se reduce entre un 48 % y un 49 % con la ductilidad 1, con la ductilidad 3 entre un 45 % y un 49 % y con la ductilidad 6 entre un 35 % y un 49 %, en los 4 tipos de suelos.
- En el modelo de 20 pisos con el uso de aisladores sísmicos, la contribución dinámica del modo fundamental se reduce entre un 59 % y un 60 % con la ductilidad 1, con la ductilidad 3 entre un 52 % y un 60 % y con la ductilidad 6 entre un 41 % y un 60 %, en los 4 tipos de suelos.
- El edificio que más se beneficia con el aislamiento es el de 10 pisos, en donde ocurre el mayor alargamiento del periodo del modo fundamental, de 0.80 s a 2.32 s, un 290 %.

Recomendaciones

- Generar las matrices de rigidez manualmente en donde se puedan variar las características geométricas con facilidad.
- Obtener las propiedades dinámicas y su respectiva contribución dinámica de otras tipologías de edificios o estructuras para poder generar conclusiones más generales del comportamiento dinámico de la estructuras.
- Realizar las comparaciones de las propiedades dinámicas y contribución estática para edificios con diferentes materiales como acero, mampostería y madera o la combinación de ellas.
- Poder analizar edificios que representen en la medida de lo posible lo que se construyen en la realidad.
- Poder analizar y comparar más sistemas de protección sísmica para promocionar su uso en edificaciones en Costa Rica.
- Poder seleccionar el tipo de aislador sísmico que se requiere y así tener más claro los posibles efectos en la demanda sísmica.
- Tener la variable “costo” tanto en la comparación de las propiedades dinámicas y contribución dinámica, tanto con base fija como con base aislada u otro sistema de protección sísmica.

Apéndices

Apéndice A. Sobrecargas muertas mínimas.

ítem	Descripción	Magnitud (kg/m ²)		Fuente
		mín	máx	
Acabado	Piso de cerámica	60		Ing. Adrián Chaverri Coto
	baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero	80		NSR-10 – Capítulo B.3 – Cargas muertas
	Ladrillo de cemento	83		RNC-07-Nicaragua
	Ladrillo de cerámica	30		RNC-07-Nicaragua
	Piso (cerámica o porcelanato)	75		Ing. Francisco Jiménez
Instalaciones electromecánicas	Ducto mecánico y canales suspendidos de acero	30		NSR-10 – Capítulo B.3 – Cargas muertas
	mecánica y eléctrica	20		Ing. Francisco Jiménez
	Tubería de incendios	20		
Cielo raso	Livianas	10	20	Ing. Adrián Chaverri Coto
	Pañete en yeso o concreto	25		NSR-10 – Capítulo B.3 –
	Sistema de suspensión de madera	80		NSR-10 – Capítulo B.3 –
	Fibrocemento liso 6 mm con estructura de madera	22		RNC-07-Nicaragua
	Fibrocemento liso 6 mm con estructura de aluminio	7		RNC-07-Nicaragua
	Cielo liviano	20		Ing. Francisco Jiménez
Divisiones o particiones	Paredes livianas	50	70	Ing. Adrián Chaverri Coto
	Estructura metálica con Durock en una cara y yeso en interiores	23		RNC-07-Nicaragua
	Esqueleto madera 2"x3" con Plywood 1/4" ambas caras	10		RNC-07-Nicaragua
	Esqueleto madera 2"x3" con Plywood 1/4" ambas caras	16		RNC-07-Nicaragua
	Paredes livianas	100		Ing. Miguel Peralta Salas
	Paredes livianas	70	80	Ing. Francisco Jiménez

Fuente: Anexos 2, 3, 4 y 5.

Apéndice B. Dimensiones de edificios en Costa Rica para caracterizar modelo de edificio a estudiar.

Ítem	Nombre Edificio	Ubicación Provincia	Uso/Ocupación	Sistema estructural	Número pisos	Tipo entrepiso	de elementos estructurales				Altura de Piso	Distancia entre claros		
							Columnas "b*h" (cm)		Vigas "b*h" (cm)			x(m)	y(m)	
14	Edificio de Ingeniería en Producción Industrial	Cartago	Aulas y Oficinas	M-C-V	2	Vig-B-C	30	100	20	40	3	6	13	
							20	30	20	50				
									25	75				
9	Torres de Heredia	Heredia	Centro Comercial	M-C-V	2	Lmulti	40	70	25	50	4,2			
							Vig-B-C	40	40	30		70		
								25	25	20		60		
								15	20	20		40		
								15	85	20		80		
								15	105	20		100		
								20	30	20		150		
								15	44,5					
4	EC ALJS	Alajuela	Comercial	M-C-V	2	Lmulti	80	120	35	100	5	12	9	
16	Hospital Calderón Guardia(Nutrición-Ropería-Archivo pasivo)	San José	Hospital	M-C-V	3	Vig-B-C	55	55	35	65	4	8	9,5	
							55	175	35	70				
							55	150						
8	Torres de Heredia	Heredia	Parqueos	M-C-V	4	Lmulti	37,5	135	25	50	3,1			
							Vig-B-C	40	135	30		70		
								37,5	70	35		80		
6	Centro Comercial Calle Morenos	San José	Comercial	M-C-V	4	Lmulti	50	50	30	50	2,65			
								40	80	30		70		
							Vig-B-C	50	50	30		80		
13	Centro Empresarial Calle Morenos	San José	Centro Comercial	M-C-V	4	Lmulti	50	70	30	60	3,7	8,4	3,45	
								50	70	30				60
								40	50					
								20	50					
12	Condominios Verticales Residenciales Veranda	San José	Apartamentos	M-C-V	5	Vig-B-C	20	20	16,5	79	3,42	4,45	3,77	
							20	60	20	40				
							20	37,4	15	30				
							20	32,5	15	40				
							15	45						
							20	65						
							20	100						
							20	120						
							20	130						
							20	150						
15	Edificio Núcleo de Tecnología de Información			M-C-V	5	Vig-B-C	30	100	25	70	3	6	13,5	
							30	120	25	75				
									20	50				
3	CCL	San José	Comercial	C-V	6	Lmulti	40	40	30	60	3			
5	SIGMA	San José	Comercial y oficinas	M-C-V	6	Lmulti	50	50	30	80				
							60	60	30	50				
10	UNIBE	San José	Aulas y Oficinas	M-C-V	6	LCS	50	50	30	90	3,6	8	9	
							50	80	30	80				
									30	70				
1	Caja de Ande	San José	Oficinas	M-C-V	8	Lmulti	40	40	30	60	3	6	8,5	
2	Oficentro Dent	San José	Oficinas	M-C-V	8	Lmulti	40	40	25	60	3	6	8	
11	Condominios Verticales Residenciales Parque Azul	San José	Apartamentos	M-C-V	8	Lmulti	50	70	30	60	2,8	5,6	4,3	
							60	60	30	50				
							LCS	20	65	15				50
7	Torres de Heredia	Heredia	Apartamentos	M-C-V	12	LCS	20	137,5	15	35	2,65			
							20	157,5	15	20				
							20	120	15	40				
							20	45	15	140				
									15	60				
									15	77,5				
									20	50				
									20	30				
									20	40				
									20	40				
8	Condominio Vertical Horizontal(Residencial Azeza Towers)	San José	Apartamentos	Muros y Marcos C-V	22	Lmulti	20	35	20	55	3,25	8	5,5	
							LCS	20	70	20				40
							20	147,5	20	60				
							20	72,5	25	95				
							20	35	25	110				
							20	47,5	25	70				
							20	122,5	25	50				
							20	85	30	90				
							20	60	30	135				
							25	85	30	80				
							25	110						
							25	122,5						
							25	135						
							40	40						
							45	50						
50	50													
50	77,5													
60	60													
60	70													

Fuente: Elaboración propia con entrevistas.

Apéndice C. Cálculo de entrepiso

Determinación de Carga Muerta total

ítem	Descripción	Magnitud (kg/m ²)	Fuente
Entrepiso	Tipo VIG20-U (7,5 cm sobrelosa)	433	Productos de Concreto
Acabado	Piso(cerámica o porcelanato)	60	Ing. Adrián Chaverri Coto
Instalaciones electrome	Electromecánicas	30	
Cielo raso	Con estructura metálica	20	Ing. Adrián Chaverri Coto
Divisiones o particiones	Livianas	90	Ing. Miguel Peralta Salas
Sobrecarga Muerta (CM _{ad}) =		200	
Carga Muerta total CM _{Total} =		633	

Determinación de Carga Viva total

Uso	Cargas Temporal (kg/m ²)	Fuente
Habitacional	200	CSCR-10
Oficinas	250	CSCR-10
Carga Viva total	250	Oficinas

Selección de entrepiso

CM _{ad} +CV (kg/m ²)=	450
Claro libre (m)=	7,5
Tipo entre:	Tipo VIG20-U (7,5 cm sobrelosa)
Peso Viguetas(kg/m ²)=	58
Peso Concreto(kg/m ²)=	214
Peso bloques-concreto(kg/m ²)=	161
CM _{Entrepiso} (kg/m ²)=	433

Fuente: Anexos 1 y 6.

