

Influencia de los elementos no estructurales en el período natural de vibración en edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado ubicadas en la ciudad de Bucaramanga, Santander

Trabajo de grado para optar el título de ingeniera civil

Estudiantes

Daniela Natalia Eugenio Quintero y Eddy Susana Rozo García

Director

Isis Karina Torres Ayala

MSc. en ingeniería civil

Universidad Santo Tomás. Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Civil

2024

Dedicatoria

A nuestras familias, por su apoyo incondicional y comprensión durante las largas horas de esfuerzo y estudio.

A nosotras mismas, por nuestra perseverancia y dedicación.

A todos aquellos apasionados por el fascinante mundo del descubrimiento e investigación en la carrera de Ingeniería Civil y disciplinas afines.

Dedicamos este trabajo a todos ustedes, con profunda gratitud.

Agradecimientos

Agradecemos al Padre Celestial por habernos guiado durante todo el proceso.

A nuestras familias, por su apoyo y confianza en cada paso del proyecto.

A la MSc. Ing. Isis Karina Torres Ayala, por su guía experta y apoyo continuo a lo largo de esta investigación. Sus consejos, conocimientos y paciencia fueron indispensables para el éxito de este proyecto.

A nosotras mismas, por nuestra dedicación y esfuerzo.

Contenido

Introducción	11
1. Influencia de los elementos no estructurales en el período natural de vibración en edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado ubicadas en la ciudad de B/manga, Santander	13
2. Formulación del problema	13
3. Objetivos	15
3.1 Objetivo general	15
3.2 Objetivos específicos	15
4. Justificación.....	16
5. Marco referencial	17
5.1 Marco de antecedentes	17
5.2 Marco teórico	20
5.2.1 Edificaciones sismorresistentes.....	21
5.2.2 Período fundamental.....	22
5.2.3 Período de vibración ambiental.....	23
5.2.4 Mampostería no estructural	24
5.2.5 Elementos no estructurales (NSC)	24
5.2.6 Propiedades mecánicas.....	25
5.2.7 Rigidez estructural.....	27
5.2.8 ETABS.....	27
5.3 Marco conceptual	27
5.4 Marco legal.....	28
5.4.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes (NSR-10).....	28
6. Metodología	28

7. Desarrollo metodológico.....	31
7.1. Selección de la muestra.....	31
7.1.1 Criterios de selección	31
7.1.2 Ubicación.....	31
7.2 Identificación de Elementos No Estructurales	31
7.2.1 Revisión de planos:	32
7.3 Modelado en ETABS	32
7.3.1 Configuración del modelo	32
7.3.2 Definición de propiedades de materiales.....	32
7.4 Análisis comparativo.....	33
7.4.1 Métodos de análisis	33
7.4.2 Cálculo de variación porcentual	33
8. Desarrollo.....	33
8.1 Revisión de documentos	33
8.1.1 Estudio de planos.....	33
8.1.2 Identificación de elementos no estructurales (NSC)	34
8.2 Modelado en ETABS	34
8.2.1 Construcción del modelo.....	34
8.2.2 Definición de dimensiones	36
8.3 Ubicación y verificación	36
8.3.1 Ubicación de elementos no estructurales (NSC).....	36
8.3.2 Verificación de modelos	36
8.4 Obtención de Resultados.....	36

8.4.1 Cálculo de períodos naturales.....	36
8.4.2 Elaboración de gráficas y tablas.....	36
8.5 Análisis estadístico.....	37
8.5.1 Cálculo de variación porcentual.....	37
9. Resultados	37
10. Análisis de resultados	38
10.1 Resultados de períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC	38
10.2 Resultados de períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI)	39
10.3 Resultados de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI)	41
10.4 Resultados de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10)	43
10.5 Resultados de los períodos experimentales (EFDD y SSI) - analíticos (Con NSC y Sin NSC) - teóricos (NSR-10).....	45
11. Impacto	46
12. Recomendaciones	47
13. Conclusiones	48
Referencias.....	50

Lista de figuras

Figura 1. <i>Edificaciones sismorresistentes.</i>	21
Figura 2. <i>Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a.</i>	23
Figura 3. <i>Especificaciones mecánicas del concreto.</i>	34
Figura 4. <i>Especificaciones mecánicas de la mampostería.</i>	35
Figura 5. <i>Especificaciones de la losa aligerada.</i>	35
Figura 6. <i>Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	39
Figura 7. <i>Comparación de períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	41
Figura 8. <i>Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	43
Figura 9. <i>Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	44
Figura 10. <i>Períodos experimentales (EFDD y SSI) - analíticos (Con NSC y Sin NSC) - teóricos (NSR-10).</i>	46

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Características de las edificaciones sismorresistentes.</i>	29
Tabla 2. <i>Períodos de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado sin elementos no estructurales (NSC).</i>	30
Tabla 3. <i>Períodos experimentales aproximados de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado por los métodos (EFDD y SSI).</i>	30
Tabla 4. <i>Períodos de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado con elementos no estructurales (NSC) mediante ETABS.</i>	37
Tabla 5. <i>Períodos fundamentales teóricos aproximados (NSR-10) de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	38
Tabla 6. <i>Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC.</i>	38
Tabla 7. <i>Comparación de períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	40
Tabla 8. <i>Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	42
Tabla 9. <i>Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.</i>	44
Tabla 10. <i>Períodos experimentales (EFDD y SSI) - analíticos (Con NSC y Sin NSC) - teóricos (NSR-10).</i>	45

Resumen

Este estudio explora la influencia de los elementos no estructurales (NSC) en el período natural de vibración de edificaciones sismorresistentes con sistemas estructurales combinados, utilizando como caso de estudio edificaciones ubicadas en Bucaramanga, Colombia. A través de un análisis comparativo, se busca identificar cómo la inclusión de los NSC impacta el comportamiento dinámico de estas estructuras, basándose en modelos desarrollados con el software ETABS y en estudios previos realizados por [1]. La investigación sigue un enfoque cuantitativo, modelando siete edificaciones representativas del estudio previo, en donde se consideró la inclusión de los NSC. Los resultados obtenidos fueron comparados con aquellos presentados en [1], para evaluar la consistencia y variabilidad en las conclusiones. Los resultados indican que, en línea con las observaciones de [1], la inclusión de los NSC tiene un efecto notable en la reducción del período natural de vibración de las edificaciones. En promedio, se observó una reducción significativa del 43.81% en los modelos que incluían NSC, lo cual resalta la importancia de considerar estos elementos en la evaluación del comportamiento sísmico de las estructuras. No obstante, es importante interpretar estos hallazgos en el contexto de las simulaciones realizadas, lo que proporciona una base para futuras investigaciones que profundicen en la interacción entre los NSC y el diseño sismorresistente.

Palabras claves: edificaciones sismorresistentes, elementos no estructurales, muros de mampostería, período natural de vibración.

Abstract

This study explores the influence of non-structural elements (NSC) on the natural vibration period of earthquake-resistant buildings with combined structural systems, using buildings located in Bucaramanga, Colombia as a case study. Through a comparative analysis, we seek to identify how the inclusion of NSCs impacts the dynamic behavior of these structures, based on models developed with the ETABS software and on previous studies carried out by [1]. The research follows a quantitative approach, modeling seven representative buildings from the previous study, where the inclusion of NSCs was considered. The results obtained were compared with those presented in [1], to evaluate the consistency and variability in the conclusions. The results indicate that, in line with the observations of [1], the inclusion of NSCs has a notable effect on reducing the natural vibration period of buildings. On average, a significant reduction of 43.81% was observed in the models that included NSC, which highlights the importance of considering these elements in the evaluation of the seismic behavior of structures. However, it is important to interpret these findings in the context of the simulations carried out, which provides a basis for future research that delves into the interaction between NSCs and earthquake-resistant design.

Keywords: seismic-resistant buildings, non-structural elements, masonry walls, natural period of vibration.

Introducción

En las últimas décadas, la urbanización acelerada y el desarrollo de infraestructuras en zonas sísmicamente activas han planteado importantes desafíos en el ámbito de la ingeniería civil. Bucaramanga, situada en una región con alta actividad sísmica, representa un contexto crítico para el diseño de edificaciones funcionales y seguras ante eventos sísmicos. La resistencia sísmica de las edificaciones se ha convertido en una prioridad, impulsando la investigación hacia métodos de análisis más precisos y efectivos.

A pesar de su relevancia, la consideración de los elementos no estructurales (NSC), tales como muros de mampostería, losas y escaleras, a menudo se pasa por alto en los análisis convencionales de edificaciones sismorresistentes. Esto se debe a que históricamente se ha considerado que su diseño y comportamiento no son esenciales para la estabilidad global de la estructura. En particular, el enfoque del análisis dinámico espectral se centra principalmente en los elementos estructurales esenciales para la resistencia y estabilidad, lo que a menudo lleva a subestimar la importancia de los NSC en la dinámica sísmica. No obstante, en la práctica actual, los modelos de software integran estos elementos en el análisis modal dinámico, proporcionando una representación más completa del comportamiento estructural. Sin embargo, los NSC continúan siendo considerados de forma más somera en algunos estándares, sin un enfoque integral que resalte plenamente su influencia en contextos sísmicos.