Apéndice D. Seudo aceleración para el Suelo S₁ Zona III

Periodo T(s)	Sa (m/s ²)		
	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	2,943	2,943	2,943
0,020	2,943	2,943	2,943
0,030	2,943	2,943	2,943
0,030	2,943	2,943	2,943
0,040	3,522	3,008	2,784
0,050	4,068	3,061	2,663
0,060	4,577	3,106	2,568
0,070	5,057	3,144	2,490
0,080	5,513	3,177	2,425
0,090	5,949	3,206	2,369
0,100	6,369	3,233	2,319
0,110	6,774	3,257	2,276
0,120	7,166	3,280	2,237
0,125	7,358	3,290	2,218
0,150	7,358	3,290	2,218
0,200	7,358	3,290	2,218
0,250	7,358	3,290	2,218
0,257	7,358	3,290	2,218
0,281	7,358	3,290	2,032
0,300	7,358	3,290	1,902
0,300	7,358	3,290	1,904
0,330	7,358	2,985	1,728
0,356	7,358	2,770	1,603
0,400	7,358	2,465	1,426
0,450	6,540	2,191	1,268
0,500	5,886	1,972	1,141
0,600	4,905	1,643	0,951
0,800	3,679	1,232	0,713
1,000	2,943	0,986	0,571
1,100	2,675	0,896	0,519
1,200	2,453	0,822	0,475
1,300	2,264	0,758	0,439
1,400	2,102	0,704	0,408
1,500	1,962	0,657	0,380
1,788	1,646	0,551	0,319
2,000	1,472	0,493	0,255
2,074	1,419	0,475	0,237
2,277	1,293	0,433	0,197
2,500	1,177	0,359	0,163
2,523	1,166	0,353	0,160
2,604	1,130	0,331	0,150
2,620	1,117	0,327	0,149
3,000	0,852	0,249	0,113
4,000	0,479	0,140	0,064
5,000	0,307	0,090	0,041
6,000	0,213	0,062	0,028
7,000	0,156	0,046	0,021
8,000	0,120	0,035	0,016
9,000	0,095	0,028	0,013
10,000	0,077	0,022	0,010

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice E. Seudo aceleración para el Suelo S₂ Zona III

Periodo T(s)	Sa (m/s ²)		
	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	3,237	3,237	3,237
0,020	3,237	3,237	3,237
0,030	3,237	3,237	3,237
0,030	3,237	3,237	3,237
0,040	3,874	3,309	3,063
0,050	4,475	3,367	2,930
0,060	5,035	3,416	2,825
0,070	5,563	3,458	2,739
0,080	6,065	3,494	2,667
0,090	6,544	3,527	2,605
0,100	7,006	3,556	2,551
0,110	7,451	3,583	2,503
0,120	7,882	3,608	2,460
0,125	8,093	3,619	2,440
0,150	8,093	3,619	2,440
0,200	8,093	3,619	2,440
0,250	8,093	3,619	2,440
0,300	8,093	3,619	2,440
0,351	8,093	3,619	2,440
0,383	8,093	3,619	2,235
0,409	8,093	3,619	2,094
0,450	8,093	3,284	1,900
0,450	8,093	3,286	1,902
0,485	8,093	3,047	1,763
0,500	8,093	2,958	1,712
0,545	8,093	2,711	1,569
0,600	7,358	2,465	1,426
0,800	5,518	1,849	1,070
1,000	4,415	1,479	0,856
1,100	4,013	1,344	0,778
1,200	3,679	1,232	0,713
1,300	3,396	1,138	0,658
1,400	3,153	1,056	0,611
1,500	2,943	0,986	0,571
2,000	2,207	0,739	0,428
2,438	1,811	0,607	0,351
2,500	1,766	0,592	0,334
2,828	1,561	0,523	0,261
3,000	1,472	0,493	0,232
3,105	1,422	0,476	0,216
3,441	1,283	0,388	0,176
3,552	1,243	0,364	0,165
3,573	1,228	0,360	0,163
4,000	0,980	0,287	0,130
5,000	0,627	0,184	0,083
6,000	0,436	0,128	0,058
7,000	0,320	0,094	0,043
8,000	0,245	0,072	0,033
9,000	0,194	0,057	0,026
10,000	0,157	0,046	0,021

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice F. Seudo aceleración para el Suelo S₃ Zona III

Periodo T(s)	Sa (m/s ²)		
	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	3,532	3,532	3,532
0,020	3,532	3,532	3,532
0,030	3,532	3,532	3,532
0,030	3,532	3,532	3,532
0,040	4,226	3,610	3,341
0,050	4,882	3,674	3,196
0,060	5,493	3,727	3,082
0,070	6,069	3,772	2,988
0,080	6,616	3,812	2,910
0,090	7,139	3,848	2,842
0,100	7,643	3,880	2,783
0,110	8,129	3,909	2,731
0,120	8,599	3,936	2,684
0,125	8,829	3,948	2,662
0,150	8,829	3,948	2,662
0,200	8,829	3,948	2,662
0,250	8,829	3,948	2,662
0,300	8,829	3,948	2,662
0,386	8,829	3,948	2,662
0,421	8,829	3,948	2,438
0,449	8,829	3,948	2,285
0,450	8,829	3,944	2,282
0,495	8,829	3,582	2,073
0,500	8,829	3,549	2,054
0,534	8,829	3,323	1,923
0,600	8,829	2,958	1,712
0,600	8,829	2,958	1,712
0,800	6,622	2,218	1,284
1,000	5,297	1,775	1,027
1,100	4,816	1,613	0,934
1,200	4,415	1,479	0,856
1,300	4,075	1,365	0,790
1,400	3,784	1,268	0,734
1,500	3,532	1,183	0,685
2,000	2,649	0,887	0,513
2,500	2,119	0,710	0,411
2,682	1,975	0,662	0,383
3,000	1,766	0,592	0,306
3,111	1,703	0,570	0,285
3,415	1,551	0,520	0,236
3,785	1,400	0,423	0,192
3,907	1,356	0,397	0,180
3,930	1,340	0,392	0,178
4,000	1,293	0,379	0,172
5,000	0,828	0,242	0,110
6,000	0,575	0,168	0,076
7,000	0,422	0,124	0,056
8,000	0,323	0,095	0,043
9,000	0,256	0,075	0,034
10,000	0,207	0,061	0,028

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice G. Seudo aceleración para el Suelo S₄ Zona III

Periodo T(s)	Sa (m/s ²)		
	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	3,532	3,532	3,532
0,020	3,532	3,532	3,532
0,030	3,532	3,532	3,532
0,030	3,532	3,532	3,532
0,040	4,226	3,610	3,341
0,050	4,882	3,674	3,196
0,060	5,493	3,727	3,082
0,070	6,069	3,772	2,988
0,080	6,616	3,812	2,910
0,090	7,139	3,848	2,842
0,100	7,643	3,880	2,783
0,110	8,129	3,909	2,731
0,120	8,599	3,936	2,684
0,125	8,829	3,948	2,662
0,150	8,829	3,948	2,662
0,200	8,829	3,948	2,662
0,250	8,829	3,948	2,662
0,300	8,829	3,948	2,662
0,450	8,829	3,948	2,662
0,500	8,829	3,948	2,662
0,600	8,829	3,948	2,662
0,600	8,829	3,948	2,662
0,655	8,829	3,948	2,438
0,699	8,829	3,948	2,285
0,771	8,829	3,582	2,073
0,800	8,829	3,451	1,997
0,831	8,829	3,323	1,923
0,933	8,829	2,958	1,712
1,000	8,240	2,761	1,597
1,100	7,491	2,510	1,452
1,200	6,867	2,300	1,331
1,300	6,339	2,124	1,229
1,400	5,886	1,972	1,141
1,500	5,494	1,840	1,065
2,000	4,120	1,380	0,799
2,500	3,296	1,104	0,639
3,000	2,747	0,920	0,532
4,000	2,060	0,690	0,399
4,171	1,975	0,662	0,383
4,839	1,703	0,570	0,285
5,000	1,648	0,552	0,267
5,312	1,551	0,520	0,236
5,887	1,400	0,423	0,192
6,000	1,373	0,407	0,185
6,077	1,356	0,397	0,180
6,113	1,340	0,392	0,178
7,000	1,022	0,299	0,136
8,000	0,782	0,229	0,104
9,000	0,618	0,181	0,082
10,000	0,501	0,147	0,067

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice H. Matriz de Masa para modelo de 10 pisos.

13581,537	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	13581,537	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	13581,537	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	13581,537	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	13581,537	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	13581,537	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	13581,537	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	13581,537	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	13581,537	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,537

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice I. Matriz de Flexibilidad para modelo de 10 pisos.

2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08
2,666E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,399E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y SAP2000

Apéndice J. Matriz de Rigidez para modelo de 10 pisos.

75018754,689	-37509377,344	0	0	0	0	0	0	0	0
-37509377,344	75032829,502	-37523452,158	0	0	0	0	0	0	0
0	-37523452,158	75032829,502	-37509377,344	0	0	0	0	0	0
0	0	-37509377,344	75018754,689	-37509377,344	0	0	0	0	0
0	0	0	-37509377,344	75018754,689	-37509377,344	0	0	0	0
0	0	0	0	-37509377,344	75018754,689	-37509377,344	0	0	0
0	0	0	0	0	-37509377,344	75018754,689	-37509377,344	0	0
0	0	0	0	0	0	-37509377,344	75032829,502	-37523452,158	0
0	0	0	0	0	0	0	-37523452,158	75032829,502	-37509377,344
0	0	0	0	0	0	0	0	-37509377,344	37509377,344

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y SAP2000

Apéndice K. Matriz de Masa para modelo de 15 pisos en base fija.

13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13581,5367

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Apéndice L. Matriz de Flexibilidad para modelo de 15 pisos en base fija.

2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08	2,666E-08
2,666E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08	5,332E-08
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08	7,997E-08
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07	1,066E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07	1,333E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07	1,600E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07	1,866E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07	2,133E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,399E-07	2,399E-07	2,399E-07	2,399E-07	2,399E-07	2,399E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07	2,666E-07	2,666E-07	2,666E-07	2,666E-07	2,666E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07	2,932E-07	2,932E-07	2,932E-07	2,932E-07	2,932E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07	2,932E-07	3,199E-07	3,199E-07	3,199E-07	3,199E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07	2,932E-07	3,199E-07	3,466E-07	3,466E-07	3,466E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07	2,932E-07	3,199E-07	3,466E-07	3,732E-07	3,732E-07
2,666E-08	5,332E-08	7,997E-08	1,066E-07	1,333E-07	1,600E-07	1,866E-07	2,133E-07	2,399E-07	2,666E-07	2,932E-07	3,199E-07	3,466E-07	3,732E-07	3,999E-07

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y SAP2000

Apéndice M. Matriz de Rigidez para modelo de 15 pisos en base fija.

7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3,751E+07	7,503E+07	-3,752E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-3,752E+07	7,503E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,503E+07	-3,752E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-3,752E+07	7,503E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,502E+07	-3,751E+07	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	7,503E+07	-3,752E+07	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,752E+07	7,503E+07	-3,751E+07	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,751E+07	3,751E+07	0

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y SAP2000.

Apéndice N. Matriz de Masa para modelo de 20 pisos en base fija.

1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36E+04

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice O. Matriz de Flexibilidad para modelo de 20 pisos en base fija.

2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08
2,67E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08	5,33E-08
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08	8,00E-08
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07	1,07E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07	1,33E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07	1,60E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07	1,87E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,13E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,40E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07	2,93E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07	3,20E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,47E-07	3,47E-07	3,47E-07	3,47E-07	3,47E-07	3,47E-07	3,47E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	3,73E-07	3,73E-07	3,73E-07	3,73E-07	3,73E-07	3,73E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	4,00E-07	4,27E-07	4,27E-07	4,27E-07	4,27E-07	4,27E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	4,00E-07	4,27E-07	4,53E-07	4,53E-07	4,53E-07	4,53E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	4,00E-07	4,27E-07	4,53E-07	4,80E-07	4,80E-07	4,80E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	4,00E-07	4,27E-07	4,53E-07	4,80E-07	5,07E-07	5,07E-07
2,67E-08	5,33E-08	8,00E-08	1,07E-07	1,33E-07	1,60E-07	1,87E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,67E-07	2,93E-07	3,20E-07	3,47E-07	3,73E-07	4,00E-07	4,27E-07	4,53E-07	4,80E-07	5,07E-07	5,33E-07

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y SAP2000.