Este trabajo tiene como objetivo analizar el impacto de los elementos no estructurales en el período natural de vibración de un sistema de resistencia sísmica combinada en Bucaramanga. La ausencia de un enfoque integral que considere estos elementos limita una comprensión completa del comportamiento estructural. Se propone que, al incluir los elementos no estructurales en los cálculos, se puede obtener una estimación más precisa del comportamiento real de la

estructura en zonas de alta amenaza sísmica, ya que estos elementos contribuyen a la rigidez global del sistema.

1. Influencia de los elementos no estructurales en el período natural de vibración en edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado ubicadas en la ciudad de Bucaramanga, Santander

Este estudio se sitúa en un contexto donde la creciente urbanización y la vulnerabilidad sísmica de Bucaramanga exigen un enfoque más riguroso en el diseño de edificaciones. La integración de elementos no estructurales (NSC) en el análisis dinámico es crucial, ya que su influencia en el comportamiento sísmico a menudo se subestima. Al abordar esta problemática, la investigación busca contribuir a una mejor comprensión del impacto de los NSC en el análisis de las edificaciones, proporcionando información valiosa para ingenieros y diseñadores en la creación de edificaciones en zonas de alta amenaza sísmica en Colombia.

2. Formulación del problema

En el ámbito de la ingeniería civil, específicamente en el diseño y análisis de estructuras sísmicas, se presenta una preocupación fundamental sobre la discrepancia entre los períodos naturales de vibración obtenidos experimentalmente y aquellos calculados analíticamente mediante software de modelamiento estructural. Esta divergencia plantea un dilema significativo en términos de seguridad y eficiencia económica de las estructuras ante eventos sísmicos.

El diseño sísmico tradicionalmente se ha centrado en el sistema estructural primario para resistir las cargas gravitatorias y laterales, a menudo descuidando el impacto de los elementos no estructurales, como muros divisorios, losas y escaleras, en el comportamiento dinámico de la edificación. Aunque la inclusión de estos elementos puede parecer beneficiosa, su efectividad puede verse comprometida durante un evento sísmico, ya que son los primeros en dañarse,

alterando así la rigidez de la estructura. Por lo tanto, la seguridad no debe ser sacrificada en favor de la sostenibilidad o la economía.

Investigaciones recientes han demostrado la importancia de considerar estos elementos no estructurales en los cálculos de diseño, ya que afectan las características dinámicas de las estructuras, como la rigidez y la respuesta dinámica. Estudios como [2] han subrayado cómo su inclusión puede mejorar la precisión en la estimación de los períodos naturales de vibración, contribuyendo a una respuesta sísmica más acertada. Los autores [3] abordan el tema de la reducción económica, sugiriendo que la consideración de elementos no estructurales puede enriquecer la comprensión de su respuesta sísmica. Sin embargo, es fundamental reconocer que, aunque esta perspectiva es válida en un análisis comparativo, las normativas existentes priorizan la seguridad y la estabilidad estructural en el diseño sísmico.

Es importante tener en cuenta que, aunque los elementos no estructurales pueden aportar rigidez adicional, su incorporación puede presentar riesgos. La norma sugiere que, si se desea incluir estos elementos, se debe proceder con cautela, ya que su comportamiento durante un sismo puede ser impredecible. Por lo tanto, este estudio se propone investigar la variación de los períodos naturales de vibración, comparando datos experimentales con modelos que incluyen y excluyen elementos no estructurales.

Previamente, [1] desarrolló una ecuación para calcular los períodos de vibración utilizando experimentos realizados con un acelerómetro triaxial en edificaciones sismorresistentes en Bucaramanga. Esta investigación reveló discrepancias entre los datos experimentales y los resultados teóricos de modelado estructural, subrayando la necesidad de considerar los elementos no estructurales para obtener estimaciones más precisas de los períodos de vibración.

Aunque la inclusión de elementos no estructurales en el modelado presenta ciertos desafíos, su impacto en la precisión de las estimaciones y la respuesta sísmica de las edificaciones justifica el análisis. No obstante, es vital que este estudio se enmarque en un contexto de incertidumbre y limitaciones inherentes a la ingeniería civil, enfatizando que las normas de diseño priorizan la seguridad sobre cualquier otra consideración.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Analizar la influencia de los elementos no estructurales en el período natural de vibración de edificaciones sismorresistentes con sistema estructural combinado, mediante el método de modelamiento finito, para determinar su impacto en el diseño sísmico y la seguridad estructural.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la contribución de los elementos no estructurales, como muros de mampostería, losas y escaleras, en el período natural de vibración de edificaciones sismorresistentes en Bucaramanga.
- Evaluar la variación en el período natural de vibración de las edificaciones sismorresistentes con sistema estructural combinado en la ciudad de Bucaramanga en relación con la presencia y características de los elementos no estructurales.

- Comparar el período natural de vibración calculado en edificaciones sismorresistentes en Bucaramanga, considerando la inclusión de elementos no estructurales, con resultados experimentales previamente obtenidos por [1].

4. Justificación

Este estudio se enfoca en comparar el período natural de vibración de edificaciones sismorresistentes en Bucaramanga, considerando la influencia de elementos no estructurales como muros, losas y escaleras. A través de la comparación de datos experimentales obtenidos de edificaciones con y sin elementos no estructurales, se busca entender las variaciones en los períodos de vibración.

La motivación detrás de esta investigación radica en la necesidad de profundizar en el comportamiento sísmico de las estructuras, un aspecto crucial dado que el diseño sísmico se enfrenta a un fenómeno lleno de incertidumbres. Las normas, como [4], establecen directrices que priorizan la seguridad, definiendo la aceleración del suelo en función del período de vibración y considerando diferentes zonas de diseño, por tanto, no consideran el efecto que causan los elementos no estructurales en una edificación que se enfrenta a un evento sísmico, dado que estos elementos no se construyen para que soporten las fuerzas que puedan producirse ante un movimiento telúrico.

Esta investigación no solo aporta información sobre la influencia de los elementos no estructurales en el comportamiento sísmico, sino que también proporciona una base para futuras investigaciones en este campo. Investigaciones previas [1] han evidenciado una variación significativa entre los períodos naturales de vibración de edificaciones sismorresistentes obtenidos mediante acelerómetros y aquellos calculados analíticamente sin considerar dichos elementos.

Además, otros estudios [2],[3] han demostrado que la inclusión de elementos no estructurales en los análisis estructurales puede mejorar el rendimiento de las estructuras al aumentar su resistencia y rigidez inicial. Al presentar este trabajo, es fundamental enfatizar que este esfuerzo es un paso en la exploración de un tema complejo y que las conclusiones deben ser vistas como un aporte a la discusión sobre el diseño sísmico, reconociendo las limitaciones y la variabilidad inherente a los fenómenos sísmicos.

5. Marco referencial

5.1 Marco de antecedentes

En [3], los autores determinan en su investigación de “Influence of non-structural components on lateral stiffness of tall buildings”, la estimación de la rigidez lateral aportada por el NSC a la rigidez total de tres formas comunes de estructuras de edificios altos construidas en Hong Kong. Para ello se han realizado ensayos dinámicos como modelización numérica de los edificios. Se encontró que las estimaciones del período natural a partir de pruebas dinámicas y de análisis utilizando modelos calibrados de elementos finitos concordaban notablemente. En el estudio se han observado contribuciones significativas de la rigidez del NSC a la rigidez lateral total de los edificios altos. El alcance de las contribuciones depende de la forma estructural y del tipo de componentes. También se han analizado otras contribuciones a la rigidez adicional para compararlas en el estudio.

Casi diez años más adelante [5] establece en su estudio de “Evaluación del coeficiente de disipación energía, R , para edificios con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto, con diferente número de pisos”, una comparación del factor con los valores establecidos

en las tablas A.3 del Norma Sismorresistente del 2010 (NSR-10). Se diseñaron 15 edificios con sistemas combinados de muros y pórticos en concreto, variando en el número de pisos (4, 8, 12, 16 y 20), los cuales se analizaron por amenazas sísmicas baja, intermedia y alta, por medio de los Títulos A, B y C de la NSR-10. Los resultados obtenidos son de gran importancia para evaluar la idoneidad de los parámetros de diseño sísmico utilizados en estructuras sismorresistentes.

También, [6] definen en su análisis “Structural and non-structural intensity measures for the assessment of base-isolated structures subjected to pulse-like near-fault earthquakes”, mejorar los procedimientos de selección de medidas de intensidad (IM) para escalar terremotos cercanos a fallas con el fin de minimizar la variabilidad en la predicción de los parámetros de demanda de ingeniería (EDP). Se investiga la capacidad predictiva de nueve IM espectrales con respecto a tres EDP evaluados para estructuras aisladas de base sometidas a terremotos cercanos a fallas. Se realizó un análisis dinámico no lineal en un edificio de seis pisos de hormigón armado originalmente diseñado como base fija y luego se reforzó con rodamientos de péndulo de fricción (FPBs) para cumplir con los niveles de rendimiento impuestos por el código sísmico italiano actual en una zona sísmica de alto riesgo. Se consideran dos conjuntos de acelerogramas, uno con pulsos horizontales significativos y otro con una componente vertical significativa.