Apéndice P. Matriz de Rigidez para modelo de 20 pisos en base fija.

7,50E+07	-3,75E+07	0	0	0	-8,33E-09	0	0	0	0	0	0	0	0	4,16E-09	0	0	0	-4,16E-09	-8,33E-09	-8,33E-09
-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	8,33E-09	0	8,33E-09	-8,33E-09	0	1,67E-08	8,33E-09	0	4,16E-09	1,67E-08	1,25E-08	4,16E-09	0	8,33E-09	-4,16E-09	8,33E-09	8,33E-09	
0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	4,17E-09	-4,17E-09	8,33E-09	0	-1,25E-08	-8,33E-09	0	-4,17E-09	-8,33E-09	-8,33E-09	-4,17E-09	0	-1,25E-08	8,33E-09	0	-4,17E-09	
0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	0	-1,67E-08	0	8,33E-09	8,33E-09	0	4,16E-09	0	4,16E-09	4,16E-09	0	0	-1,25E-08	-8,33E-09	0	
0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	1,67E-08	0	-8,33E-09	0	0	-4,16E-09	0	-8,33E-09	-4,16E-09	0	8,33E-09	1,25E-08	0	0	
0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	0	0	-8,33E-09	8,33E-09	0	0	4,16E-09	0	0	1,67E-08	-4,16E-09	8,33E-09	0	
0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	1,67E-08	0	-4,16E-09	-4,16E-09	8,33E-09	1,25E-08	8,33E-09	8,33E-09	-8,33E-09	-4,16E-09	1,67E-08	0	
0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	4,16E-09	4,16E-09	4,16E-09	-8,33E-09	-2,08E-08	0	-8,33E-09	-8,33E-09	8,33E-09	-1,67E-08	0	
0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	-4,17E-09	-4,17E-09	0	4,17E-09	0	-8,33E-09	-4,17E-09	-8,33E-09	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	4,16E-09	-8,33E-09	0	-8,33E-09	8,33E-09	1,67E-08	4,16E-09	-8,33E-09	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	8,33E-09	4,16E-09	0	-8,33E-09	-8,33E-09	-4,16E-09	1,67E-08	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	8,33E-09	4,16E-09	0	8,33E-09	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	0	8,33E-09	-8,33E-09	8,33E-09	-8,33E-09	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	0	8,33E-09	-8,33E-09	8,33E-09	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	-1,67E-08	8,33E-09	-8,33E-09	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	-4,16E-09	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	8,33E-09	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07	-3,75E+07
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	7,50E+07
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,75E+07	3,75E+07

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel y SAP2000

Apéndice Q. Seudo aceleración para modelo de 10 pisos con base fija en zona sísmica III suelos 1, 2,3 y 4.

Modos vibración	Periodos T(seg)	S _a -M10BF-S ₁ (m/s ²)			S _a -M10BF-S ₂ (m/s ²)			S _a -M10BF-S ₃ (m/s ²)			S _a -M10BF-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	0,7999	3,6794	1,2326	0,7133	5,5190	1,8489	1,0699	6,6229	2,2187	1,2839	8,8290	3,4511	1,9970
Modo 2	0,2686	7,3575	3,2904	2,1281	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 3	0,1636	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 4	0,1196	7,1502	3,2789	2,2381	7,8652	3,6068	2,4619	8,5802	3,9347	2,6857	8,5802	3,9347	2,6857
Modo 5	0,0959	6,1970	3,2221	2,3395	6,8167	3,5443	2,5735	7,4364	3,8665	2,8074	7,4364	3,8665	2,8074
Modo 6	0,0815	5,5786	3,1812	2,4165	6,1365	3,4993	2,6581	6,6944	3,8174	2,8997	6,6944	3,8174	2,8997
Modo 7	0,0724	5,1666	3,1515	2,4746	5,6833	3,4667	2,7221	6,1999	3,7818	2,9696	6,1999	3,7818	2,9696
Modo 8	0,0663	4,8796	3,1295	2,5191	5,3676	3,4425	2,7710	5,8556	3,7554	3,0230	5,8556	3,7554	3,0230
Modo 9	0,0626	4,7021	3,1155	2,5479	5,1723	3,4270	2,8027	5,6425	3,7386	3,0575	5,6425	3,7386	3,0575
Modo 10	0,0605	4,6014	3,1075	2,5642	5,0615	3,4183	2,8207	5,5216	3,7290	3,0771	5,5216	3,7290	3,0771

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice R. Seudo aceleración para modelo de 15 pisos con base fija en zona sísmica III y suelos 1, 2,3 y 4.

Modos vibración	Periodos T(seg)	S _a -M15BF-S ₁ (m/s ²)			S _a -M15BF-S ₂ (m/s ²)			S _a -M15BF-S ₃ (m/s ²)			S _a -M15BF-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	1,1802	2,4966	0,8364	0,4840	3,7450	1,2546	0,7260	4,4940	1,5055	0,8712	6,9906	2,3419	1,3551
Modo 2	0,3948	7,3575	2,5008	1,4471	8,0933	3,6194	2,1699	8,8290	3,9484	2,6049	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 3	0,2385	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 4	0,1721	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 5	0,1357	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 6	0,1130	6,8914	3,2641	2,2639	7,5805	3,5906	2,4903	8,2697	3,9170	2,7167	8,2697	3,9170	2,7167
Modo 7	0,0977	6,2725	3,2269	2,3307	6,8997	3,5496	2,5637	7,5270	3,8723	2,7968	7,5270	3,8723	2,7968
Modo 8	0,0868	5,8099	3,1969	2,3866	6,3909	3,5166	2,6253	6,9719	3,8363	2,8639	6,9719	3,8363	2,8639
Modo 9	0,0788	5,4585	3,1728	2,4328	6,0043	3,4901	2,6760	6,5502	3,8073	2,9193	6,5502	3,8073	2,9193
Modo 10	0,0728	5,1848	3,1528	2,4720	5,7033	3,4681	2,7192	6,2218	3,7834	2,9664	6,2218	3,7834	2,9664
Modo 11	0,0684	4,9804	3,1375	2,5028	5,4784	3,4512	2,7531	5,9765	3,7650	3,0034	5,9765	3,7650	3,0034
Modo 12	0,0650	4,8173	3,1246	2,5292	5,2990	3,4370	2,7822	5,7807	3,7495	3,0351	5,7807	3,7495	3,0351
Modo 13	0,0626	4,7021	3,1155	2,5479	5,1723	3,4270	2,8027	5,6425	3,7386	3,0575	5,6425	3,7386	3,0575
Modo 14	0,0610	4,6254	3,1094	2,5603	5,0879	3,4204	2,8164	5,5504	3,7313	3,0724	5,5504	3,7313	3,0724
Modo 15	0,0601	4,5822	3,1060	2,5673	5,0404	3,4166	2,8241	5,4986	3,7272	3,0808	5,4986	3,7272	3,0808

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice S. Seudo aceleración para modelo de 20 pisos con base fija en zona sísmica III y suelos 1, 2,3 y 4.

Modos vibración	Periodos T(seg)	S _a -M20BF-S ₁ (m/s ²)			S _a -M20BF-S ₂ (m/s ²)			S _a -M20BF-S ₃ (m/s ²)			S _a -M20BF-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	1,5607	1,8954	0,6350	0,3674	2,8537	0,9560	0,5532	3,4244	1,1472	0,6638	5,3269	1,7845	1,0326
Modo 2	0,5212	5,6780	1,9022	1,1007	8,0933	2,8428	1,6450	8,8290	3,4084	1,9723	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 3	0,3140	7,3575	3,1472	1,8212	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 4	0,2256	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 5	0,1768	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 6	0,1461	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 7	0,1251	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 8	0,1100	6,7738	3,2574	2,2757	7,4512	3,5832	2,5032	8,1286	3,9089	2,7308	8,1286	3,9089	2,7308
Modo 9	0,0986	6,3102	3,2293	2,3262	6,9412	3,5523	2,5589	7,5723	3,8752	2,7915	7,5723	3,8752	2,7915
Modo 10	0,0898	5,9408	3,2058	2,3697	6,5348	3,5263	2,6067	7,1289	3,8469	2,8437	7,1289	3,8469	2,8437
Modo 11	0,0830	5,6441	3,1856	2,4080	6,2085	3,5042	2,6488	6,7729	3,8228	2,8896	6,7729	3,8228	2,8896
Modo 12	0,0775	5,3992	3,1685	2,4413	5,9391	3,4853	2,6854	6,4790	3,8021	2,9295	6,4790	3,8021	2,9295
Modo 13	0,0731	5,1985	3,1538	2,4701	5,7184	3,4692	2,7171	6,2382	3,7846	2,9641	6,2382	3,7846	2,9641
Modo 14	0,0695	5,0332	3,1416	2,4942	5,5365	3,4558	2,7437	6,0398	3,7700	2,9931	6,0398	3,7700	2,9931
Modo 15	0,0667	4,8988	3,1310	2,5160	5,3887	3,4441	2,7676	5,8786	3,7572	3,0192	5,8786	3,7572	3,0192
Modo 16	0,0645	4,7933	3,1227	2,5331	5,2726	3,4350	2,7864	5,7519	3,7472	3,0398	5,7519	3,7472	3,0398
Modo 17	0,0627	4,7069	3,1159	2,5471	5,1776	3,4274	2,8018	5,6483	3,7390	3,0566	5,6483	3,7390	3,0566
Modo 18	0,0614	4,6446	3,1109	2,5572	5,1090	3,4220	2,8130	5,5735	3,7331	3,0687	5,5735	3,7331	3,0687
Modo 19	0,0605	4,6014	3,1075	2,5642	5,0615	3,4183	2,8207	5,5216	3,7290	3,0771	5,5216	3,7290	3,0771
Modo 20	0,0600	4,5774	3,1056	2,5681	5,0351	3,4162	2,8249	5,4929	3,7267	3,0817	5,4929	3,7267	3,0817

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice T. Seudo aceleración para modelo de 10 pisos con base aislada zona sísmica III suelos 1, 2,3 y 4.

Modos vibración	Periodos T(seg)	S _a -M10BA-S ₁ (m/s ²)			S _a -M10BA-S ₂ (m/s ²)			S _a -M10BA-S ₃ (m/s ²)			S _a -M10BA-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,3163	1,2722	0,4199	0,1908	1,9209	0,6435	0,3724	2,3136	0,7751	0,4485	3,5989	1,2056	0,6977
Modo 2	0,3976	7,3575	2,4814	1,4359	8,0933	3,6194	2,1545	8,8290	3,9484	2,5872	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 3	0,2060	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 4	0,1406	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 5	0,1084	6,7090	3,2535	2,2827	7,3799	3,5789	2,5109	8,0508	3,9042	2,7392	8,0508	3,9042	2,7392
Modo 6	0,0898	5,9408	3,2058	2,3697	6,5348	3,5263	2,6067	7,1289	3,8469	2,8437	7,1289	3,8469	2,8437
Modo 7	0,0781	5,4266	3,1705	2,4373	5,9692	3,4875	2,6811	6,5119	3,8045	2,9248	6,5119	3,8045	2,9248
Modo 8	0,0704	5,0754	3,1449	2,4877	5,5829	3,4594	2,7365	6,0905	3,7738	2,9853	6,0905	3,7738	2,9853
Modo 9	0,0653	4,8317	3,1257	2,5269	5,3148	3,4383	2,7796	5,7980	3,7509	3,0323	5,7980	3,7509	3,0323
Modo 10	0,0621	4,6781	3,1136	2,5518	5,1459	3,4249	2,8070	5,6138	3,7363	3,0621	5,6138	3,7363	3,0621

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice U. Seudo aceleración para modelo de 15 pisos con base aislada zona sísmica III suelos 1, 2,3 y 4.

Modos vibración	Periodos T(seg)	S _a -M15BA-S ₁ (m/s ²)			S _a -M15BA-S ₂ (m/s ²)			S _a -M15BA-S ₃ (m/s ²)			S _a -M15BA-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,4297	1,2135	0,3824	0,1738	1,8182	0,6091	0,3525	2,1934	0,7348	0,4252	3,4120	1,1430	0,6614
Modo 2	0,5611	5,2866	1,7710	1,0248	7,8822	2,6406	1,5280	8,8290	3,1732	1,8362	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 3	0,2963	7,3575	3,2904	1,9268	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 4	0,2013	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 5	0,1533	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 6	0,1248	7,3498	3,2900	2,2191	8,0848	3,6189	2,4410	8,8198	3,9479	2,6629	8,8198	3,9479	2,6629
Modo 7	0,1061	6,6159	3,2479	2,2927	7,2775	3,5727	2,5220	7,9391	3,8975	2,7512	7,9391	3,8975	2,7512
Modo 8	0,0931	6,0795	3,2146	2,3533	6,6875	3,5361	2,5887	7,2954	3,8576	2,8240	7,2954	3,8576	2,8240
Modo 9	0,0836	5,6703	3,1874	2,4046	6,2373	3,5062	2,6451	6,8043	3,8249	2,8856	6,8043	3,8249	2,8856
Modo 10	0,0766	5,3581	3,1655	2,4472	5,8940	3,4820	2,6919	6,4298	3,7986	2,9366	6,4298	3,7986	2,9366
Modo 11	0,0714	5,1210	3,1482	2,4812	5,6331	3,4630	2,7293	6,1452	3,7778	2,9774	6,1452	3,7778	2,9774
Modo 12	0,0674	4,9324	3,1337	2,5106	5,4257	3,4470	2,7616	5,9189	3,7604	3,0127	5,9189	3,7604	3,0127
Modo 13	0,0645	4,7933	3,1227	2,5331	5,2726	3,4350	2,7864	5,7519	3,7472	3,0398	5,7519	3,7472	3,0398
Modo 14	0,0623	4,6877	3,1143	2,5502	5,1565	3,4258	2,8053	5,6253	3,7372	3,0603	5,6253	3,7372	3,0603
Modo 15	0,0609	4,6206	3,1090	2,5611	5,0826	3,4199	2,8172	5,5447	3,7308	3,0733	5,5447	3,7308	3,0733

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice V. Seudo aceleración para el modelo de 20 pisos con base aislada en zona sísmica III y suelos 1, 2,3 y 4.

Modos vibración	Periodos T(seg)	S _a -M20BA-S ₁ (m/s ²)			S _a -M20BA-S ₂ (m/s ²)			S _a -M20BA-S ₃ (m/s ²)			S _a -M20BA-S ₄ (m/s ²)		
		μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆	μ ₁	μ ₃	μ ₆
Modo 1	2,6045	1,1300	0,3309	0,1504	1,7006	0,5697	0,3106	2,0364	0,6822	0,3948	3,1813	1,0658	0,6167
Modo 2	0,7084	4,2404	1,4205	0,8220	6,3606	2,1308	1,2330	7,6327	2,5570	1,4796	8,8290	3,9010	2,2574
Modo 3	0,3841	7,3575	2,5749	1,4900	8,0933	3,6194	2,2284	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 4	0,2618	7,3575	3,2904	2,1818	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 5	0,1989	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 6	0,1610	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 7	0,1359	7,3575	3,2904	2,2184	8,0933	3,6194	2,4402	8,8290	3,9484	2,6620	8,8290	3,9484	2,6620
Modo 8	0,1181	7,0913	3,2756	2,2439	7,8005	3,6031	2,4683	8,5096	3,9307	2,6927	8,5096	3,9307	2,6927
Modo 9	0,1049	6,5673	3,2450	2,2979	7,2241	3,5695	2,5277	7,8808	3,8940	2,7575	7,8808	3,8940	2,7575
Modo 10	0,0949	6,1550	3,2194	2,3445	6,7705	3,5414	2,5789	7,3860	3,8633	2,8134	7,3860	3,8633	2,8134
Modo 11	0,0871	5,8230	3,1978	2,3849	6,4053	3,5176	2,6234	6,9876	3,8373	2,8619	6,9876	3,8373	2,8619
Modo 12	0,0809	5,5525	3,1794	2,4198	6,1077	3,4974	2,6618	6,6630	3,8153	2,9038	6,6630	3,8153	2,9038
Modo 13	0,0759	5,3262	3,1631	2,4517	5,8588	3,4795	2,6969	6,3915	3,7958	2,9421	6,3915	3,7958	2,9421
Modo 14	0,0719	5,1438	3,1499	2,4779	5,6582	3,4648	2,7257	6,1726	3,7798	2,9735	6,1726	3,7798	2,9735
Modo 15	0,0687	4,9948	3,1386	2,5005	5,4943	3,4525	2,7505	5,9937	3,7663	3,0006	5,9937	3,7663	3,0006
Modo 16	0,0661	4,8700	3,1288	2,5207	5,3570	3,4416	2,7728	5,8440	3,7545	3,0248	5,8440	3,7545	3,0248
Modo 17	0,0640	4,7693	3,1208	2,5370	5,2462	3,4329	2,7907	5,7231	3,7449	3,0444	5,7231	3,7449	3,0444
Modo 18	0,0624	4,6925	3,1147	2,5495	5,1618	3,4262	2,8044	5,6310	3,7377	3,0594	5,6310	3,7377	3,0594
Modo 19	0,0612	4,6350	3,1102	2,5588	5,0985	3,4212	2,8147	5,5619	3,7322	3,0705	5,5619	3,7322	3,0705
Modo 20	0,0604	4,5966	3,1071	2,5650	5,0562	3,4178	2,8215	5,5159	3,7286	3,0780	5,5159	3,7286	3,0780

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice W. Código de programación para el cálculo del periodo.

```
% Rutina para obtener periodos de los muros

% [T,w,phi,L,Meq,Mporcentaje]=periodos(K,M);
% T= periodos del sistema
% w= frecuencias del sistema
% phi= formas modales del sistema

function [T,w,phi]=periodos(K,M)
[phi,w2]=eig(K,M);
w2=diag(w2);
w=sqrt(w2);
[w,i]=sort(w);
phi=phi(:,i);
phi=real(phi);
T=2*pi./w;

end
```

Fuente: Facilitado por el profesor guía Miguel Peralta Salas en Software MATLAB.

Apéndice X. Código de programación para el cálculo del periodo de modelos de base fija.

```
%%% Calculo de periodo

clear          % Borra las variables de la memoria
clc           % Limpia la pantalla
close all;    % Cierra todas las figuras

% Lee rigideces del archivo
Mm10
Mk10
Mm15
Mk15
Mm20
Mk20

% Peridos, modos y frecuencias

% Modelo 10 pisos

[T10,w10,phi10]=periodos(K10,M10);
T10
[T15,w15,phi15]=periodos(K15,M15);
T15
[T20,w20,phi20]=periodos(K20,M20);
T20
[T20,w20,phi20]=periodos(K20,M20);
```

Fuente: Facilitado por el profesor guía Miguel Peralta Salas en Software MATLAB.

Apéndice Y. Código de programación para matrices de rigidez y periodos de modelos de base aislada.

```

%%% Para matriz de masa del sistema aislado
Ms=M10; % matriz de masa super estructura
btrib=7.5; % ancho tributario de los marcos (m)
l=22.5; % largo de la base del marco (m)
tlosa= 0.25; % espesor de la losa de concreto (m)
gc= 2400; % peso volumetrico del concreto (kgf/m3)
plosa= btrib*l*tlosa*gc; % peso de la losa de concreto (kgf)
mlosa= plosa/g; % masa de la losa de concreto (kg)
mb=mlosa; % masa de la base
%R=[1;1;1;1;1;1;1;1;1;1]; % Vector de incidencia del input
R=ones(np,1);
Mt=mb+ms; % Masa total del sistema

% Matrices M, C y K para el sistema aislado

Mais10=[Mt R'*Ms;Ms*R Ms];
Kais10=[kb zeros(1,np);zeros(np,1) Ks];

[T10Baisl,w10,phi10]=periodos(Kais10,Mais10);
T10Baisl

elseif Modelo==15
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Modelo de 15 pisos%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Mk15
Mm15

g=9.81; % gravedad (m/s2)

%%% Para matriz de rigidez del sistema aislado

Ks=K15; % matriz de rigidez lateral base fija
na=4; % número aisladores
np=15; % número de pisos
ms=sum(diag(M15)); % masa superestructura
ka=0.5*ms*(2*pi/3)^2; % rigidez de cada aislador
kb=ka*na; % rigidez de los tres aisladores del sistema