Un año después, [7] determina en su estudio de “Efecto de los muros no estructurales en la respuesta dinámica de una estructura aporricada: Caso de estructura de concreto reforzado diseñada antes del código de diseño de 1984”, que actualmente en la región colombiana no se han desarrollado investigaciones que prioricen la importancia de los elementos no estructurales en sistemas tipo pórtico. Es por eso que el autor busca establecer la exactitud del comportamiento de los elementos no estructurales, específicamente muros de mampostería, ajustándolos a modelos analíticos con una adecuada precisión, esto con el objetivo de definir el comportamiento de las

estructuras frente a eventos sísmicos. Por otro lado, analizar el efecto de los elementos estructurales (Muros de mampostería) en las edificaciones basadas en pórticos de concreto, basándose en el diseño ante cargas y aceleraciones horizontales generadas por eventos sísmicos.

Al mismo tiempo [8], propusieron en su investigación de “Aceleraciones de piso para diseño de elementos no estructurales y estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica en edificios”, analizar el método que se utiliza para calcular aceleraciones de piso para diseñar los elementos estructurales y no estructurales de las estructuras del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). En la investigación, se comparan las aceleraciones máximas por otras normativas como la ASCE 7-10, UBC-97, el Eurocódigo 8-04 y NZS 1170.5-04, con las aceleraciones obtenidas en ensayos de mesas vibratorias. Teniendo los resultados obtenidos en el estudio, la investigación propone una modificación del método planteada por la NSR-10.

Mientras tanto, [9] menciona en su estudio de “Nuevo enfoque para el diseño de elementos no estructurales sensibles a la aceleración en edificios”, el proceso de introducir un nuevo enfoque en el que se utiliza un nuevo tipo de elementos de arriostamiento de elementos no estructurales. Los elementos están diseñados y detallados para funcionar como fusibles que limitan las fuerzas que actúan no solo en los elementos no estructurales, sino también en las uniones a la estructura y en la(s) unión(es) al elemento no estructural. Se demuestra que el enfoque propuesto, que tiene en cuenta las características de banda estrecha de los movimientos del suelo, no sólo da como resultado reducciones en las fuerzas de diseño, pero también pueden resultar en reducciones importantes en las demandas de deformación, especialmente para componentes que están sintonizados a las frecuencias modales del edificio en el que están montados.

Por otro lado, recientemente la fase 1 de este proyecto [1], define en su investigación de “Ecuación simplificada para la estimación del período fundamental de vibración aproximado para las edificaciones con sistemas de resistencia sísmica combinado”, la falta de una ecuación simplificada en la Norma Sismorresistente del 2010 (NSR-10), para calcular el período de vibración de estructuras que tienen el sistema de resistencia sísmica. La metodología de la autora se llevó a cabo por medio de tres métodos (Experimental, Analítico, y Teórico). Los resultados obtenidos permitieron determinar una ecuación simplificada para establecer el período fundamental de vibración en edificaciones con sistema de resistencia sísmica en Bucaramanga, Santander.

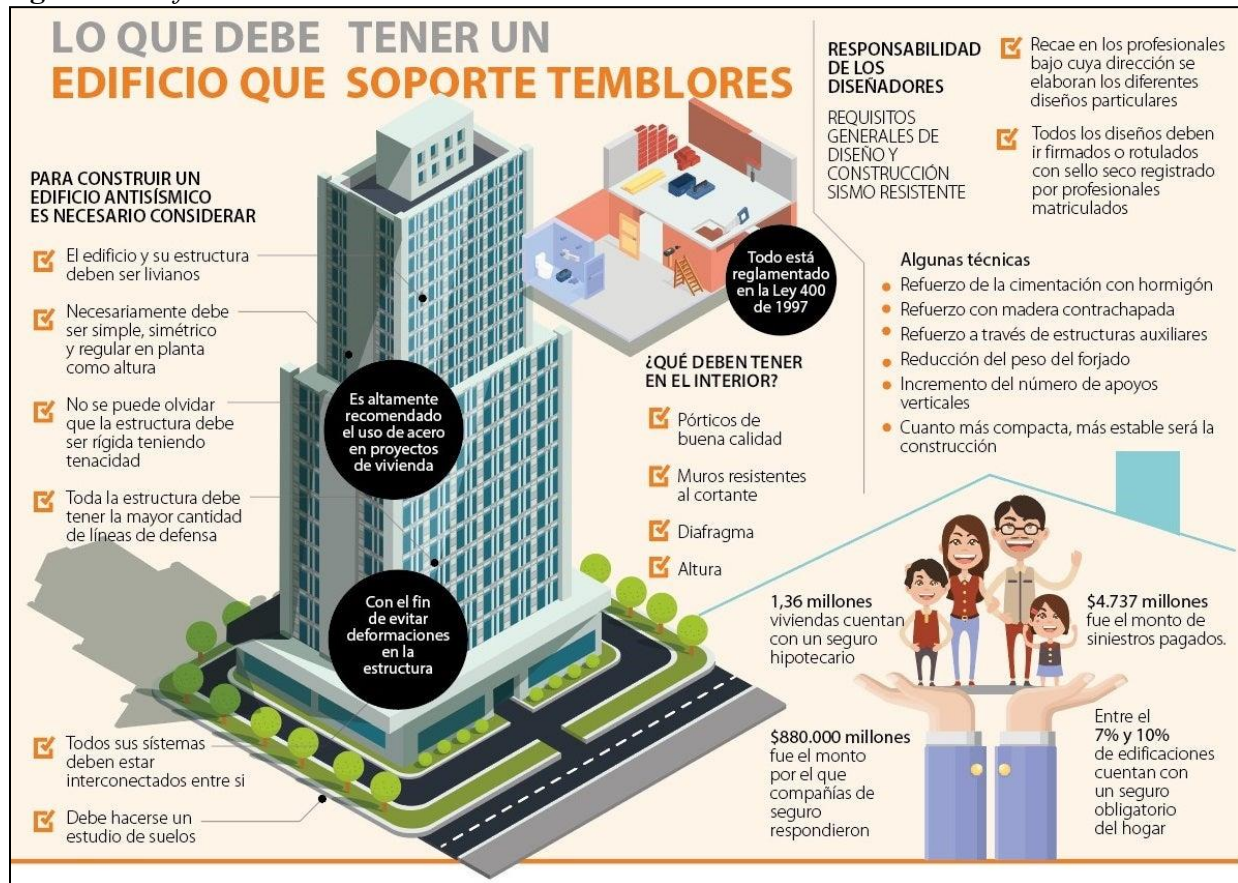
Y a la par casi de la investigación que da inicio al presente planteamiento, [2] disponen en su estudio “The effects of non-structural components on the dynamic characteristics and vulnerability of concrete structures using ambient vibration teste and Nakamura's criterion” los efectos de los componentes no estructurales (NSC) sobre las características dinámicas y los índices de vulnerabilidad de las estructuras de hormigón. Se midieron en tres etapas independientes y se sometieron a dos técnicas de procesamiento de señales para extraer las características dinámicas y calcular los índices de vulnerabilidad de las estructuras. Los resultados obtenidos indican que los valores de ambas características dinámicas de las estructuras de hormigón aumentan cuando los edificios están bajo el proceso de construcción. Además, el índice de vulnerabilidad aumenta en la segunda etapa en comparación con la primera, mientras que disminuye significativamente en la tercera etapa en comparación con la segunda.

5.2 Marco teórico

5.2.1 Edificaciones sismorresistentes

Según [10], el diseño de estructuras sismorresistentes se basa en salvar la vida de las personas, y poder disminuir los daños de los materiales de la edificación. Por lo tanto, los ingenieros son los responsables de cumplir los fundamentos sismorresistentes, que dependen del diseño estructural, estudio geotécnico, inspeccionar materiales, y el adecuado proceso constructivo. La estructura de la edificación debe ser liviana, simple, simétrico y regular tanto en planta como en altura. Además, de tener presente rigidez y tenacidad en sus elementos estructurales, y una cantidad correcta de líneas de defensa.

Figura 1. Edificaciones sismorresistentes.



Tomado de: [11].

5.2.2 *Período fundamental*

Según [12], el período fundamental de vibración de una edificación desempeña un papel importante dentro del diseño estructural, de él depende la fuerza sísmica con la que se diseña una estructura. Esta respuesta se obtiene a partir de la definición de la fuerza cortante sísmica en la base y posterior análisis elástico de la estructura. En el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), la magnitud de la fuerza sísmica se puede determinar con la ayuda del espectro de aceleraciones de diseño, en el cual dependiendo del valor del período fundamental de la estructura le corresponde un valor de aceleración espectral, y éste es directamente proporcional a dicha fuerza.

5.2.2.1 Ecuación propuesta por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes (NSR-10). Para obtener la aceleración horizontal del suelo (S_a) en función del período de vibración, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes (NSR-10), en el título A, capítulo A.4.4, define una serie de ecuaciones para calcular el período aproximado de vibración. Con esta información, se puede emplear el método de Fuerza Horizontal Equivalente. La ecuación (1) se utiliza para encontrar el período fundamental aproximado, y depende de variables como la altura de la estructura (h), y de los parámetros C_t y α . Estos parámetros dependen del tipo de sistema estructural de resistencia sísmica y se especifican en la Tabla A.4.2-1 de la NSR-10, que proporciona los valores de los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a .

$$T_a = C_t h^\alpha \quad (1)$$

Figura 2. Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a .

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Tomado de: [4].

5.2.3 Período de vibración ambiental

En [13], los autores indican que el período de vibración ambiental se genera principalmente por la actividad humana y se debe al funcionamiento, maquinaria industrial y al tráfico de vehículos.