```



```

.
%%% Para matriz de masa del sistema aislado
Ms=M15; % matriz de masa super estructura
btrib=7.5; % ancho tributario de los marcos (m)
l=22.5; % largo de la base del marco (m)
tlosa= 0.25; % espesor de la losa de concreto (m)
gc= 2400; % peso volumetrico del concreto (kgf/m3)
plosa= btrib*l*tlosa*gc; % peso de la losa de concreto (kgf)
mlosa= plosa/g; % masa de la losa de concreto (kg)
mb=mlosa; % masa de la base
%R=[1;1;1;1;1;1;1;1;1;1]; % Vector de incidencia del input
R=ones(np,1);
Mt=mb+ms; % Masa total del sistema

% Matrices M, C y K para el sistema aislado

Maisl15=[Mt R'*Ms;Ms*R Ms];
Kaisl15=[kb zeros(1,np);zeros(np,1) Ks];

[T15Baisl,w10,phi10]=periodos(Kaisl15,Maisl15);
T15Baisl

elseif Modelo==20

Mk20
Mm20

g=9.81; % gravedad (m/s2)

%%% Para matriz de rigidez del sistema aislado

Ks=K20; % matriz de rigidez lateral base fija
na=4; % número aisladores
np=20; % número de pisos
ms=sum(diag(M20)); % masa superestructura
ka=0.5*ms*(2*pi/3)^2; % rigidez de cada aislador
kb=ka*na; % rigidez de los tres aisladores del sistema

```

```

%%% Para matriz de masa del sistema aislado
Ms=M20; % matriz de masa super estructura
btrib=7.5; % ancho tributario de los marcos (m)
l=22.5; % largo de la base del marco (m)
tlosa= 0.25; % espesor de la losa de concreto (m)
gc= 2400; % peso volumetrico del concreto (kgf/m3)
plosa= btrib*l*tlosa*gc; % peso de la losa de concreto (kgf)
mlosa= plosa/g; % masa de la losa de concreto (kg)
mb=mlosa; % masa de la base
%R=[1;1;1;1;1;1;1;1;1;1]; % Vector de incidencia del input
R=ones(np,1);
Mt=mb+ms; % Masa total del sistema

% Matrices M, C y K para el sistema aislado

Maisl20=[Mt R'*Ms;Ms*R Ms];
Kaisl20=[kb zeros(1,np);zeros(np,1) Ks];

[T20Baisl,w10,phi10]=periodos(Kaisl20,Maisl20);
T20Baisl

end
.
%%% Matrices de rigidez y masa para encontrar el periodo aislado
%%% de la estructura de 10 pisos

clear all
close all
clc

Modelo=input('Modelo a Graficar :');

if Modelo==10
Mk10
Mm10

g=9.81; % gravedad (m/s2)

%%% Para matriz de rigidez del sistema aislado

Ks=K10; % matriz de rigidez lateral base fija
na=4; % número aisladores
np=10; % número de pisos
ms=sum(diag(M10)); % masa superestructura
ka=0.5*ms*(2*pi/3)^2; % rigidez de cada aislador
kb=ka*na; % rigidez de los tres aisladores del sistema

```

Fuente: Facilitado por el profesor guía Miguel Peralta Salas en Software MATLAB

Apéndice Z. Porcentajes de disminución de la contribución dinámica al variar la ductilidad.

Modelo de 10 pisos base fija.

Apéndice Z.1. Paso de la ductilidad 1 a la 3.

$1-\mu_3/\mu_1$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	67%	55%	55%	54%	48%
S ₂	66%	55%	55%	54%	48%
S ₃	66%	55%	55%	54%	48%
S ₄	61%	55%	55%	54%	48%
Promedio	65%	55%	55%	54%	48%
Desviación estándar	3%	0%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice Z.2. Paso de la ductilidad 1 a la 6.

$1-\mu_6/\mu_1$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	81%	71%	70%	69%	62%
S ₂	81%	70%	70%	69%	62%
S ₃	81%	70%	70%	69%	62%
S ₄	77%	70%	70%	69%	62%
Promedio	80%	70%	70%	69%	62%
Desviación estándar	2%	1%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de 15 pisos base fija.

Apéndice Z.3. Paso de la ductilidad 1 a la 3.

$1-\mu_3/\mu_1$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	66%	66%	55%	55%	55%
S ₂	67%	55%	55%	55%	55%
S ₃	66%	55%	55%	55%	55%
S ₄	67%	55%	55%	55%	55%
Promedio	66%	58%	55%	55%	55%
Desviación estándar	0%	5%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice Z.4. Paso de la ductilidad 1 a la 6.

$1-\mu_6/\mu_1$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	81%	80%	70%	70%	70%
S ₂	80%	73%	70%	70%	70%
S ₃	81%	71%	70%	70%	70%
S ₄	81%	70%	70%	70%	70%
Promedio	81%	73%	70%	70%	70%
Desviación estándar	0%	5%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de 20 pisos base fija.

Apéndice Z.5. Paso de la ductilidad 1 a la 3.

$1-\mu_3/\mu_1$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	67%	67%	57%	55%	55%
S ₂	66%	65%	55%	55%	55%
S ₃	66%	61%	55%	55%	55%
S ₄	67%	55%	55%	55%	55%
Promedio	67%	62%	56%	55%	55%
Desviación estándar	0%	5%	1%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice Z.6. Paso de la ductilidad 1 a la 6.

$1-\mu_6/\mu_1$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	81%	81%	75%	70%	70%
S ₂	81%	80%	70%	70%	70%
S ₃	81%	78%	70%	70%	70%
S ₄	81%	70%	70%	70%	70%
Promedio	81%	77%	71%	70%	70%
Desviación estándar	0%	5%	3%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de 10 pisos base aislada.

Apéndice Z.7. Paso de la ductilidad 1 a la 3.

$1-\mu_{i/\mu 1}$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	67%	66%	55%	55%	52%
S ₂	67%	55%	55%	55%	51%
S ₃	66%	55%	55%	55%	52%
S ₄	66%	55%	55%	55%	52%
Promedio	67%	58%	55%	55%	52%
Desviación estándar	0%	6%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice Z.8. Paso de la ductilidad 1 a la 6.

$1-\mu_{i/\mu 1}$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	85%	80%	70%	70%	66%
S ₂	81%	73%	70%	70%	66%
S ₃	81%	71%	70%	70%	66%
S ₄	81%	70%	70%	70%	66%
Promedio	82%	74%	70%	70%	66%
Desviación estándar	2%	5%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de 15 pisos base aislada.

Apéndice Z.9. Paso de la ductilidad 1 a la 3.

$1-\mu_{i/\mu 1}$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	69%	67%	55%	55%	55%
S ₂	66%	66%	55%	55%	55%
S ₃	67%	64%	55%	55%	55%
S ₄	67%	55%	55%	55%	55%
Promedio	67%	63%	55%	55%	55%
Desviación estándar	1%	5%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice Z.10. Paso de la ductilidad 1 a la 6.

$1-\mu_{i/\mu 1}$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	86%	81%	74%	70%	70%
S ₂	81%	81%	70%	70%	70%
S ₃	80%	79%	70%	70%	70%
S ₄	81%	70%	70%	70%	70%
Promedio	82%	78%	71%	70%	70%
Desviación estándar	3%	5%	2%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de 20 pisos base aislada.

Apéndice Z.11. Paso de la ductilidad 1 a la 3.

$1-\mu_{i/\mu 1}$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	71%	67%	65%	55%	55%
S ₂	66%	67%	55%	55%	55%
S ₃	67%	66%	55%	55%	55%
S ₄	66%	56%	55%	55%	55%
Promedio	68%	64%	58%	55%	55%
Desviación estándar	2%	5%	5%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice Z.12. Paso de la ductilidad 1 a la 6.

$1-\mu_{i/\mu 1}$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
S ₁	87%	81%	80%	70%	70%
S ₂	82%	81%	72%	70%	70%
S ₃	81%	81%	70%	70%	70%
S ₄	81%	74%	70%	70%	70%
Promedio	82%	79%	73%	70%	70%
Desviación estándar	3%	3%	5%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Anexos

Anexo 1. Tabla para la escogencia y diseño del entrepiso de los modelos

Tabla de entrepisos de vigueta con sobrelosa de 7.5 cm y con resistencia de 210 kg/cm²

Tipo de vigueta	VIG 15-A		VIG 15-O		VIG 15-K		VIG 20-A		VIG 20-U	
Peso de las viguetas	49 kg/m ²		49 kg/m ²		49 kg/m ²		58 kg/m ²		58 kg/m ²	
Peso del concreto*	204 kg/m ²		186 kg/m ²		186 kg/m ²		195 kg/m ²		214 kg/m ²	
Peso de los bloques	137 kg/m ²		124 kg/m ²		85 kg/m ²		137 kg/m ²		161 kg/m ²	
Fuerza de pretensión	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²	7280 kg/m ²
Sobrecarga** CM _{min} +CV (kg/m ²)	CLARO (m) sin apuntalamiento	CLARO (m) con apuntalamiento	CLARO (m) sin apuntalamiento	CLARO (m) con apuntalamiento	CLARO (m) sin apuntalamiento	CLARO (m) con apuntalamiento	CLARO (m) sin apuntalamiento	CLARO (m) con apuntalamiento	CLARO (m) sin apuntalamiento	CLARO (m) con apuntalamiento
200	4.65	6.50	4.81	6.00	4.95	6.00	5.94	7.50	5.67	7.50
250	4.65	6.50	4.81	6.00	4.95	6.00	5.94	7.50	5.67	7.50
300	4.65	6.50	4.73	5.99	4.88	6.00	5.94	7.50	5.67	7.50
350	4.65	6.39	4.65	5.77	4.80	5.88	5.94	7.44	5.67	7.50
400	4.61	6.18	4.58	5.58	4.72	5.67	5.87	7.20	5.67	7.50
450	4.56	6.00	4.50	5.40	4.64	5.40	5.78	6.98	5.67	7.50
500	4.51	5.83	4.43	5.24	4.56	5.32	5.68	6.78	5.67	7.37
550	4.46	5.67	4.37	5.10	4.49	5.17	5.59	6.60	5.63	7.18
600	4.41	5.52	4.30	4.96	4.43	5.03	5.51	6.43	5.57	7.00
650	4.37	5.39	4.24	4.84	4.36	4.90	5.43	6.27	5.51	6.84
700	4.32	5.26	4.19	4.72	4.30	4.78	5.35	6.13	5.45	6.69
750	4.28	5.15	4.13	4.62	4.24	4.67	5.28	5.91	5.39	6.54
800	4.24	5.04	4.08	4.51	4.19	4.56	5.21	5.66	5.33	6.41
850	4.20	4.94	4.02	4.42	4.13	4.47	5.14	5.44	5.28	6.28
900	4.16	4.84	3.97	4.33	4.08	4.38	5.07	5.23	5.23	6.16
950	4.12	4.75	3.93	4.25	4.03	4.29	5.01	5.03	5.17	5.97
1000	4.08	4.66	3.88	4.17	3.98	4.21	4.85	4.85	5.12	5.77

* Contempla el peso de la sobrelosa y de los completamientos colados sobre las viguetas.

** Contempla la carga temporal y las cargas permanentes adicionales al peso propio del sistema de entrepiso (sin factorar)

Se consideró una condición temporal que contempla el peso de la sobrelosa sin fraguar más una carga constructiva de 80 kg/m²

Se consideran los criterios de: esfuerzos elásticos, capacidad última a flexión y capacidad última a cortante.

Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318-08, elementos prefabricados tipo U, ACI 18.3.3.

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para las cargas permanentes y temporales.

La fuerza de pretensión indicada es igual para todos los torones de la vigueta

El apuntalamiento contempla un puntal colocado en el centro de la vigueta

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

No se considera la contribución del acero en los apoyos (M=)

Los entrepisos con vigueta de 20 cm y bloques tipo "U" con luces libres mayores de 7.25 m pueden experimentar vibraciones perceptibles según el uso.

Los entrepisos con vigueta de 20 cm y bloques tipo "A" con luces libres mayores de 6.00 m pueden experimentar vibraciones perceptibles según el uso.

Los entrepisos con vigueta de 15 cm y bloques tipo "O" o "K" con luces libres mayores de 5.50 m pueden experimentar vibraciones perceptibles según el uso.

Resistencias del concreto de las viguetas:

Al desmoldar: f'c = 280 kg/cm²

A los 28 días: f'c = 700 kg/cm²

Torones de grado 270: fpu = 18900 kg/cm²

Claves:



Fuente: Fuente especificada no válida.

Anexo 2. Tabla de cubierta de pisos para determinación de cargas muertas.

Tabla 3A. Cubierta de pisos.

CONCEPTO	PESO (kg/m ²)
Ladrillo de cemento	83
Ladrillo de barro	58
Ladrillo de Cerámica	30
Fibrocemento de 20 mm	22

Fuente:Fuente especificada no válida.

Anexo 3. Tabla de paredes para determinación de cargas muertas.

Tabla 4A. Paredes.

CONCEPTO	PESO (kg/m ²)
Planchetas para paredes prefabricadas, área visible, sin viga corona	110
Bloque decorativo de concreto	117
Lámina Troquelada con estructura de perlines	6
Estructura metálica con Durock en una cara y yeso en interiores	23
Esqueleto madera 2" x 3" con Plywood ¼" ambas caras	10
Esqueleto madera 2" x 3" con Plycem 6 mm ambas caras	16
Bloque de cemento de 10 x 20 x 40	140
Bloque de cemento de 15 x 20 x 40	200
Bloque de cemento de 20 x 20 x 40	228
Mampostería Reforzada Bloque de cemento de 15 x 20 x 40	260
Mampostería Reforzada Bloque de cemento de 20 x 20 x 40	300
Paneles de doble electromalla de acero con núcleo de poroplast (2.5 de repello ambas caras)	150
Bloque sólido de barro de 5.6 cmx20.3 cmx10.5 cm	172
Bloque sólido de barro de 5.2 cmx25.3 cmx13.3 cm	210
Bloque sólido de barro de 5.8 cmx29.8 cmx15.2 cm	255
Piedra Cantera 15x40x60	255
Ventanas de Paletas de vidrio con Estructura de aluminio	20
Ventanas de Vidrio Fijo con Estructura de Aluminio	35

Fuente:Fuente especificada no válida.

Anexo 4. Tabla de cielos para determinación de cargas muertas.

Tabla B.3.4.1-1

Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – Cielo raso

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) m² de área en planta</i>	<i>Carga (kgf/m²) m² de área en planta</i>
<i>Cielo raso</i>		
Canales suspendidas de acero	0.10	10
Ductos mecánicos	0.20	20
Entramado metálico suspendido afinado en cemento.	0.70	70
Entramado metálico suspendido afinado en yeso.	0.50	50
Fibras acústicas	0.10	10
Pañete en yeso o concreto	0.25	25
Pañete en entramado de madera	0.80	80
Tableros de yeso	0.0080 (por mm de espesor)	8 (por cm de espesor)
Sistema de suspensión de madera.	0.15	15

Fuente:Fuente especificada no válida.

Anexo 5. Tabla de pisos para determinación de cargas muertas.

Tabla B.3.4.1-3

Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) m² de área en planta</i>	<i>Carga (kgf/m²) m² de área en planta</i>
<i>Pisos y acabados</i>		
Acabado de piso en concreto	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Afinado (25 mm) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	150
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	0.80	80
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero.	1.10	110
Baldosa sobre 25 mm de mortero	1.10	110
Bloque de asfalto (50 mm), sobre 12 mm de mortero	1.50	150
Bloque de madera (75 mm) sin relleno	0.50	50
Bloque de madera (75 mm) sobre 12 mm de mortero	0.80	80
Durmientes de madera, 20 mm	0.15	15
Madera densa, 25 mm	0.20	20
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	160
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm	0.05	5
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	30 (por cm de espesor)
Terrazzo (25 mm), concreto 50 mm	1.50	150
Terrazzo (40 mm) directamente sobre la losa	0.90	90
Terrazzo (25 mm) sobre afinado en concreto	1.50	150

Fuente:Fuente especificada no válida.

Anexo 6. Tabla de cargas temporales unitarias mínimas para determinación de carga viva.

TABLA 6.1. Cargas temporales unitarias mínimas.

Destino del piso	Carga temporal (kg/m ²)
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares.	250
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, etc.	500
Bibliotecas y salones de archivo.	500
Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	400
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera.	500
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con <i>peso</i> intermedio.	650
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada.	800
Techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40
Azoteas con pendiente superior al 5 por ciento.	100
Azoteas con pendiente inferior o igual al 5 por ciento.	200
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300

NOTA: Las cargas dadas en esta tabla son mínimas. El profesional responsable del diseño debe considerar las condiciones reales a las que será sometido el *piso* para efectos de incrementar las cargas.

Fuente: (Código Sísmico de Costa Rica 2010, 2011)

Anexo 7. Factores espectrales dinámicos para el Suelo S₁, Zona III

Periodo T(s)	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	1,000	1,000	1,000
0,020	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,040	1,197	1,022	0,946
0,050	1,382	1,040	0,905
0,060	1,555	1,055	0,873
0,070	1,718	1,068	0,846
0,080	1,873	1,079	0,824
0,090	2,022	1,089	0,805
0,100	2,164	1,099	0,788
0,110	2,302	1,107	0,773
0,120	2,435	1,114	0,760
0,125	2,500	1,118	0,754
0,150	2,500	1,118	0,754
0,200	2,500	1,118	0,754
0,250	2,500	1,118	0,754
0,257	2,500	1,118	0,754
0,281	2,500	1,118	0,690
0,300	2,500	1,118	0,646
0,300	2,500	1,118	0,647
0,330	2,500	1,014	0,587
0,356	2,500	0,941	0,545
0,400	2,500	0,838	0,485
0,450	2,222	0,744	0,431
0,500	2,000	0,670	0,388
0,600	1,667	0,558	0,323
0,800	1,250	0,419	0,242
1,000	1,000	0,335	0,194
1,100	0,909	0,305	0,176
1,200	0,833	0,279	0,162
1,300	0,769	0,258	0,149
1,400	0,714	0,239	0,138
1,500	0,667	0,223	0,129
1,788	0,559	0,187	0,108
2,000	0,500	0,168	0,087
2,074	0,482	0,162	0,081
2,277	0,439	0,147	0,067
2,500	0,400	0,122	0,055
2,523	0,396	0,120	0,054
2,604	0,384	0,112	0,051
2,620	0,379	0,111	0,050
3,000	0,289	0,085	0,039
4,000	0,163	0,048	0,022
5,000	0,104	0,031	0,014
6,000	0,072	0,021	0,010
7,000	0,053	0,016	0,007
8,000	0,041	0,012	0,005
9,000	0,032	0,009	0,004
10,000	0,026	0,008	0,003

Fuente: Código Sismo de Costa Rica 2010

Anexo 8. Factores espectrales dinámicos para el Suelo S₂, Zona III

Periodo T(s)	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	1,000	1,000	1,000
0,020	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,040	1,197	1,022	0,946
0,050	1,382	1,040	0,905
0,060	1,555	1,055	0,873
0,070	1,718	1,068	0,846
0,080	1,873	1,079	0,824
0,090	2,022	1,089	0,805
0,100	2,164	1,099	0,788
0,110	2,302	1,107	0,773
0,120	2,435	1,114	0,760
0,125	2,500	1,118	0,754
0,150	2,500	1,118	0,754
0,200	2,500	1,118	0,754
0,250	2,500	1,118	0,754
0,300	2,500	1,118	0,754
0,351	2,500	1,118	0,754
0,383	2,500	1,118	0,690
0,409	2,500	1,118	0,647
0,450	2,500	1,014	0,587
0,450	2,500	1,015	0,587
0,485	2,500	0,941	0,545
0,500	2,500	0,914	0,529
0,545	2,500	0,838	0,485
0,600	2,273	0,761	0,441
0,800	1,705	0,571	0,330
1,000	1,364	0,457	0,264
1,100	1,240	0,415	0,240
1,200	1,136	0,381	0,220
1,300	1,049	0,351	0,203
1,400	0,974	0,326	0,189
1,500	0,909	0,305	0,176
2,000	0,682	0,228	0,132
2,438	0,559	0,187	0,108
2,500	0,545	0,183	0,103
2,828	0,482	0,162	0,081
3,000	0,455	0,152	0,072
3,105	0,439	0,147	0,067
3,441	0,396	0,120	0,054
3,552	0,384	0,112	0,051
3,573	0,379	0,111	0,050
4,000	0,303	0,089	0,040
5,000	0,194	0,057	0,026
6,000	0,135	0,039	0,018
7,000	0,099	0,029	0,013
8,000	0,076	0,022	0,010
9,000	0,060	0,018	0,008
10,000	0,048	0,014	0,006