Años más tarde, [14] concluye que su fuente no está asociada a terremotos y algunos investigadores consideran que la vibración de origen ambiental es producida por ondas superficiales generadas en las zonas de interacción océano-continente, modos fundamentales de vibración del planeta, cambios en la presión atmosférica y actividad volcánica interna. Y es por eso que para este estudio se utilizaron pruebas de vibración ambiental ya que son unas pruebas eficientes y de bajos costos, en las que se pueden obtener datos de manera rápida y con la ventaja de no interferir en las actividades normales que se realizan en los inmuebles.

5.2.4 Mampostería no estructural

La mampostería no estructural se refiere al uso de materiales de construcción como ladrillos, bloques de concreto, u otros, con el objetivo de establecer un aspecto estético o funcional, dividir y diferenciar espacios de una estructura.

Es por eso que [15] diferencian tres tipos de unidades de mampostería no estructural de arcilla cocida de acuerdo a la disposición de las perforaciones y el volumen que ocupen: perforación horizontal (PH), perforación vertical (PV), y macizas (M).

5.2.4.1 Bloque de arcilla cocida. Es un elemento que se utiliza en el proceso constructivo de muros o paredes de viviendas y otras estructuras. [15] lo describen con forma rectangular, textura rugosa y color rojizo. Además, tiene propiedades de alta resistencia, durabilidad y aislamiento térmico y acústico.

5.2.4.2 Arcilla cocida. [15] mencionan que la arcilla es un tipo de mineral industrial que se distingue por tener partículas de tamaño de grano muy pequeño. Sus características principales incluyen versatilidad, durabilidad, aspecto estético y plasticidad

5.2.5 Elementos no estructurales (NSC)

En 2020 los autores [16], indican que los elementos no estructurales son todos aquellos elementos que no transfieren carga y que van a estar adheridos o vinculados al sistema estructural principal. Los elementos no estructurales como los muros de mampostería generalmente se pegan desde el piso hasta el techo para garantizar su estabilidad y resistencia. Esto significa que se

adhieren o se construyen de manera continua desde la base del edificio hasta su parte superior, lo que ayuda a distribuir mejor las cargas y a mantener la integridad estructural del mismo.

5.2.5.1 Muros de mampostería. Los muros de mampostería proporcionan resistencia y durabilidad a la estructura. Además, controlan la temperatura interior y exterior. También, separan un edificio del mundo exterior. Para unir estos elementos no estructurales se emplea mortero, mezcla de material de unión con la arena. Los materiales de unión pueden ser de cemento, cal, tierra o cualquier otro tipo de argamasa que se solidifique con el tiempo.

5.2.5.2 Losa. Es un elemento no estructural horizontal compuesto por el material de hormigón armado, cuya función es separar los niveles en una construcción. En el medio de la construcción se encuentran distintos tipos de losas, como pueden ser nervadas, de viguetas y bovedillas, macizas, entre otras.

5.2.5.3 Escaleras. Es un elemento no estructural constituido por una serie de escalones que permiten el desplazamiento entre los niveles de las estructuras, facilitando el acceso entre las diferentes áreas de las edificaciones.

5.2.6 *Propiedades mecánicas*

Estas propiedades son fundamentales para el diseño y la selección de materiales en ingeniería, ya que influyen en la durabilidad y el rendimiento estructural de componentes y estructuras.

5.2.6.1 Resistencia a la compresión (f'_c). En [17] definen la resistencia a la compresión (f'_c) como una de las propiedades mecánicas esenciales en el diseño estructural, y se refiere a la capacidad de carga que puede soportar un material por unidad de área, expresada en términos de esfuerzo (kg/cm² o Mpa).

5.2.6.2 Resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m). Es la mayor resistencia que la mampostería (f'_m) puede soportar en el momento que es comprimida, es medida en el área neta transversal, y utilizada como base para el diseño de la estructura. Se establecen dos métodos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m): uno de manera individual (1 bloque de arcilla), y el otro calculando el promedio de 5 bloques de arcilla. En la investigación a realizar se va a llevar a cabo la toma de datos por medio del segundo método.

5.2.6.3 Módulo de elasticidad de la mampostería (E_m). El módulo de elasticidad de la mampostería (E_m) se establece como la relación del esfuerzo aplicado por unidad de área y la deformación o cambio de longitud por unidad de longitud dentro del rango elástico del material. Por lo tanto, el módulo de elasticidad es el parámetro que indica la rigidez del material.

5.2.6.4 Densidad de la mampostería. La densidad indica a la cantidad de masa por unidad de volumen. Este valor puede cambiar dependiendo del tipo y la composición de los materiales.

5.2.7 *Rigidez estructural*

La rigidez de una estructura se representa en los elementos estructurales de la edificación, se puede definir como una propiedad que tiene cada elemento con la capacidad de oponerse a las deformaciones que se desarrollan, soportando las cargas internas y externas de la estructura.

5.2.8 *ETABS*

Herramienta de análisis y diseño estructural empleada en los campos de Ingeniería Civil y Arquitectura, siendo un software que funciona para la creación, dimensionamiento y modelado con capacidades para análisis lineal y no lineal de distintas edificaciones. ETABS, se conoce como “Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems”, su creador fue la empresa Computers and Structures. Está presente desde hace 40 años con investigaciones y desarrollo continuo, con implementos novedosos para el modelo y visualización 3D.

5.3 Marco conceptual

- *Fuerza sísmica*: fuerza vertical u horizontal aplicada a una estructura, generada por movimientos terrestres conocidos como sismos.
- *Mampostería*: sistema de construcción tradicional que consiste en levantar muros y tabiques mediante la colocación manual de los materiales o elementos que los forman.
- *Modelamiento estructural*: esquema simplificado de la estructura, creado con el propósito de analizar su comportamiento.
- *Período natural o fundamental de vibración*: es el tiempo que una estructura necesita para completar una oscilación en la dirección que se esté considerando.

- *Sistema combinado de resistencia sísmica:* es un conjunto de pórticos resistentes a momentos y muros de concreto reforzado, diseñado para soportar cargas tanto verticales como horizontales.

5.4 Marco legal

5.4.1 *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes (NSR-10)*

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es el reglamento que rige en el territorio colombiano, responsable de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones, con el objetivo de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable. Presenta los requisitos mínimos de diseño y construcción con el fin de que las edificaciones y demás construcciones resistan temblores de baja intensidad sin daño, temblores de intensidad intermedia sin daño estructural, y temblores de alta intensidad sin colapso, es decir con daños estructurales, y sin pérdidas de vidas de las personas.

6. Metodología

El presente proyecto de investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, cuyo objetivo es identificar una aproximación más precisa al período real de vibración de edificaciones sismorresistentes. Esta investigación constituye la segunda fase del estudio realizado por [1], titulado "Ecuación simplificada para la estimación del período fundamental de vibración aproximado para las edificaciones con sistemas de resistencia sísmica combinada". La investigación se centra en emplear el modelado finito a través del software estructural ETABS para

obtener los períodos fundamentales de vibración, considerando tanto elementos estructurales como no estructurales.

La población de estudio está compuesta por siete edificaciones sismorresistentes con sistema estructural combinado, con una altura promedio de 49.47 metros, localizadas en Bucaramanga, Santander, Colombia. Estas edificaciones tienen una antigüedad que oscila entre 5 y 15 años y fueron seleccionadas considerando la accesibilidad y disponibilidad de información. Para obtener los datos sobre la ubicación y características de los elementos no estructurales (muros de mampostería, losas, escaleras), se realizará una solicitud a las oficinas de planeación del municipio o curadurías locales de Bucaramanga. En última instancia, se efectuará una visita a cada edificio seleccionado para recopilar información adicional necesaria para la investigación.

Tabla 1. *Características de las edificaciones sismorresistentes.*

Número de muestra	Altura (m)	Número de pisos	Dirección
Muestra 1	50.94	19 + Cubierta	Calle 22 # 20 – 20
Muestra 2	45.28	17 + Cubierta	Calle 41 # 14 – 45
Muestra 3	44.95	16 + Cubierta	Cra 50 # 54 – 29
Muestra 4	74.15	22 + Cubierta	Calle 42 # 28 – 69
Muestra 5	46.80	20 + Z.S	Cra 5 # 28 – 23
Muestra 6	48.65	16 + Cubierta	Cra 30 # 16 – 41
Muestra 7	64.00	20	Calle 14 # 25 – 30

Tomado de: [1]

La recolección de datos se ejecutará mediante la revisión de los planos arquitectónicos y estructurales de las edificaciones. Este proceso permitirá determinar las características de los elementos no estructurales (NSC), que serán ubicados en el modelo del software para cada edificación, considerando su orientación, dimensiones y localización.

Con los resultados alcanzados, se realizará un análisis comparativo de los valores de período fundamental de vibración experimentalmente hallados por [1] con aquellos derivados del modelo de elementos finitos, teniendo en cuenta la presencia de elementos no estructurales. Este análisis permitirá establecer en valor porcentual la disminución de la discrepancia entre ambas mediciones, lo que tiene implicaciones económicas significativas. Un cálculo más preciso del período natural puede resultar en un diseño más eficiente, evitando el sobredimensionamiento de elementos estructurales y reduciendo costos en materiales.