Fuente: Código Sismo de Costa Rica 2010

Anexo 9. Factores espectrales dinámicos para el Suelo S₃, Zona III

Periodo T(s)	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	1,000	1,000	1,000
0,020	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,040	1,197	1,022	0,946
0,050	1,382	1,040	0,905
0,060	1,555	1,055	0,873
0,070	1,718	1,068	0,846
0,080	1,873	1,079	0,824
0,090	2,022	1,089	0,805
0,100	2,164	1,099	0,788
0,110	2,302	1,107	0,773
0,120	2,435	1,114	0,760
0,125	2,500	1,118	0,754
0,150	2,500	1,118	0,754
0,200	2,500	1,118	0,754
0,250	2,500	1,118	0,754
0,300	2,500	1,118	0,754
0,386	2,500	1,118	0,754
0,421	2,500	1,118	0,690
0,449	2,500	1,118	0,647
0,450	2,500	1,117	0,646
0,495	2,500	1,014	0,587
0,500	2,500	1,005	0,582
0,534	2,500	0,941	0,545
0,600	2,500	0,838	0,485
0,600	2,500	0,838	0,485
0,800	1,875	0,628	0,363
1,000	1,500	0,503	0,291
1,100	1,364	0,457	0,264
1,200	1,250	0,419	0,242
1,300	1,154	0,387	0,224
1,400	1,071	0,359	0,208
1,500	1,000	0,335	0,194
2,000	0,750	0,251	0,145
2,500	0,600	0,201	0,116
2,682	0,559	0,187	0,108
3,000	0,500	0,168	0,087
3,111	0,482	0,162	0,081
3,415	0,439	0,147	0,067
3,785	0,396	0,120	0,054
3,907	0,384	0,112	0,051
3,930	0,379	0,111	0,050
4,000	0,366	0,107	0,049
5,000	0,234	0,069	0,031
6,000	0,163	0,048	0,022
7,000	0,120	0,035	0,016
8,000	0,092	0,027	0,012
9,000	0,072	0,021	0,010
10,000	0,059	0,017	0,008

Fuente: Código Sismo de Costa Rica 2010

Anexo 10. Factores espectrales dinámicos para el Suelo S₄, Zona III

Periodo T(s)	Elástico u=1	Inelástico u=3	Inelástico u=6
0,010	1,000	1,000	1,000
0,020	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,030	1,000	1,000	1,000
0,040	1,197	1,022	0,946
0,050	1,382	1,040	0,905
0,060	1,555	1,055	0,873
0,070	1,718	1,068	0,846
0,080	1,873	1,079	0,824
0,090	2,022	1,089	0,805
0,100	2,164	1,099	0,788
0,110	2,302	1,107	0,773
0,120	2,435	1,114	0,760
0,125	2,500	1,118	0,754
0,150	2,500	1,118	0,754
0,200	2,500	1,118	0,754
0,250	2,500	1,118	0,754
0,300	2,500	1,118	0,754
0,450	2,500	1,118	0,754
0,500	2,500	1,118	0,754
0,600	2,500	1,118	0,754
0,600	2,500	1,118	0,754
0,655	2,500	1,118	0,690
0,699	2,500	1,118	0,647
0,771	2,500	1,014	0,587
0,800	2,500	0,977	0,565
0,831	2,500	0,941	0,545
0,933	2,500	0,838	0,485
1,000	2,333	0,782	0,452
1,100	2,121	0,711	0,411
1,200	1,944	0,651	0,377
1,300	1,795	0,601	0,348
1,400	1,667	0,558	0,323
1,500	1,556	0,521	0,302
2,000	1,167	0,391	0,226
2,500	0,933	0,313	0,181
3,000	0,778	0,261	0,151
4,000	0,583	0,195	0,113
4,171	0,559	0,187	0,108
4,839	0,482	0,162	0,081
5,000	0,467	0,156	0,075
5,312	0,439	0,147	0,067
5,887	0,396	0,120	0,054
6,000	0,389	0,115	0,052
6,077	0,384	0,112	0,051
6,113	0,379	0,111	0,050
7,000	0,289	0,085	0,039
8,000	0,222	0,065	0,029
9,000	0,175	0,051	0,023
10,000	0,142	0,042	0,019

Fuente: Código Sismo de Costa Rica 2010

Anexo 11. Factor espectral dinámico, FED , para sitios de cimentación tipo S1 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

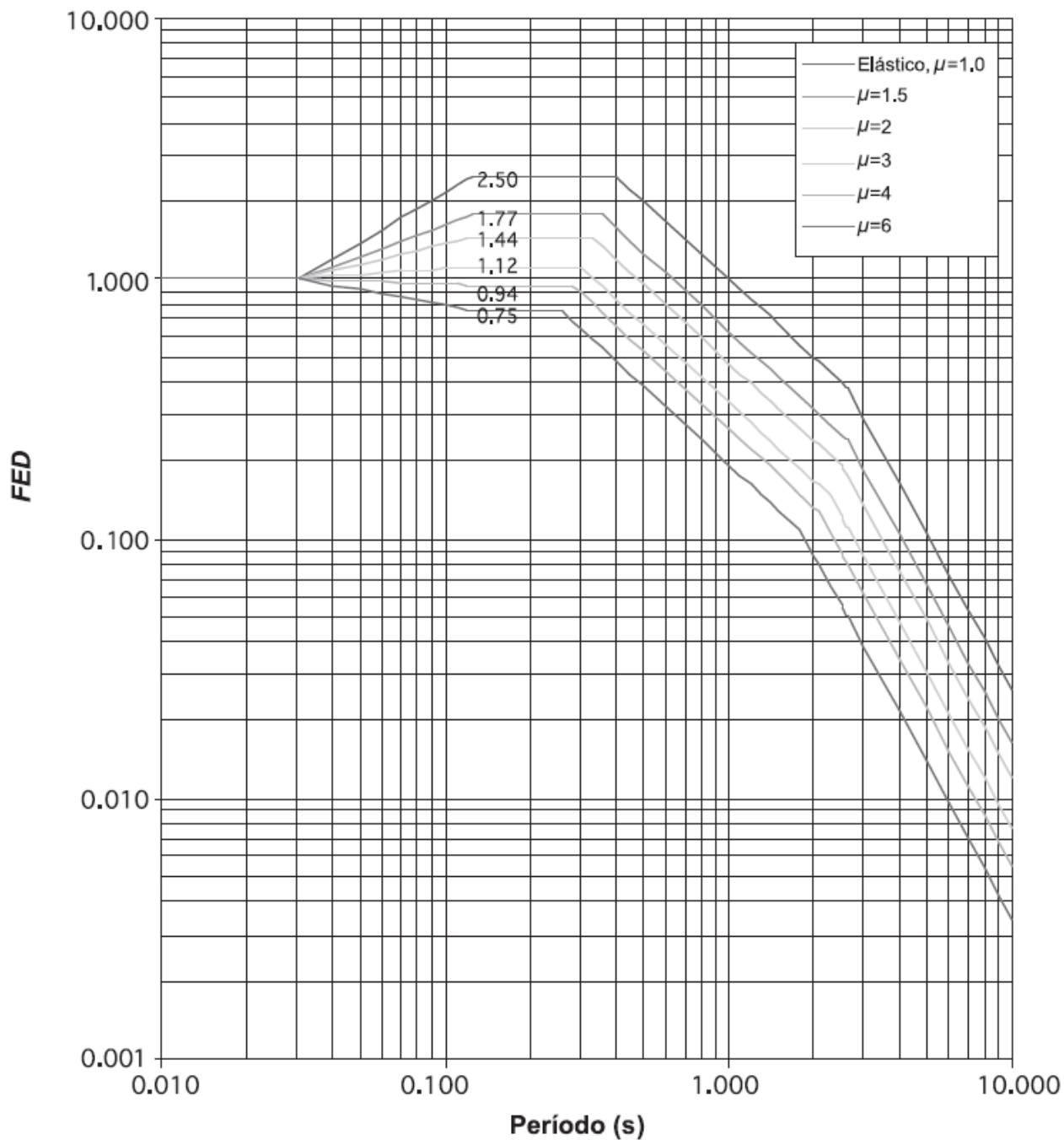


FIGURA 5.5. Factor espectral dinámico, FED , para sitios de cimentación tipo S₁ en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

Fuente: (Código Sísmico de Costa Rica 2010)

Anexo 12. Factor espectral dinámico, FED, para sitios de cimentación tipo S2 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

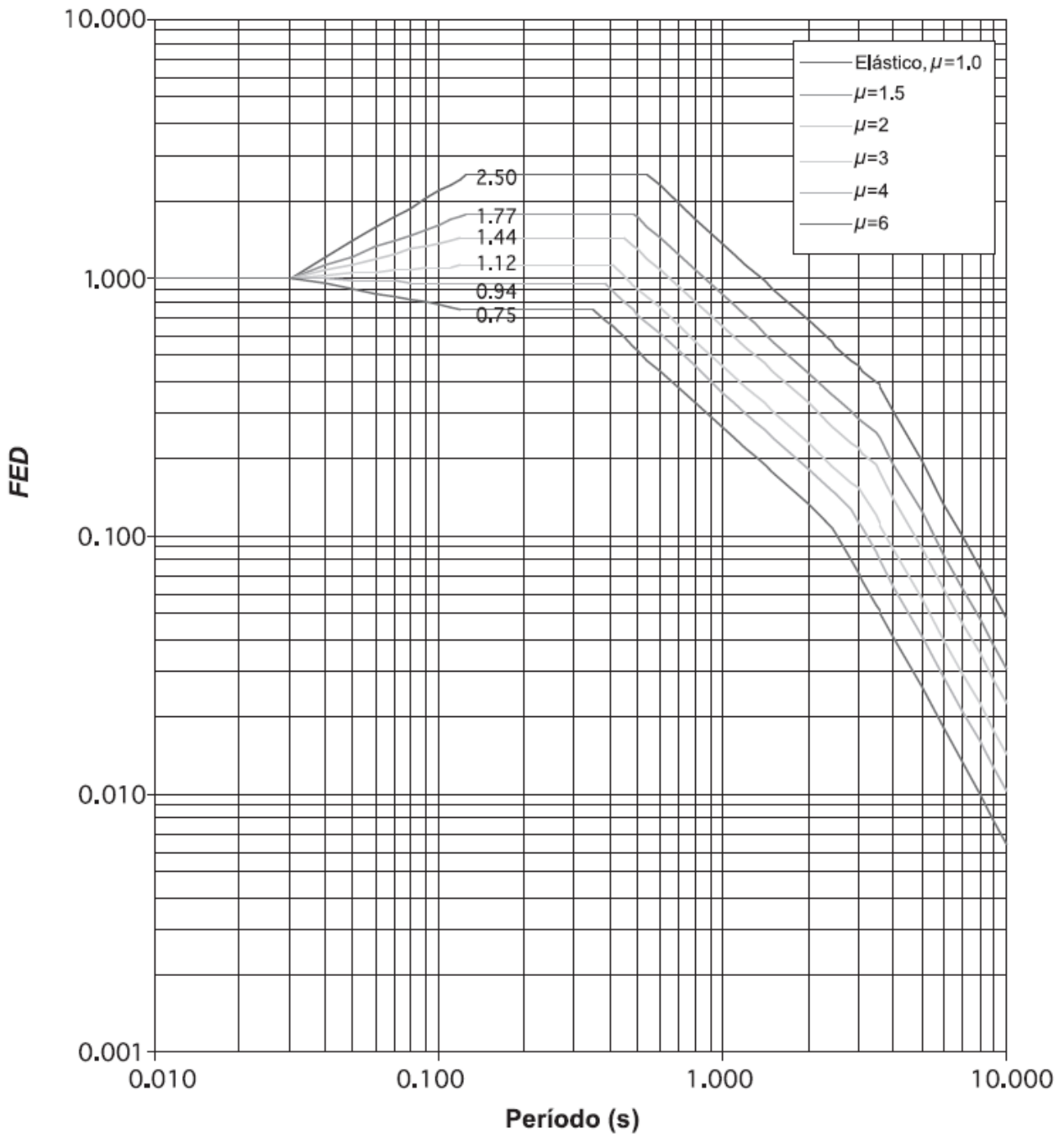


FIGURA 5.6. Factor espectral dinámico, FED , para sitios de cimentación tipo S_2 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