Tabla 2. *Períodos de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado sin elementos no estructurales (NSC).*

Número de muestra	Altura (m)	Dirección de estudio	Ta (Seg)
Muestra 1	50.94	Y	1.68
Muestra 2	64.00	X	2.32
Muestra 3	44.95	Y	2.15
Muestra 4	45.28	X	1.89
Muestra 5	74.15	X	2.08
Muestra 6	52.90	X	1.95
Muestra 7	48.65	Y	1.85

Tomado de: [1]

Tabla 3. *Períodos experimentales aproximados de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado por los métodos (EFDD y SSI).*

Número de muestra	Altura (m)	Ta (Seg) con EFDD	Ta (Seg) con SSI
Muestra 1	50.94	0.746	0.744
Muestra 2	64.00	1.276	1.481
Muestra 3	44.95	0.847	0.847
Muestra 4	45.28	1.09	1.07
Muestra 5	74.15	1.189	1.107
Muestra 6	52.90	1.082	1.136
Muestra 7	48.65	0.824	0.824

Tomado de: [1]

7. Desarrollo metodológico

El enfoque de esta investigación es predominantemente cuantitativo, dado que se busca medir y analizar el período natural de vibración de edificaciones sismorresistentes a través de modelos computacionales y datos experimentales. Sin embargo, también se incorpora un componente cualitativo al considerar la identificación y caracterización de los elementos no estructurales, lo que permite una comprensión más profunda de su influencia en el comportamiento sísmico de las edificaciones.

7.1. Selección de la muestra

7.1.1 Criterios de selección

- Se seleccionarán siete edificaciones con características de altura y antigüedad similares (Entre 5 y 15 años).
- Todas las edificaciones deben ser sismorresistentes y tener un sistema estructural combinado.
- La selección se basará en la accesibilidad y disponibilidad para la recolección de datos.

7.1.2 Ubicación

- Las edificaciones están ubicadas en Bucaramanga, Santander, Colombia.

7.2 Identificación de Elementos No Estructurales

7.2.1 *Revisión de planos:*

- Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de los planos arquitectónicos y estructurales de cada edificación.
- Esta revisión incluirá la identificación de muros de mampostería, losas y escaleras.

7.3 Modelado en ETABS

7.3.1 *Configuración del modelo*

- Las edificaciones se modelarán en el software ETABS, incluyendo tanto los elementos estructurales (columnas, vigas) como los no estructurales (muros, losas, escaleras).

7.3.2 *Definición de propiedades de materiales*

7.3.2.1 Mampostería. Se definirá un módulo de elasticidad de 2250 MPa para la mampostería. La resistencia a la compresión se establecerá en 3 MPa, de acuerdo con [18].

7.3.2.2 Concreto y Acero. Se establecerán las propiedades mecánicas del concreto y acero.

7.3.2.3 Dimensiones de elementos. Para los muros, se tomará un espesor nominal de 80 mm. Las dimensiones de las losas y escaleras se tomarán de los planos estructurales disponibles.

7.4 Análisis comparativo

7.4.1 Métodos de análisis

Se realizará un análisis comparativo entre los períodos naturales de vibración obtenidos a través del modelado en ETABS y los períodos medidos experimentalmente por [1] utilizando acelerógrafos.

7.4.2 Cálculo de variación porcentual

Se calculará la variación porcentual entre ambos métodos utilizando la ecuación (2):

$$\text{Variación porcentual} = \left(\frac{\text{Período con NSC} - \text{Período sin NSC}}{\text{Período sin ENS}} \right) \times 100 \quad (2)$$

8. Desarrollo

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

8.1 Revisión de documentos

8.1.1 Estudio de planos

- Se realizó un estudio detallado de los planos arquitectónicos y estructurales proporcionados por [1].
- Se solicitaron documentos adicionales a constructoras locales y a la curaduría de Bucaramanga para obtener información completa sobre las edificaciones.

8.1.2 Identificación de elementos no estructurales (NSC)

- Esta revisión permitió identificar la localización y dimensiones de los elementos no estructurales necesarios para la investigación.

8.2 Modelado en ETABS

8.2.1 Construcción del modelo

Las edificaciones fueron modeladas en ETABS, considerando los materiales principales:

- Concreto: definido según las especificaciones de diseño.
- Acero: definido según las especificaciones de diseño.

Figura 3. Especificaciones mecánicas del concreto.

General Data	
Material Name	CONC280
Material Type	Concrete
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	[Red Box] Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	2400 kgf/m ³
Mass per Unit Volume	2400 kg/m ³

Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2523.7 kgf/mm ²
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	1051.54 kgf/mm ²

- Mampostería: se definieron propiedades específicas para los muros no estructurales.

Figura 4. *Especificaciones mecánicas de la mampostería.*

Wall Property Data

General Data

Property Name: MAMP1

Property Type: Specified

Wall Material: MAMPOSTERIA

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Green Swatch] Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 80 mm

- Losa: definida para el modelado como tipo Shell-thin; esto para que el software la involucre en el cálculo.

Figura 5. *Especificaciones de la losa aligerada.*

General Data

Property Name: ALIGERADA

Slab Material: CONC280

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Cyan Swatch] Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Ribbed

8.2.2 *Definición de dimensiones*

Se utilizaron las dimensiones de los planos arquitectónicos para los muros, losas y escaleras, asegurando que el modelo reflejara las condiciones reales de las edificaciones.

8.3 Ubicación y verificación

8.3.1 *Ubicación de elementos no estructurales (NSC)*

Se ubicaron los elementos no estructurales en cada planta de las edificaciones, tomando en cuenta las dimensiones propuestas en los planos.

8.3.2 *Verificación de modelos*

Se revisaron los modelos para detectar errores geométricos o estructurales que pudieran afectar los resultados de los períodos fundamentales.

8.4 Obtención de Resultados

8.4.1 *Cálculo de períodos naturales*

Se obtuvieron los resultados del período natural de vibración mediante el análisis en ETABS.

8.4.2 *Elaboración de gráficas y tablas*

Se elaboraron gráficas y tablas para comparar los resultados obtenidos con los períodos fundamentales medidos por [1].

8.5 Análisis estadístico

8.5.1 Cálculo de variación porcentual

Se calculará la variación porcentual entre los períodos naturales obtenidos, utilizando la fórmula mencionada anteriormente.

9. Resultados

En las Tablas 4 y 5 se detallan los resultados correspondientes a los períodos fundamentales, desde la perspectiva analítica como teórica, para la muestra especificada en la Tabla 1.

Tabla 4. *Períodos de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado con elementos no estructurales (NSC) mediante ETABS.*

Número de muestra	Altura (m)	Dirección de estudio	Ta (Seg)
Muestra 1	50.94	Y	1.00
Muestra 2	64.00	X	1.621
Muestra 3	44.95	Y	0.93
Muestra 4	45.28	X	1.203
Muestra 5	74.15	X	1.028
Muestra 6	52.90	X	1.057
Muestra 7	48.65	Y	1.022

Tabla 5. *Períodos fundamentales teóricos aproximados (NSR-10) de edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.*

Número de muestra	Altura (m)	Ta (Seg) con Pórticos (NSR-10)	Ta (Seg) con Muros (NSR-10)	Variación (%)
Muestra 1	50.94	1.616	0.934	72.97
Muestra 2	64.00	1.985	1.109	78.99
Muestra 3	44.95	1.444	0.851	69.75
Muestra 4	45.28	1.453	0.855	69.94
Muestra 5	74.15	2.266	1.238	82.99
Muestra 6	52.90	1.672	0.961	73.95
Muestra 7	48.65	1.551	0.903	71.78

10. Análisis de resultados

10.1 Resultados de períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC

En la Tabla 6 se presenta una comparación detallada de los resultados correspondientes a los períodos analíticos de edificaciones con sistemas de resistencia sísmica combinados, sin considerar elementos no estructurales (NSC), obtenidos por [1], y aquellos determinados considerando los elementos no estructurales. Adicionalmente, se muestra el porcentaje de variación calculado mediante la ecuación (2) entre los valores observados.

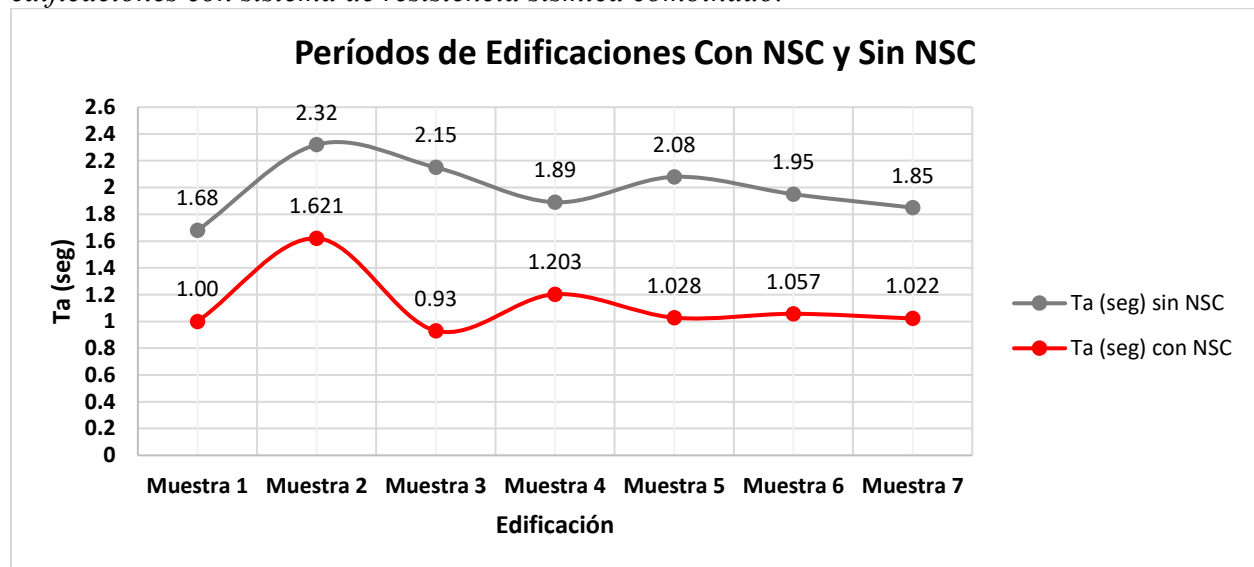
Tabla 6. *Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC.*

Número de muestra	Altura (m)	Dirección de estudio	Ta (Seg) sin NSC	Ta (Seg) con NSC	Variación (%)
Muestra 1	50.94	Y	1.68	1.00	68.00
Muestra 2	64.00	X	2.32	1.621	43.12
Muestra 3	44.95	Y	2.15	0.93	131.18
Muestra 4	45.28	X	1.89	1.203	57.11
Muestra 5	74.15	X	2.08	1.028	102.33

Número de muestra	Altura (m)	Dirección de estudio	Ta (Seg) sin NSC	Ta (Seg) con NSC	Variación (%)
Muestra 6	52.90	X	1.95	1.057	84.48
Muestra 7	48.65	Y	1.85	1.022	81.02

La Figura 6 ilustra gráficamente el comportamiento de los períodos fundamentales analíticos, tanto con la inclusión de elementos no estructurales (NSC) como sin ellos, según lo establecido en la Tabla 6.

Figura 6. Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.



10.2 Resultados de períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI)

La Tabla 7 presenta los resultados de los períodos fundamentales teóricos aproximados, conforme a la (NSR-10), para sistemas estructurales de pórticos o muros, calculados mediante la

ecuación (1), con la información presente en [4]. Estos valores se comparan con los períodos experimentales aproximados obtenidos mediante los métodos EFDD y SSI, tal como determina [1]. Además, se realiza un análisis comparativo en % de variación entre los valores obtenidos por la ecuación (2). Asimismo, mediante la ecuación (3) se obtiene el porcentaje de descenso del período de las edificaciones teniendo en cuenta los resultados de [1].

$$\text{Descenso} = \left(\frac{\text{Promedio período sin NSC} - \text{Promedio período con NSC}}{\text{Promedio período sin NSC}} \right) \times 100 \quad (3)$$

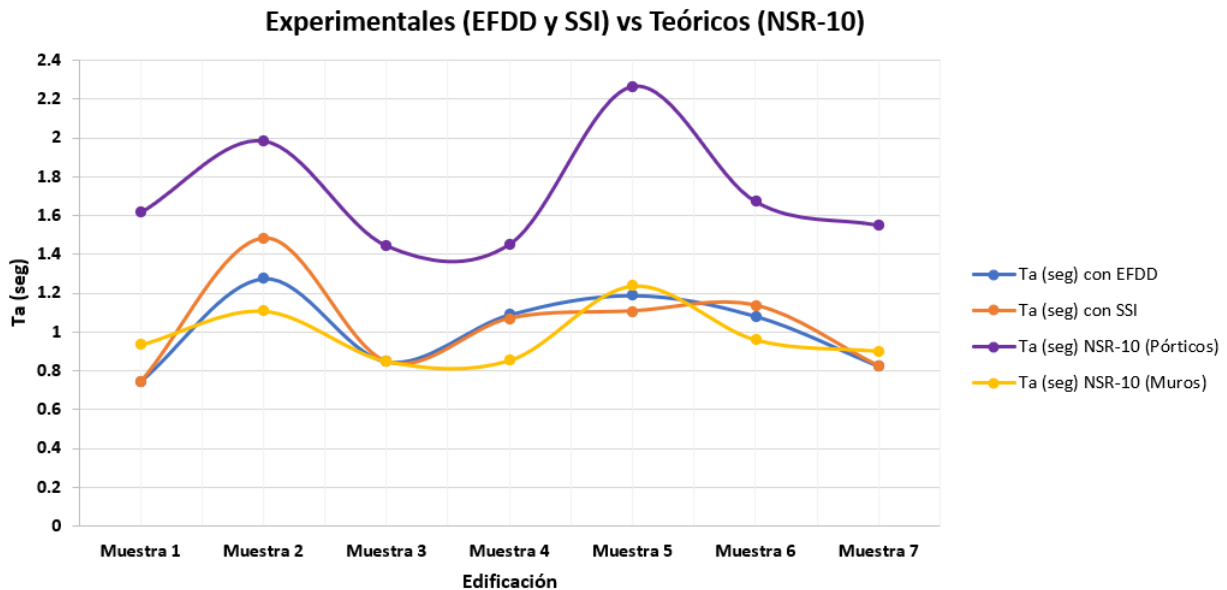
Una vez aplicada la ecuación (3) se obtiene que el descenso promedio del período de las edificaciones en estudio es del 43.53 %.

Tabla 7. Comparación de períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.

Número de muestra	Altura (m)	Ta (seg) EFDD	Ta (seg) SSI	Ta (seg) NSR-10 (Pórticos)	Ta (seg) NSR-10 (Muros)	Variación (%) EFDD vs Pórticos	Variación (%) EFDD vs Muros	Variación (%) SSI vs Pórticos	Variación (%) SSI vs Muros
Muestra 1	50.94	0.746	0.744	1.616	0.934	53.838	20.155	53.961	20.369
Muestra 2	64.00	1.276	1.481	1.985	1.109	35.703	15.085	25.373	33.575
Muestra 3	44.95	0.847	0.847	1.444	0.851	41.342	0.427	41.342	0.427
Muestra 4	45.28	1.09	1.07	1.453	0.855	25.008	27.438	26.384	25.100
Muestra 5	74.15	1.189	1.107	2.266	1.238	47.521	3.971	51.140	10.594
Muestra 6	52.90	1.082	1.136	1.672	0.961	35.283	12.574	32.053	18.193
Muestra 7	48.65	0.824	0.824	1.551	0.903	46.856	8.711	46.856	8.711

La Figura 7 muestra gráficamente el comportamiento de los períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI).

Figura 7. Comparación de períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.



10.3 Resultados de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI)

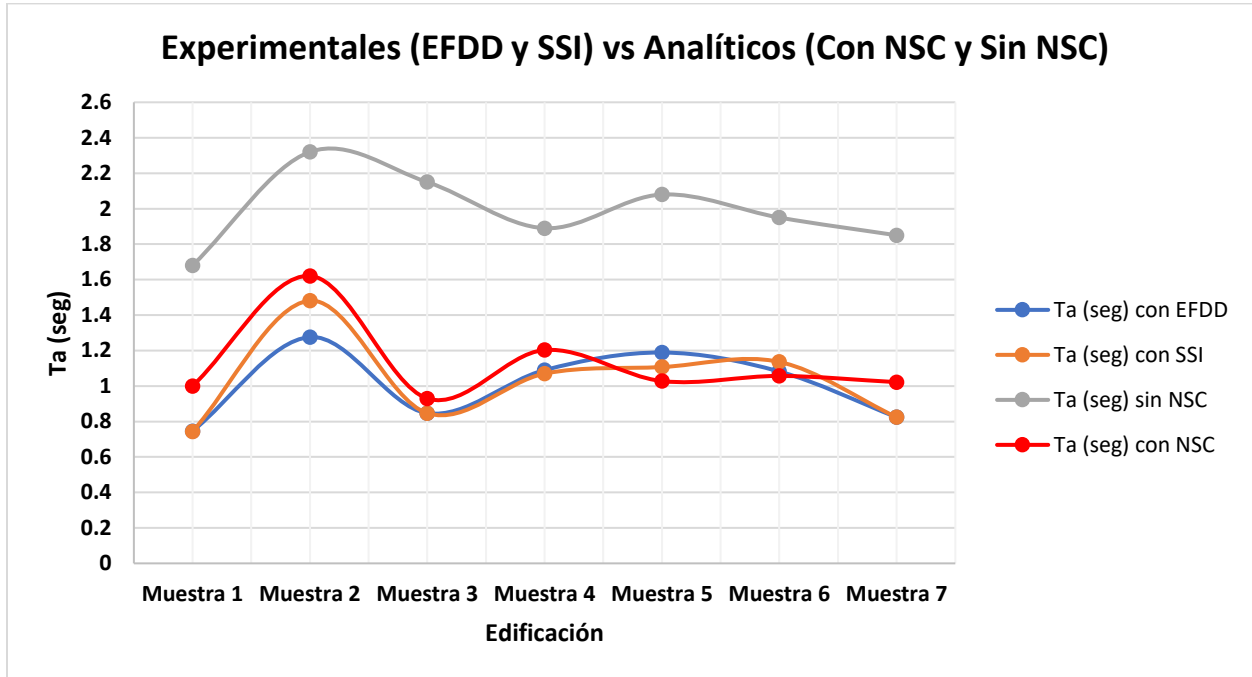
Finalmente, se realiza un análisis comparativo entre los períodos fundamentales analíticos, incluyendo los elementos no estructurales (NSC) como sin ellos, y los períodos experimentales aproximados obtenidos mediante los métodos EFDD y SSI, determinados por [1]. Este análisis tiene como objetivo determinar el porcentaje de variación y evaluar la influencia de los elementos no estructurales en el período natural de vibración de edificaciones sismorresistentes con sistemas estructurales combinados.