Fuente: (Código Sísmico de Costa Rica 2010)

Anexo 13. Factor espectral dinámico, FED, para sitios de cimentación tipo S3 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

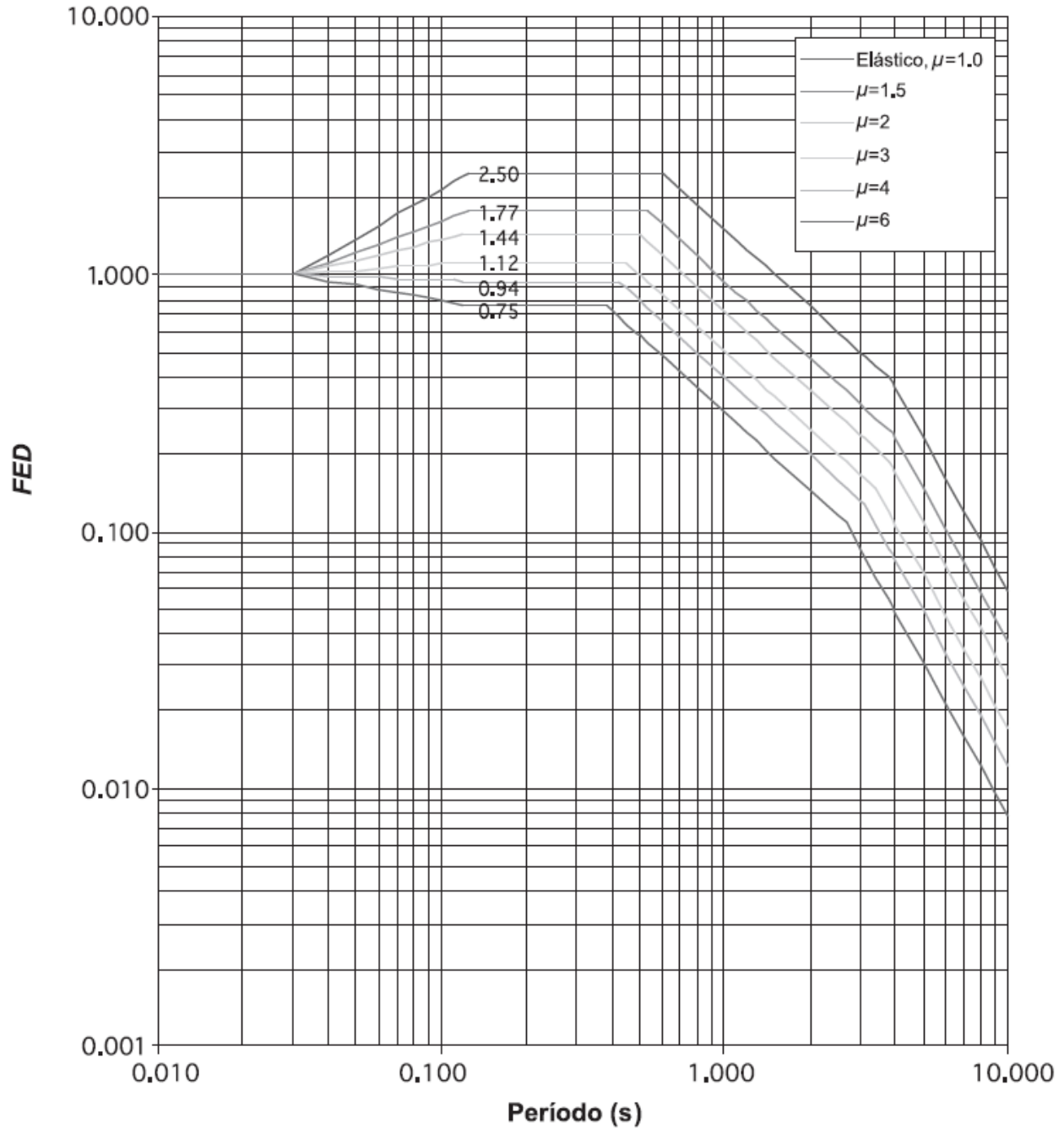


FIGURA 5.7. Factor espectral dinámico, FED , para sitios de cimentación tipo S_3 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

Fuente: (Código Sísmico de Costa Rica 2010)

Anexo 14. Factor espectral dinámico, FED, para sitios de cimentación tipo S4 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

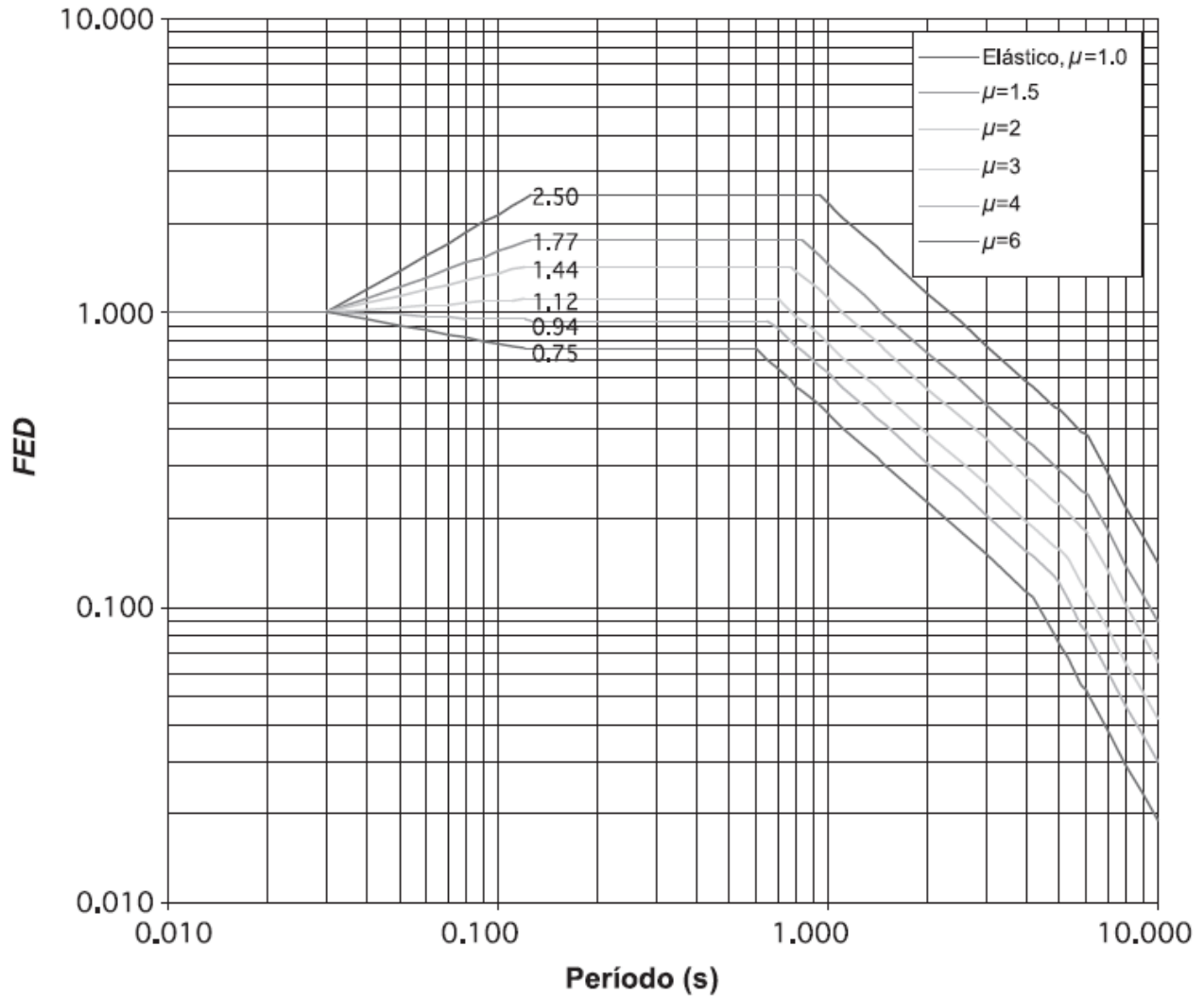


FIGURA 5.8. Factor espectral dinámico, FED , para sitios de cimentación tipo S_4 en zona sísmica III (amortiguamiento $\zeta = 5\%$; ductilidades $\mu = 1, 1.5, 2, 3, 4, 6$).

Fuente: (Código Sísmico de Costa Rica 2010)

Referencias

- Agudelo Zapata, J. A., & Boixader Cambroner, D. (s.f.). *Estructurando.net*. Recuperado el Junio de 2015, de estructurando: <http://estructurando.net/2014/10/14/aisladores-y-disipadores-sismicos/>
- Cámara Chilena de la Construcción-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD. (Noviembre de 2011). Protección Sísmica de Estructuras "Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía". *Documentos técnicos-Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD*. Recuperado el 3 de Julio de 2015, de Corporación de Desarrollo Tecnológico, CTD: <http://informatica.cdt.cl/documentos/publicaciones/index.php?opcion=publicaciones>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010* (Cuarta ed.). Cartago, Cartago, Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2013). *Comentarios al Código Sísmico de Costa Rica 2010* (Segunda ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- García Reyes, L. E. (1998). *DINÁMICA ESTRUCTURAL APLICADA AL DISEÑO SÍSMICO*. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDADDE LOS ANDES.
- K. Chopra, A. (2014). *Dinámica de Estructuras* (Cuarta ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN de México, S.A., Laboratorio de Ingeniería Sísmica UCR. (Junio de 2015). *Laboratorio de Ingeniería Sísmica UCR*. Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=527>
- Paz, M. (1992). *DINÁMICA ESTRUCTURAL TEORÍA Y CÁLCULO* (Tercera ed.). Barcelona, España: REVERTÉ S.A.
- Peralta Salas, M. (2015). *CONTRIBUCIÓN MODAL A LA RESPUESTA SÍSMICA ELÁSTICA DE EDIFICIOS DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO*. Pontificia Univeridad Católica de Chile, Ingeniería. Pontificia Univeridad Católica de Chile.