Tabla 8. Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.

Número muestra	Altura (m)	Ta (seg) EFDD	Ta (seg) SSI	Ta (seg) sin NSC	Ta (seg) con NSC	Variación (%) EFDD vs sin NSC	Variación (%) EFDD vs con NSC	Variación (%) SSI vs sin NSC	Variación (%) SSI vs con NSC
Muestra 1	50.94	0.746	0.744	1.68	1.00	55.595	25.400	55.714	25.600
Muestra 2	64.00	1.276	1.481	2.32	1.621	45.000	21.283	36.164	8.637
Muestra 3	44.95	0.847	0.847	2.15	0.93	60.605	8.925	60.605	8.925
Muestra 4	45.28	1.09	1.07	1.89	1.203	42.328	9.393	43.386	11.056
Muestra 5	74.15	1.189	1.107	2.08	1.028	42.837	15.661	46.779	7.685
Muestra 6	52.90	1.082	1.136	1.95	1.057	44.513	2.365	41.744	7.474
Muestra 7	48.65	0.824	0.824	1.85	1.022	55.459	19.374	55.459	19.374

La Figura 8 desarrolla gráficamente el comportamiento de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI).

Figura 8. Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos experimentales aproximados por los métodos (EFDD y SSI), de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.



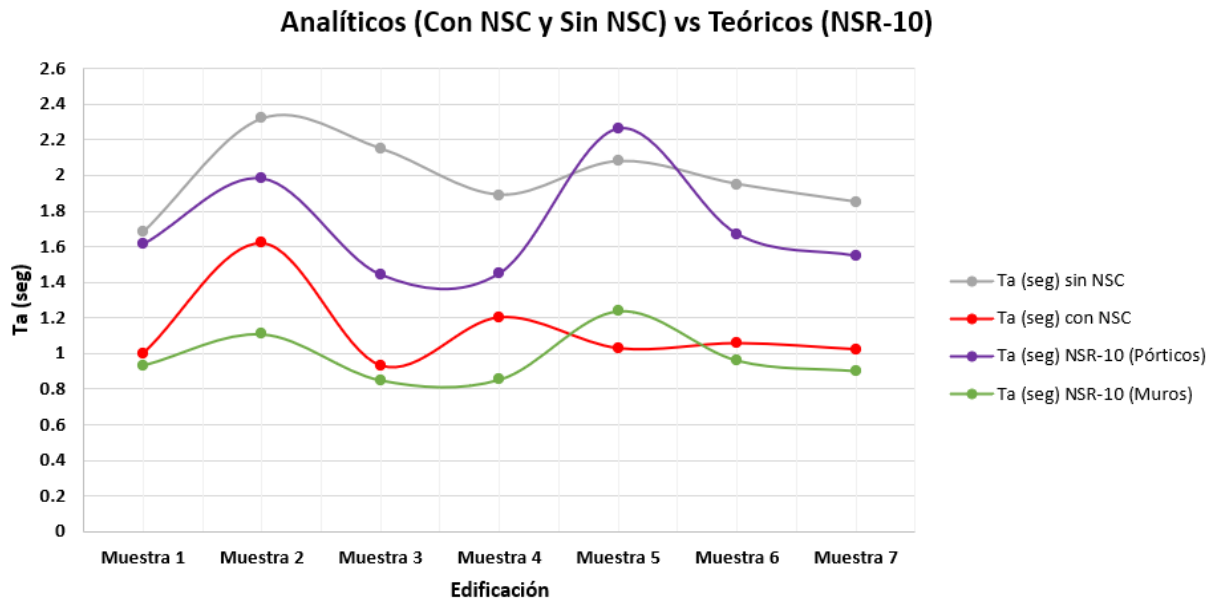
10.4 Resultados de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10)

La Tabla 9 y Figura 9 muestran la comparación de los períodos fundamentales obtenidos a través de enfoques analíticos, tanto con NSC como sin NSC, en contraste con los períodos fundamentales teóricos aproximados según el modelo NSR-10.

Tabla 9. Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.

Número muestra	Altura (m)	Ta (Seg) sin NSC	Ta (Seg) con NSC	Ta (seg) NSR-10 (Pórticos)	Ta (seg) NSR-10 (Muros)	Variación (%) Sin NSC vs Pórticos	Variación (%) Sin NSC vs Muros	Variación (%) Con NSC vs Pórticos	Variación (%) Con NSC vs Muros
Muestra 1	50.94	1.68	1.00	1.616	0.934	3.958	79.812	38.120	7.031
Muestra 2	64.00	2.32	1.621	1.985	1.109	16.904	109.246	18.319	46.202
Muestra 3	44.95	2.15	0.93	1.444	0.851	48.896	152.752	35.594	9.330
Muestra 4	45.28	1.89	1.203	1.453	0.855	30.031	120.971	17.234	40.650
Muestra 5	74.15	2.08	1.028	2.266	1.238	8.195	67.990	54.627	16.974
Muestra 6	52.90	1.95	1.057	1.672	0.961	16.634	102.884	36.778	9.973
Muestra 7	48.65	1.85	1.022	1.551	0.903	19.316	104.957	34.086	13.225

Figura 9. Comparación de los períodos fundamentales analíticos con NSC y sin NSC con períodos fundamentales teóricos aproximados de la (NSR-10) de las edificaciones con sistema de resistencia sísmica combinado.



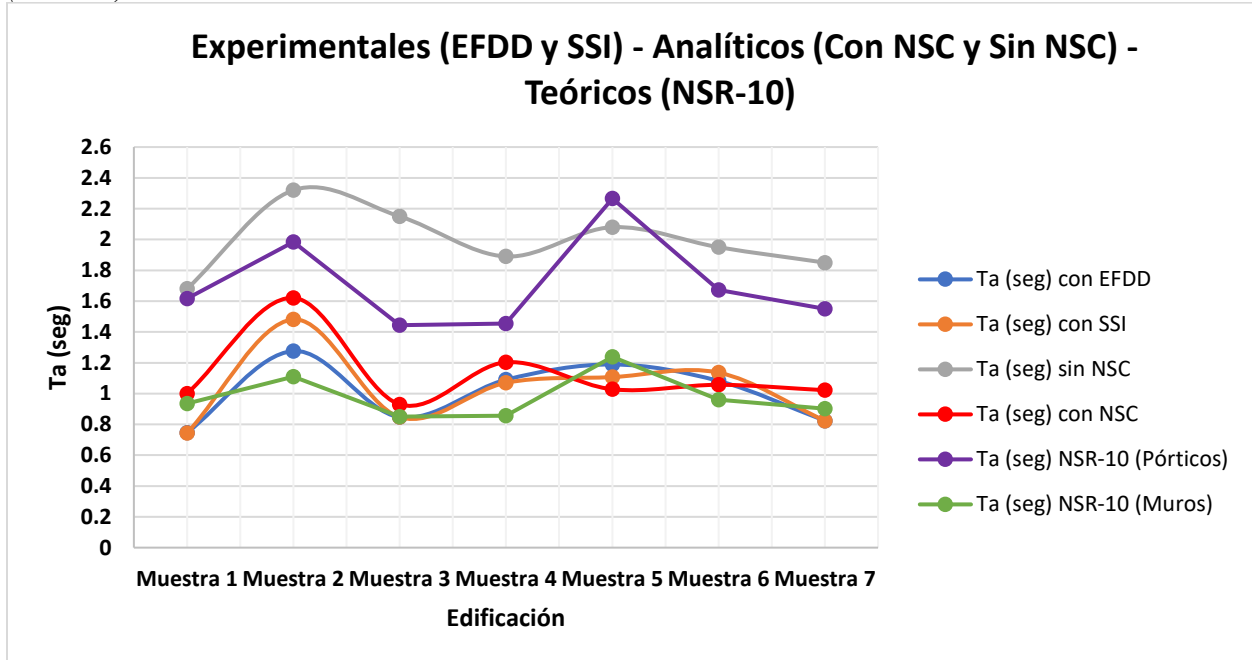
10.5 Resultados de los períodos experimentales (EFDD y SSI) - analíticos (Con NSC y Sin NSC) - teóricos (NSR-10)

En la Tabla 10 y Figura 10 se presentan los datos obtenidos bajo tres enfoques clave, períodos experimentales (EFDD y SSI), períodos analíticos (Con NSC y Sin NSC) y períodos teóricos (NSR-10). Estos enfoques representan diferentes etapas del proceso de investigación, abarcando desde la experimentación hasta el análisis detallado y la modelación teórica, proporcionando así una visión integral de los resultados obtenidos.

Tabla 10. *Períodos experimentales (EFDD y SSI) - analíticos (Con NSC y Sin NSC) - teóricos (NSR-10).*

Número muestra	Ta (Seg) sin ENE	Ta (Seg) con ENE	Ta (seg) EFDD	Ta (seg) SSI	Ta (seg) NSR-10 (Pórticos)	Ta (seg) NSR-10 (Muros)
Muestra 1	1.68	1.00	0.746	0.744	1.616	0.934
Muestra 2	2.32	1.621	1.276	1.481	1.985	1.109
Muestra 3	2.15	0.93	0.847	0.847	1.444	0.851
Muestra 4	1.89	1.203	1.09	1.07	1.453	0.855
Muestra 5	2.08	1.028	1.189	1.107	2.266	1.238
Muestra 6	1.95	1.057	1.082	1.136	1.672	0.961
Muestra 7	1.85	1.022	0.824	0.824	1.551	0.903

Figura 10. *Periodos experimentales (EFDD y SSI) - analíticos (Con NSC y Sin NSC) - teóricos (NSR-10).*



Los resultados obtenidos al comparar el período natural de vibración de la estructura considerando tanto los elementos estructurales (muros de corte, pórticos) como los elementos no estructurales (muros de mampostería, escaleras, losas) evidencian que el período es más bajo y cercano al valor real medido en campo. Este hallazgo permite deducir que la inclusión de los elementos no estructurales permite ofrecer una visión más completa del comportamiento dinámico de la estructura; no obstante, es importante que se reconozca la naturaleza de incertidumbre de los fenómenos sísmicos y el modelado finito utilizado para representar las edificaciones.

11. Impacto

Este proyecto busca contribuir a la comprensión del comportamiento estructural de edificaciones sismorresistentes con y sin elementos no estructurales (NSC), mediante la

comparación de los resultados obtenidos con los de [1], reconociendo que pueden existir limitaciones en los modelos empleados y la incertidumbre ante las vibraciones sísmicas.

Este estudio pretende ofrecer una base a futuras investigaciones que analicen cómo el actual modelado de las edificaciones se adapta a la realidad de estas, enfatizando que los hallazgos se deben interpretar dentro de la incertidumbre que se asocia a este campo de la ingeniería civil.

12. Recomendaciones

1. Este estudio se llevó a cabo en Bucaramanga, una zona de alta amenaza sísmica. Es fundamental que, al utilizar software de modelado, se preste especial atención a la incorporación de los parámetros del espectro sísmico, asegurando que sean coherentes con los utilizados en cálculos manuales. La falta de esta inclusión puede comprometer la validez del análisis.
2. Realizar una caracterización precisa de los elementos no estructurales es crucial, ya que estos pueden impactar en la precisión de los resultados y, por ende, en la seguridad de la edificación.
3. Se recomienda que el modelado y los cálculos estructurales sean supervisados por profesionales capacitados. Esto garantizará que se preste atención a todos los detalles relevantes, como el tipo de modelado de un elemento, el análisis modal espectral, y la definición y propiedades de los materiales.
4. La seguridad estructural debe seguir siendo la prioridad, y cualquier ajuste en los modelos debe hacerse con precaución, reconociendo que los elementos no estructurales pueden comportarse de manera diferente bajo condiciones sísmicas.

5. Abordar la inclusión de elementos no estructurales con cautela es esencial, dado que su comportamiento puede influir en la seguridad de la edificación. Este estudio se centra en la comparación de los resultados experimentales y analíticos presentados por [3], lo que refuerza la importancia de asegurar la coherencia entre los datos obtenidos y los métodos aplicados en cada etapa del proceso.

13. Conclusiones

La inclusión de elementos no estructurales, como muros de mampostería, losas y escaleras, ha demostrado tener un impacto significativo en el período natural de vibración. Como se observa en la Tabla 6, los modelos que consideran estos elementos presentan períodos naturales de vibración que son, en promedio, un 43.53 % más cortos que aquellos que no los incluyen. Esto indica una mayor rigidez y un mejor comportamiento frente a acciones sísmicas.

La comparación entre los períodos naturales de vibración obtenidos con y sin elementos no estructurales (NSC) revela una variación considerable. Como se detalla en la Tabla 8, los resultados del modelado sin NSC respecto a los métodos EFDD y SSI muestran una variación que alcanza hasta un 60.6 %, mientras que al realizar la misma comparativa teniendo en cuenta el modelado que incluye los NSC, la máxima variación que resulta corresponde al 19.4 %. Esta diferencia resalta la necesidad de incluir estos elementos en el análisis para obtener resultados más precisos.

Al comparar los resultados obtenidos con los valores teóricos establecidos por la norma NSR-10 para pórticos y muros, se encontró que los períodos naturales teóricos no reflejan adecuadamente la realidad estructural de la edificación, y esto se hace evidente una vez se realiza el modelado sin considerar los NSC, con una variación máxima del 83%.

Los valores obtenidos mediante los modelos que incluyen los elementos no estructurales se alinean más estrechamente con los métodos de medición con acelerómetros (EFDD y SSI) por [1]. Esto refuerza la necesidad de adoptar un enfoque más integral en el análisis sísmico, considerando todos los componentes de la edificación.

Si bien la inclusión de elementos no estructurales (NSC) ha demostrado ser más cercano al valor experimental del período natural de vibración y, por ende, la rigidez de las estructuras es esencial que se reconozca que estos hallazgos provienen de simulaciones y comparaciones con datos experimentales. Se identifica una oportunidad para futuras investigaciones que validen la necesidad de considerar los NSC en sus modelos de cálculo.

Referencias

- [1] I. Torres, “Ecuación simplificada para la estimación del período fundamental de vibración aproximado para las edificaciones con sistemas de resistencia sísmica combinado”. Tesis de Maestría., Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. 2022. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10654/43743>
- [2] M.A. Hadianfard, M. Jahangiri, & S. Shojae, “The effects of non-structural components on the dynamic characteristics and vulnerability of concrete structures using ambient vibration tests and Nakamura's criterion”. Tesis de Maestría., Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Irán, Asia. 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267726122003414>
- [3] R.K. Su, A.M. Chandler, M.N. Sheikh, & N.T. Lam. “Influence of non-structural components on lateral stiffness of tall buildings”. Tesis de Maestría., The Structural Design of Tall and Special Buildings, Shiraz, Irán, Asia. 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/tal.266>
- [4] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes. 2010. 2^a ed. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Bogotá, Colombia.
- [5] J. Valencia, “Evaluación del coeficiente de disipación energía, R, para edificios con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto, con diferente número de pisos”. Tesis de Maestría., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 2016. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57214>
- [6] F. Mazza, & R. Labernarda, “Structural and non-structural intensity measures for the assessment of base-isolated structures subjected to pulse-like near-fault earthquakes”. Tesis

- de Maestría., Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Irán, Asia. 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/journal/soil-dynamics-and-earthquake-engineering>
- [7] F. Delgado, “Efecto de los muros no estructurales en la respuesta dinámica de una estructura aporticada: Caso de estructura de concreto reforzado diseñada antes del código de diseño de 1984”. Tesis de grado, Repositorio Institucional Universidad EIA, Envigado, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible: <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/0e7906a8-c10f-420f-8bbc-7f442ddafe1f>
- [8] R. Barbosa, J. Álvarez, & J. Carrillo, “Aceleraciones de piso para diseño de elementos no estructurales y estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica en edificios”. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 17, no. 33, pp. 99-119, 2018. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22395/rium.v17n33a5>
- [9] E. Miranda, A.K. Kazantzi, & D. Vamvatsikos, “Nuevo enfoque para el diseño de elementos no estructurales sensibles a la aceleración en edificios”, Tesis de Maestría., EAEE, Salónica, Grecia. 2018. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/325988163_New_approach_to_the_design_of_acceleration-sensitive_non-structural_elements_in_buildings
- [10] M. Blanco, “Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente”. Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 2012. [En línea]. Disponible: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000300008
- [11] C. González, *La República, Las condiciones para que un edificio sea considerado como sismorresistente*, Sep. 15, 2017. Acceso: 2017. [En línea]. Disponible:

- <https://www.larepublica.co/infraestructura/las-condiciones-para-que-un-edificio-sea-considerado-como-sismorresistente-2548545>
- [12] C. Vargas, “Caracterización del período fundamental de vibración de edificios de muros estructurales de concreto reforzado para uso residencial”. Tesis de grado, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2014. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/10893/16234>
- [13] K. Kanai & T. Tanaka, “On microtremors”, Bulletin of Earthquakes Research Institute, vol-39, pp. 97-11, 1961.
- [14] F. Espinoza, “Determinación de Características Dinámicas de Estructuras”. Tesis de Doctorado., Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica., Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 1999. [En línea]. Disponible: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93533>
- [15] A. Díaz, & L. Pedraza. “Parametrización de mampostería estructural y no estructural H-10, H-15 Y M-25 de empresas productoras en el área metropolitana de Bucaramanga”. Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana., Bucaramanga, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6194/digital_37772.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] J. Galindo, & J. Murcia, “Diseño de elementos no estructurales en edificaciones con el fin de evitar daños y colapso a causa de la actividad sísmica”. Tesis de grado, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/11634/32239>
- [17] R. Alava, E. Menéndez, W. Ruíz, & L. Zambrano. “Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón”. Revista Gaceta Técnica, vol 23, no.1, pp. 35-47. Acceso: 2022. [En línea]. Disponible:

<https://biblat.unam.mx/es/revista/gaceta-tecnica/articulo/aplicacion-de-metodos-de-curado-y-su-influencia-en-la-resistencia-a-la-compresion-del-hormigon>

[18] NTC 4205: 2010. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos.

Disponible: <https://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf>