RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	**Carlos Josué Navarro Barrera**
FACULTAD	**Ingeniería**
PLAN DE ESTUDIOS	**Ingeniería civil**
DIRECTOR	**Doc.: Ricardo Andrés García León**
CODIRECTOR	**Esp.: Jesús David Márquez Montejo**
TÍTULO DE LA TESIS	**Análisis comparativo sobre los diferentes reglamentos colombianos en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado con sistema estructural tipo pórtico.**
TITULO EN INGLES	**Comparative analysis of the different Colombian regulations on the design and construction of reinforced concrete buildings with a portal frame structural system.**

RESUMEN
(70 palabras)

En el área de la construcción es fundamental el cumplimiento del reglamento sismo resistente, en Colombia se han implementado diversos reglamentos como lo es el CCCSR-84 la NSR-98 y la NSR-10, por lo tanto, en este proyecto se realiza un análisis comparativo de estos reglamentos enfocado en los títulos más relevantes e influyentes en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado con sistema estructural tipo pórtico, asimismo, se realizó un análisis bibliométrico con el objetivo de establecer tendencias

RESUMEN EN INGLES

In the area of construction, it is essential to comply with the seismic resistant regulations, in Colombia several regulations have been implemented such as the CCCSR-84, NSR-98 and NSR-10, therefore, in this project a comparative analysis of these regulations focused on the most relevant and influential titles in the design and construction of reinforced concrete buildings with portico type structural system, also, a bibliometric analysis was performed with the aim of establishing trends.

PALABRAS CLAVES	Reglamento, Bibliométrico, Concreto Reforzado, Pórtico, CCCSR-84, NSR-98, NSR-10, Diseño, Construcción, Estructura.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Regulation, Bibliometric, Reinforced Concrete, Portico, CCCSR-84, NSR-98, NSR-10, Design, Construction, Structure.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 167	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 17	CD-ROM:

Análisis comparativo sobre los diferentes reglamentos colombianos en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado con sistema estructural tipo pórtico

Autor

Carlos Josué Navarro Barrera

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Director Dr. Ricardo Andrés León García

Codirector Esp. Jesús David Márquez Montejo

Ocaña Febrero, 2024

Índice

Capítulo 1. Realizar un análisis comparativo de los diferentes reglamentos colombianos considerando los títulos más relevantes en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado con sistema estructural tipo pórtico con la finalidad de establecer las diferencias entre versiones..... 13
1.1. Antecedentes 13
1.1.1. Antecedentes a nivel internacional 13
1.1.2. Antecedentes Nacionales 16
1.2. Análisis comparativo de los diferentes reglamentos colombianos en el Titulo A..... 20
1.2.1. Procedimiento de Diseño y Construcción de Edificaciones de Acuerdo con el Reglamento 20
1.2.1.1. Estudios Geotécnicos 20
1.2.1.2. Diseño arquitectónico 21
1.2.1.3. Diseño Estructural 22
1.2.1.4. Diseño de la Cimentación 26
1.2.1.5. Revisión de los diseños 27
1.2.1.6. Construcción 27
1.2.1.7. Supervisión Técnica 28
1.2.2. Zonas De Amenazas Sísmicas Y Movimientos De Diseño 29
1.2.2.1. Movimientos Sísmicos de Diseño. 29
1.2.2.2. Zonas de Amenaza Sísmica. 30
1.2.2.3. Efectos locales 31
1.2.2.4. Coeficiente de Importancia 33
1.2.2.5. Espectro de Diseño 35
1.2.3. Requisitos Generales de Diseño Sismo Resistente 36
1.2.3.1. Sistemas Estructurales. 36
1.2.3.2. Configuración estructural de la edificación. 40
1.2.3.3. Métodos de análisis. 45
1.2.3.4. Efectos sísmicos en los elementos estructurales. 47
1.2.3.5. Fuerzas sísmicas de diseño de los elementos estructurales. 51
1.2.3.6. Estructuras aisladas sísmicamente en su base. 52
1.2.3.7. Uso de elementos disipadores de energía. 52
1.2.4. Requisitos de la deriva 53
1.2.4.1. Cálculo de desplazamiento horizontal 53
1.2.4.2. Evaluación de la deriva máxima 54
1.2.4.3. Límites de la deriva 55
1.2.4.4. Separación entre estructuras adyacentes por consideraciones sísmicas dentro de la misma construcción 56
1.2.5. Interacción Suelo- Estructura 58
1.3. Análisis Comparativo en el Titulo C. Concreto Estructural 59
1.3.1. Materiales 59
1.3.1.1. Ensayo de Materiales 59
1.3.1.2. Materiales Cementados 60
1.3.1.3. Agregados 61
Agua 62
1.3.1.4. Acero de Refuerzo 63

1.3.1.5. Aditivos 68
1.3.2. Calidad del Concreto, Mezclado y Colocación 68
1.3.2.1. Dosificación del concreto 68
1.3.2.2. Dosificación basada en la experiencia en obra o en mezclas de prueba o ambas.... 70
1.3.2.3. Dosificación cuando no se cuenta con experiencia en obra o mezclas de pruebas . 72
1.3.2.4. Reducción de la resistencia promedio 72
1.3.2.5. Preparación del equipo 73
1.3.2.6. Mezclado 73
1.3.2.7. Curado 73
1.3.3. Cimbras y encofrados, embebidos y juntas de construcción 75
1.3.3.1. Diseño de cimbras y encofrados 75
1.3.3.2. Embebidos en el concreto 76
1.3.3.3. Juntas de construcción 77
1.3.4. Detalles de refuerzos 78
1.3.4.1. Gancho estándar 78
1.3.4.2. Diámetro mínimo de doblado 79
1.3.4.3. Condiciones para el doblamiento 80
1.3.4.4. Condiciones de la superficie del refuerzo 80
1.3.4.5. Colocación del Refuerzo 80
1.3.4.6. Protección de concreto para el refuerzo (Recubrimiento del Refuerzo) 83
1.3.4.7. Detalles especiales del refuerzo para columnas 85
1.3.4.8. Detalles especiales en los Nudos (Conexiones) 86
1.3.4.9. Refuerzo transversal para elementos a compresión 86
1.3.4.10. Refuerzo transversal para elementos a flexión 87
1.3.4.11. Refuerzos de tracción y temperatura 88
1.3.5. Análisis y diseño - consideraciones generales 90
1.3.5.1. Métodos de diseño 90
1.3.5.2. Cargas 90
1.3.5.3. Métodos de análisis 91
1.3.5.4. Redistribución de momentos en elementos continuos sometidos a flexión 92
1.3.5.5. Módulo de elasticidad 92
1.3.5.6. Concreto liviano 94
1.3.5.7. Rigidez 95
1.3.5.8. Columnas 96
1.3.5.9. Disposición de la carga viva 96
1.3.5.10. Sistemas de vigas T 97
1.3.6. Requisitos De Resistencia Y Funcionamiento 98
1.3.6.1. Resistencia requerida 98
1.3.6.2. Resistencia de diseño 100
1.3.6.3. Resistencia de diseño para el refuerzo 101
1.3.6.4. Control de deflexiones 102
1.3.7. Flexión y carga axiales 105
1.3.7.1. Distancia entre los apoyos laterales de elementos sometidos a flexión 105
1.3.7.2. Distribución del refuerzo de flexión en vigas y losas en una dirección 106
1.3.7.3. Vigas de gran altura 108
1.3.7.4. Dimensiones de diseño para elementos a compresión (columnas) 108
1.3.7.5. Límites del refuerzo de elementos a compresión (Columnas) 109

1.3.7.6. Transmisión de carga de columnas a través de losas de entrepiso 110
1.3.8. Cortante y Torsión 111
1.3.8.1. Resistencia al Cortante 111
1.3.8.2. Resistencia al cortante proporcionado por el concreto 112
1.3.9. Requisitos de Diseño Sismo Resistente con Capacidad de Disipación de Energía Especial (DES), ... 115
1.3.9.1. Resistencia al concreto 115
1.3.9.2. Vigas de Pórticos 115
1.3.9.3. Columnas en Pórticos 118
1.3.9.4. Nudos de Pórticos 120
1.3.10. Requisitos de Diseño Sismo Resistente con Capacidad de Disipación de Energía Moderada (DMO), ... 121
1.3.10.1. Vigas 121
1.3.10.2. Columnas 122
Capítulo 2. Desarrollar un análisis bibliométrico teniendo cuenta la base de datos Scopus para obtener gráficos y tablas relacionadas con la aplicación de los diferentes reglamentos colombianos en la construcción. 125
2.1. Resultados generales del análisis bibliométrico 128
2.2. Recolección 129
2.3. Análisis de resultados obtenidos del BA. 129
2.4. Resumen de las publicaciones. 131
2.5. Evolución del uso de las palabras clave a lo largo de los años 132
2.6. Importancia de las revistas 137
2.7. Autores relevantes 138
2.8 Instituciones más importantes 143
Capítulo 3. Establecer las tendencias actuales sobre las tendencias analizadas teniendo en cuanta gráficas y tablas usando el software R-studio y VOSviewer con la finalidad de evidenciar los autores, revistas y países más importantes a nivel mundial como también los principales cambios normativos entre los diferentes reglamentos colombianos 146
3.1. Tendencia de palabras claves 146
3.2. Colaboración entre Países 147
3.3. Correlaciones entre (instituciones, autores y países) y (palabras clave, autores y revistas). 149
Conclusiones 153
Recomendaciones 156
Referencias 157
Apendices 162

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de Aa y Av de las diferentes zonas de amenazas sísmicas según los diferentes reglamentos 29
Tabla 2. Clasificación de tipos de suelo según la NSR-10 32
Tabla 3. Coeficiente de importancia según los reglamentos 35
Tabla 4. Límite de altura máxima y uso permitido en las diferentes zonas de amenazas sísmicas para pórticos según los reglamentos 38
Tabla 5. Configuración de irregularidad en planta respecto a su ecuación y factor de acuerdo a cada reglamento. 42
Tabla 6. Configuración de irregularidad en altura respecto a su ecuación y factor de acuerdo a cada reglamento 43
Tabla 7. Combinaciones básicas de carga respecto a cada reglamento 47
Tabla 8. Deriva máxima como porcentaje de altura de piso según la NSR-10. 55
Tabla 9. Separación entre edificaciones respecto a la altura 57
Tabla 10. Normas a cumplir los materiales cementados bajo los diferentes reglamentos con sus observaciones 60
Tabla 11. Tamaño máximo nominal según los diferentes reglamentos. 62
Tabla 12. Tabla establecida por la NSR-10 para las dimensiones nominales de barras de refuerzo basados en milímetros y octavos de pulgadas 64
Tabla 13. requisitos de mandril y doblez para todo tipo de barra 65
Tabla 14. Resistencia promedio a la compresión requeridas cuando se dispone de datos para establecer una desviación estándar según los reglamentos 71
Tabla 16. *Resistencia promedio a la compresión requeridas cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar según los reglamentos.* 71
Tabla 17. Requisitos establecidos por los reglamentos para la colocación del concreto en climas fríos y cálidos 74
Tabla 18. Doblez para estribos y ganchos de estribos 78
Tabla 19. Tabla de diámetro mínimo de doblado según la NSR-10 79
Tabla 20. Tolerancia para (d) y recubrimiento especificado del concreto según los reglamentos 81
Tabla 21. Límites de espaciamiento del refuerzo según los reglamentos y cambios que tuvieron 82
Tabla 22. Recubrimiento del concreto según el refuerzo dado por los diferentes reglamentos 84
Tabla 23. Cuantía de refuerzo de retracción y temperatura según los diferentes reglamentos. 89
Tabla 24. Módulo de elasticidad según los diferentes reglamentos 93
Tabla 25. Factor de modificación para el concreto liviano 94
Tabla 26. Combinaciones de carga respecto a los diferentes reglamentos. 99
Tabla 27. Altura o espesor mínimo de vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección en comparación con los diferentes reglamentos. 103
Tabla 28. Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no pre-esforzados según cada reglamento 113
Tabla 29. Cambios sufridos en las ecuaciones para el área de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados. 119

Tabla 30. Ecuaciones para cálculo de área de los estribos rectangulares según los diferentes reglamentos 124
Tabla 31. Resultados globales del Analisis bibliometrico 130
Tabla 32. 15 Palabras claves más comunes utilizadas en las publicaciones. 133
Tabla 33. Las 20 revistas más influyentes considerando el análisis 137
Tabla 34. artículos globales más citados 140
Tabla 35. Impacto de los autores analizados 142

Lista de figuras

Figura 1. Mapa mental de los capítulos y secciones analizadas de cada título para el análisis comparativo. 12
Figura 2. Relación entre separación y altura de edificaciones vecinas 58
Figura 3. Diagrama de flujo implementado por la NSR-10 para selección y documentación de la dosificación del concreto 69
Figura 4. Variación de la resistencia en relación con la deformación unitaria neta de tracción en el acero. 101
Figura 5. Metodología para realizar el análisis bibliométrico. 127
Figura 6. Pasos clave para el desarrollo de BA. 128
Figura 7. Cantidad de artículos publicados a lo largo de los Años 132
Figura 8. Interacciones entre las palabras claves plus 134
Figura 9. Dendrograma de palabras claves 135
Figura 10. tendencia de palabras claves 136
Figura 11. Impacto de los autores principales por número de artículos y total de citaciones 139
Figura 12. Las 20 Instituciones más importantes 144
Figura 13. Países más citados 145
Figura 14. Crecimiento de las palabras claves a través de los años 147
Figura 15. colaboración entre países 149
Figura 16. Correlación entre autores, instituciones y países 151
Figura 17. Correlación entre palabra clave, autores y revistas. 152

Lista de símbolos y abreviatura

Aa: Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva.
Ach: Área de la sección transversal de un elemento estructural.
Ag: Área bruta de la sección del concreto.
Ast: Área total de refuerzo longitudinal no pre-esforzado.
As.min: Área mínima de refuerzo de flexión.
Av: Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva.
b: ancho de la cara en compresión del elemento.
bw: Ancho del alma, espesor del muro o diámetro de la sección circular (mm).
CCCSR-84: Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 1984.
Cc: Recubrimiento libre del refuerzo
D: Carga Muerta.
d: Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide de refuerzo longitudinal en tracción.
E: Fuerza sísmica reducida de diseño.
Ec: Modulo de elasticidad del concreto (MPa).
Es: Modulo de elasticidad del refuerzo y del acero estructural.
Fy: Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo
Fyt: resistencia especificada a la fluencia fy del refuerzo transversal
Fs: Fuerza sísmica
f'c: Resistencia especifica a la compresión del concreto
fr: Módulo de ruptura del concreto
f'cr: Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto, empleada como la base para la dosificación del concreto.
G: Carga debida al granizo, sin tener en cuenta el empozamiento.
H: Carga debido al empuje lateral del suelo, del agua en el suelo u otros materiales.
h: Espesor total o altura de un elemento.
L: Carga viva o momentos y fuerzas internas correspondientes.
Lr: Carga viva de cubierta.
Le: Carga por empozamiento de agua.
NSR-98: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.
NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
Ss: Desviación estándar de la muestra.
R: Coeficiente de capacidad de disipación de energía.
T: Fuerza y efecto causado por efectos acumulados de variación de temperatura, retracción de fraguado, flujo plástico, cambios de humedad, asentamiento diferencial o combinación de varios de estos efectos
Vc: resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.
Vn: esfuerzo resistente nominal de cortante.
Vs: Resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo a cortante.
Vu: Fuerza cortante mayorada en la sección.
Vx: Fuerza cortante sísmica en el nivel x.
W: Carga por viento.
Wc: Densidad (peso unitario) del concreto de peso normal o densidad de equilibrio de concreto liviano

δmax: Desplazamiento horizontal máximo
δprom: Promedio de los desplazamientos horizontales en puntos extremos de la estructura
δtot.j: desplazamiento horizontal del centro de masa en la dirección bajo estudio.
δt,j: desplazamiento adicional causado por los efectos torsionales en la dirección bajo estudio cuando el diafragma sea rígido, "j".
δd,j: Desplazamiento adicional causado por el efecto P-Delta en la dirección bajo estudio, "j".
Ωo: Coeficiente de sobre resistencia
Δmax:
ρ: Cuantía de refuerzo evaluada en el área (bd)
ϕ: Factor de reducción de resistencia
ϕr: Factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica,

Introducción

La industria de la construcción es el área fundamental en el desarrollo de cualquier país, y la aplicación de los reglamentos adecuados juegan un papel importante para garantizar la seguridad y eficiencia de las edificaciones, por lo tanto, el presente informe se enfoca en dos aspectos fundamentales, la cuales son: un análisis comparativo de los diferentes reglamentos colombianos orientado en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado con estructuras tipo pórtico y un análisis bibliométrico (BA) utilizando la base de datos Scopus para evidenciar la aplicación de estos reglamentos en las investigaciones publicadas en esta base de datos de relevancia internacional.

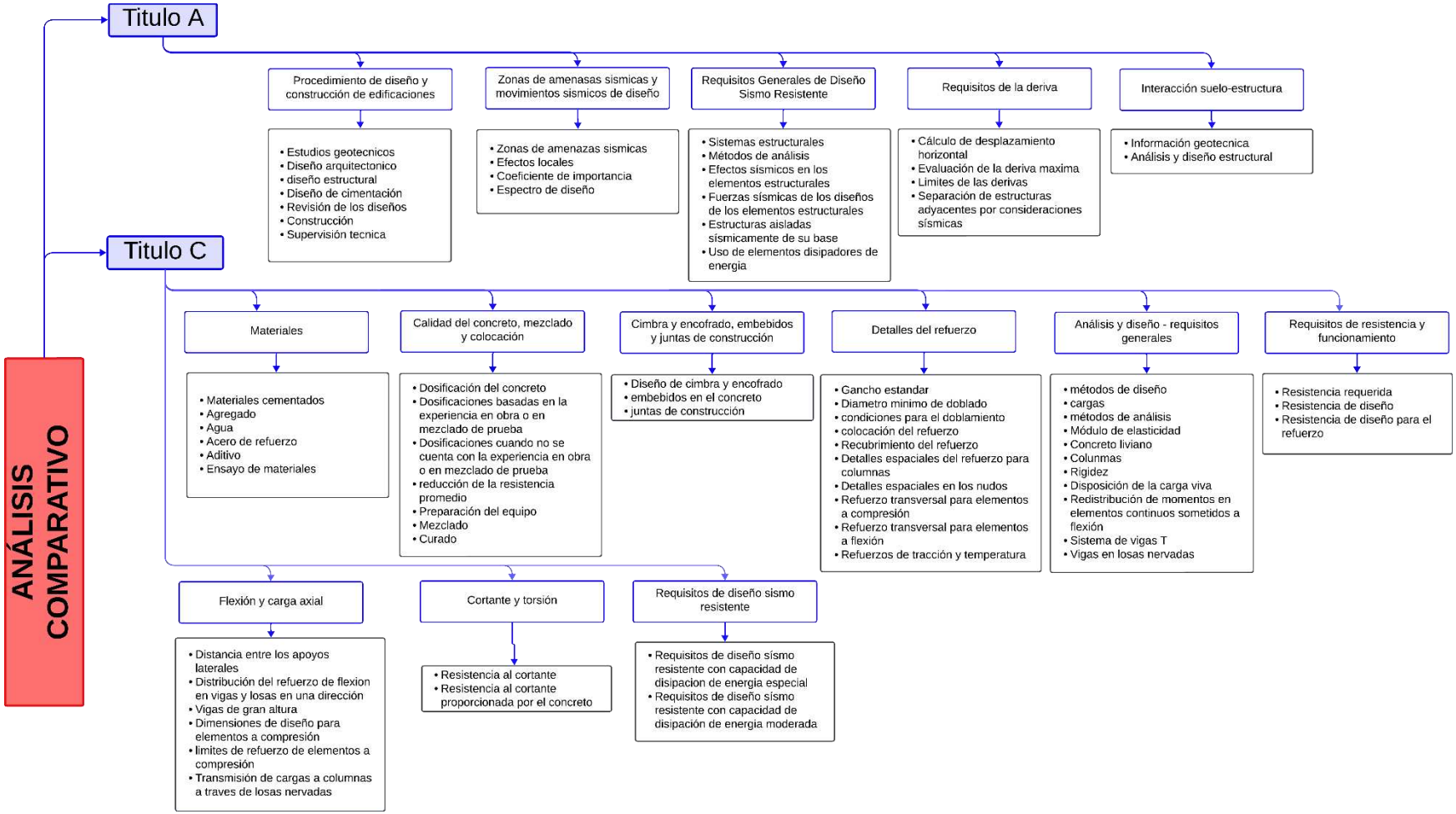
En el primer capítulo se explora la evolución normativa en Colombia, realizando una comparación a fondo de las diferencias entre las distintas versiones de los reglamentos sismo resistentes que impactan directamente en el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado en construcción tipo pórtico, con la finalidad de evaluar temas relacionado al concreto, concreto estructural, acero, vigas, columnas y cimentaciones, con el objetivo de identificar cambios significativos, mejoras en estándares de seguridad y áreas donde la normativa ha convergido o divergido a lo largo del tiempo. Para este proceso, se realizó una tabla que estaba dividida en 3 Columnas que hace parte de los anexos del trabajo, con la finalidad de evaluar y comparar los diferentes reglamentos de una manera precisa y objetivo, describiendo cada uno de los títulos y sus secciones con respecto a cada reglamento y pueda ser detallada de forma adecuada, a su vez, se realizó un mapa de palabras relacionadas con las norma, que describe los títulos y algunas de su secciones con la finalidad de brindar una breve descripción de los temas analizados y comprados en este capítulo de la monografía..

Los siguientes capítulos de este informe de monografía, se profundiza en el ámbito académico a través de un análisis bibliométrico haciendo uso de la base de Scopus, con la finalidad de identificar las tendencias de investigación en función de las palabras clave, la red académica de autores y colaboraciones, la frecuencia de citas de los reglamentos y otras métricas que revelan la influencia y aplicabilidad de estos reglamentos en el ámbito científico a nivel nacional e internacional.

Finalmente, en conjunto este informe de monografía busca proporcionar una compresión integral de la interacción entre las normativas colombianas y la construcción tanto desde una perspectiva practica como académica con el objetivo de ofrecer información valiosa para profesionales del sector, investigadores y tomadores de decisión en el ámbito normativo y constructivo.

Figura 1.

Mapa mental de los capítulos y secciones analizadas de cada título para el análisis comparativo.



Capítulo 1. Realizar un análisis comparativo de los diferentes reglamentos colombianos considerando los títulos más relevantes en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado con sistema estructural tipo pórtico con la finalidad de establecer las diferencias entre versiones.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes a nivel internacional

En el trabajo de investigación desarrollado por Amariles López et al., (2022) se compararon las normativas colombianas NSR-10 y el reglamento ACI 318-19 en el diseño estructural de pórticos de concreto en zonas de amenaza sísmica alta. Además, los autores realizan una comparación detallada de los capítulos y requisitos de las normativas NSR-10 y ACI 318-19. Por otra parte, desarrollaron un cuadro comparativo que ilustra la disposición y orden de las secciones de cada reglamento, detallando las diferencias encontradas en la confrontación de cada uno de los requisitos sismorresistentes .Asimismo, se realizaron análisis comparativos de diseño estructural, donde se evaluaron los cambios en la cantidad de refuerzo y volumen de concreto requeridos por cada código.

Diseñaron estructuras de tipo pórtico utilizando las especificaciones de ambas normativas y se compararon las cantidades de acero estructural y concreto obtenidas, asimismo, realizó un análisis de costos para determinar el impacto económico de aplicar las especificaciones del ACI 318-19 utilizando las bases de datos del Invías para calcular el costo de los materiales para cada alternativa determinando que el aumento del 3.3% en los

costos con el uso de los requerimientos del ACI 318-19 no era significativo, considerando el aumento de capacidad y ductilidad que se proporcionaría al sistema estructural de tal manera, lo realizaron con el objetivo de comparar las normativas colombianas NSR-10 y el reglamento ACI 318-19 en el diseño estructural de pórticos de concreto en zonas de amenaza sísmica alta.

Por otra parte, es importante mencionar que son pocos los trabajos en los cuales se haya analizado los principales factores o especificaciones establecidos por la NSR10 a nivel internacional debido a que es una adaptación de diferentes normas internacionales.

El estudio realizado por Criado-Rodríguez et al., (2020) tuvo como objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas en el barrio Cristo Rey, ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Para ello, se utilizó la metodología de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (FEMA) P-154. El estudio realizado por los autores buscaba analizar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en una zona caracterizada por la falta de planificación urbana y la ausencia de estudios más completos, como la microzonificación sísmica. Además, uno de los principales hallazgos fue la alta vulnerabilidad sísmica de las construcciones en el barrio Cristo Rey. Se identificó que la mayoría de las viviendas eran altamente vulnerables a eventos sísmicos, especialmente aquellas construidas antes de la implementación de códigos de construcción sismo-resistente en Colombia. Esto sugiere que muchas edificaciones no estaban diseñadas ni construidas para resistir adecuadamente la acción de un sismo, aumentando así el riesgo de daños estructurales y colapsos en caso de un evento sísmico, considerando lo anterior, los autores encontraron diversas patologías en las construcciones, como irregularidades en

planta, vertical y planta-vertical, así como riesgo geológico al desplazamiento, estos factores contribuyeron a aumentar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en el barrio Cristo Rey, destacando la necesidad de implementar medidas de mejoramiento y reforzamiento estructural para reducir el riesgo sísmico en la zona.

La metodología FEMA P-154 permitió identificar los niveles de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de manera rápida y eficiente. Esta metodología proporciona una herramienta útil para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en áreas propensas a sismos, sin necesidad de realizar cálculos de análisis estructural detallado.

Esta investigación realizada por Alvarado Perez et al., (2015) se llevó a cabo con el fin de evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones típicas del asentamiento subnormal Barrio Hacienda Los Molinos en Bogotá, con el objetivo de reconocer las viviendas típicas del sitio y determinar su vulnerabilidad sísmica estructural.

Para llevar a cabo esta investigación, realizaron un análisis de vulnerabilidad sísmica estructural del asentamiento subnormal en el Barrio Hacienda Los Molinos en Bogotá. Llevando a cabo visitas de campo para reconocer las viviendas típicas del sitio y se determinando su vulnerabilidad sísmica estructural, utilizaron criterios de calificación para determinar la vulnerabilidad sísmica de la muestra y evaluaron las variables observadas en campo.

Los resultados de la investigación demostraron que las edificaciones típicas del asentamiento subnormal Barrio Hacienda Los Molinos en Bogotá presentan una alta

vulnerabilidad sísmica estructural. Se identificaron los componentes de la estructura de las viviendas tipo que presentan alta vulnerabilidad ante las solicitaciones de un sismo, prescrito en la norma sismo resistente de Colombia NSR-10. Además, pudieron evidenciar físicamente fallas de tipo constructivo de la estructura principal y se identificaron lotes en construcción donde el ingreso económico presuntamente es más bajo debido a las condiciones de habitabilidad.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

En el trabajo de investigación realizado Mastrodoménico Ahumada et al., (2013) realizaron un análisis comparativo del diseño de una edificación de 5 niveles según las normas colombianas de sismo resistencia NSR-98 y NSR-10 en zona de amenaza sísmica intermedia. El objetivo principal de la investigación fue entender las diferencias entre las normas colombianas de sismo resistencia NSR-98 y NSR-10 y su aplicación en la práctica, a través del análisis comparativo del diseño de una edificación de 5 niveles en zona de amenaza sísmica intermedia. Por lo tanto, fue necesario llevar a cabo simulaciones de los diseños de la edificación según cada norma y se compararon los resultados. Finalmente, en las conclusiones los autores afirman que la NSR-10 es más estricta que la NSR-98 en cuanto a las estructuras que de alguna manera están en riesgo sísmico, lo que implica un mayor costo en la construcción de edificaciones. Además, se concluye que la aplicación de la NSR-10 en la práctica requiere de una mayor capacitación y actualización de los ingenieros y profesionales del sector de la construcción.

En la tesis desarrollada por Díaz portilla & Aranda Nieves, (2017), se realizó una comparación técnica entre la primera versión del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-98 y la versión de la NSR-10, con el objetivo de identificar los cambios más significativos que ha sufrido el Reglamento Colombiano en temas relacionados a los procesos constructivos y cómo afecta en términos de costos a las industrias de la construcción en Colombia. la investigación fue principalmente enfocada en la parte investigativa sin involucrar temas relacionados a los riesgos y seguridad social dentro de una obra, ni se analizó a fondo las tarifas de arrendamiento para equipos de construcción

La metodología no proporciona detalles específicos sobre el desarrollo de la comparación técnica entre la NSR-98 y la NSR-10. Sin embargo, se menciona que un análisis de cada versión del reglamento para identificar las medidas y normas técnicas que fueron adicionadas y/o actualizadas en la nueva versión. Luego, los autores llevaron a cabo una comparación de las dos versiones para determinar qué medidas o normas fueron incluidas en la versión actual que afectan o favorecen en términos de costos y tiempos a la industria de la construcción. Además, se analizó un grupo determinado de edificaciones con el propósito de hallar las diferencias entre los procesos y diseños constructivos de cada versión.

En el caso de la comparación técnica de las dos edificaciones que se desarrollaron bajo los parámetros de la norma sismo resistente NSR–98 y la NSR–10 respectivamente, se puede concluir varios aspectos que se encontraron al realizar este trabajo de investigación. En el primer caso se observa que el desarrollo constructivo se cumplió a cabalidad sin

saltarse ningún requisito descrito en la norma con la que se desarrolló cada construcción. Como segunda observación en medio de la investigación que los parámetros que se cambian de una construcción a la otra (siendo estas de características similares) se puede concluir que los cambios que sufrió la NSR–98 han provocado un incremento desde el punto de vista económico, ya que, con la adición de nuevos factores, a la hora de calcular cambia la resistencia necesaria para que la construcción soporte un sismo, por tanto se modifica las dimensiones de las vigas, la cantidad de acero y el diámetro de las varillas. En tercer lugar, la NSR–10 presenta de una manera mucho más clara

La realización de esta tesis se llevó a cabo a través de los siguientes pasos:

Se realizaron dos diseños: Diseño No.1, que siguió las normas NSR 98 y NSR 10 y aplicó sus respectivos espectros de diseño, y Diseño No.2, que también siguió las normas NSR 98 y NSR 10 pero incorporó microzonificación sísmica en Pereira Zona 3.

La aplicación de la norma NSR 10 resultó en un aumento significativo en la cantidad de material y costos estructurales debido a los mayores requisitos de la norma actual. El objetivo del estudio fue estimar la variación en el incremento de costos al utilizar el sistema pórtico en Pereira.

El diseño obtenido se modeló utilizando el software de diseño Etabs, el cual fue elegido por su uso común, licenciamiento y familiaridad en la Universidad Libre seccional Pereira.

El proceso de diseño implicó aplicar los movimientos sísmicos prescritos en la norma a un modelo matemático de la estructura.

Se permitió el uso de estructuras de aislamiento sísmico en la base, siempre que se cumplieran plenamente todos los requisitos de la Edición NEHRP 2003 o de las Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras.

Según la metodología el análisis estructural teórico y técnico realizado por Cortes Polo, (2020) se puede aplicar en la práctica a través de diferentes métodos de cálculo y análisis estructural, incluyendo herramientas de cálculo estructural asistidas por software. Estas herramientas permiten no solo calcular, sino también diseñar y cuantificar todas las iteraciones o elementos que incluye un proyecto de ingeniería civil. ellos mencionan que los diseñadores estructurales o calculistas cuentan con herramientas tecnológicas que ejecutan procesos de análisis y cálculo con mayor facilidad y rendimiento, y que la mayoría de los programas de diseño y cálculo ejecutan su análisis por el método de los elementos finitos. Sin embargo, solo el criterio profesional y la interpretación de los resultados son los que determinan si el proyecto de análisis debe incluir el tercer y último paso.

Además, proporcionan varias recomendaciones a lo largo de su contenido. Algunas de estas recomendaciones incluyen que los conceptos a emplear como criterios de diseño deben ser la herramienta principal del diseñador o calculista y se deben plantear guías o procedimientos de diseño que se adapten a todas las condiciones que solicitan el tipo de material y sistema estructural que se piense emplear en cualquier proyecto, se pueden seleccionar otros valores diferentes a los coeficientes de sitio especificados en la NRS-10,

siempre y cuando cumplan con las condiciones dictadas por la norma y el diseño final debe modelarse para la combinación que produzca el efecto más desfavorable en la edificación, en su cimentación, o en el elemento estructural bajo consideración

La guía de análisis estructural que se describe en el documento se divide en cinco procesos y proporciona un resumen básico de los capítulos A y B de la NSR-10. Estos procesos incluyen la definición de los aspectos básicos, teóricos y técnicos, las conclusiones y recomendaciones, y una guía de análisis estructural formada a través de los criterios interpretados por el autor. Además, se proporciona una definición clave de los aspectos más importantes a cumplir, como la estabilidad, la resistencia y la rigidez. La guía también incluye información sobre los diferentes métodos de cálculo y análisis estructural, así como las posibles herramientas de cálculo estructural asistidas por software que se pueden utilizar para calcular, diseñar y cuantificar todas las iteraciones o elementos que incluye un proyecto de ingeniería civil.

1.2. Análisis comparativo de los diferentes reglamentos colombianos en el Titulo A

1.2.1. Procedimiento de Diseño y Construcción de Edificaciones de Acuerdo con el Reglamento

1.2.1.1. Estudios Geotécnicos. Bajo el marco del Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) se establece la necesidad de llevar a cabo un estudio geotécnico para las construcciones. Este estudio implica la exploración del subsuelo en la ubicación prevista para la construcción, considerando también sus alrededores. El alcance de la

exploración y el programa de ensayos de laboratorio se detallan en el Título H, que se refiere a los estudios geotécnicos.

Comparando con la NSR-98, se observa que el acuerdo de la ley 400 de 1997, se establece un estudio previo de suelos como requisito para la construcción. En contraste, el CCCSR-84 no consideraba este estudio como obligatorio para llevar a cabo una construcción. Para obtener información detallada sobre este estudio, es necesario analizar el Título H del reglamento de la NSR-10.

1.2.1.2. Diseño arquitectónico. En el Código Colombiano de Construcción Sismo-Resistente MOP, (1984) no se establecían requisitos generales para el diseño arquitectónico. Sin embargo, a partir de la NSR-98 en concordancia con la ley 400 de 1997, se establecen condiciones más específicas. Se dispone que los requisitos generales para cualquier proyecto arquitectónico deben cumplir con la reglamentación urbana en vigor, así como los requisitos especificados en el Título J y en el Título K de la NSR-10.

Adicionalmente, se requiere que el proyecto arquitectónico indique, según estos reglamentos, los usos específicos de cada parte de la edificación y su clasificación dentro de los grupos de uso definidos en el Capítulo A.2, el cual es analizado posteriormente. Se establece también que el proyecto arquitectónico debe llevar la firma de un arquitecto con matrícula profesional vigente.

1.2.1.3. Diseño Estructural. A partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) que surgió con la creación de la ley 400 de 1997, se establece que el diseño estructural debe ser realizado por un ingeniero civil, este ingeniero tiene la responsabilidad de diseñar la construcción de manera que tenga resistencia y rigidez adecuada frente a las cargas mínimas de diseño.

Con la implementación de la NSR-10, se introdujeron etapas específicas que deben llevarse a cabo en el diseño de estructuras de edificaciones existentes. Asimismo, se observa que el procedimiento para el diseño estructural de edificaciones nuevas experimentó cambios. Mientras que MOP, (1984) requería 9 pasos en el procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas, la NSR-98 introdujo algunos cambios, resultando en un total de 12 pasos en el procedimiento de diseño estructural.

Paso 1. Para el CCCSR-84 Solo se habla de las localizaciones de lugares donde se construirá la edificación dentro de los mapas de zonificación sísmica (zonas de riesgo sísmico y espectro de diseño) mientras que para la NSR-98 y NSR-10 habla del predimensionamiento como la definición del sistema estructural, dimensiones tentativas para la evaluación preliminar de las diferentes solicitaciones tales como: masa de la estructura, cargas muertas, cargas vivas, efectos sísmicos fuerzas de viento.

Paso 2. A partir de la NSR-98, se implementó este paso con el objetivo de proporcionar una organización más estructurada y una clasificación mejorada en la evaluación de las solicitaciones definidas. En este paso, se consideran las dimensiones de los elementos de la estructura, las cuales son resultado del **paso 1** del diseño estructural.

Durante esta etapa, se lleva a cabo la evaluación de todas las solicitaciones que puedan afectar la edificación, cumpliendo con los requisitos establecidos en el título B de la normativa.

Paso 3. Este paso se da desde el CCCSR-84 en la cual se determina el nivel de amenaza sísmica del lugar donde se construirá la edificación dentro de los diferentes mapas de zonificación sísmica de acuerdo con los valores de aceleración pico efectiva “Aa” y velocidad pico efectiva “Av” en el caso de la NSR-98 solo se evaluaba bajo el parámetro de la aceleración pico efectiva “Aa”, estos niveles se clasifican como alto, intermedio o bajo.

Paso 4. A partir de la implementación del CCCSR-84 este paso consistía en la determinación sola mente del espectro de diseño, a partir de la creación de la NSR-98 este paso no solo se centró en la determinación del espectro de diseño, implementando más factores, que al comparar con la NSR-10 estos sufrieron algunos cambios

Espectro de Diseño: NSR-98 Utiliza un espectro de diseño basado solamente en la aceleración del diseño, a partir de la NSR-10 se empleó la evaluación del espectro bajo el espectro de desplazamiento y velocidad.

Características del Suelo Subyacente: Para la NSR-98 se emplea un coeficiente que se evaluaba bajo el parámetro de “S” para representar la estratificación del suelo. A partir de la implementación de la NSR-10 se introduce dos coeficientes, Fv y Fy, que reflejan la variabilidad del suelo y permiten un análisis más detallado de las diferentes condiciones del subsuelo.

Importancia de la Edificación: Los diferentes reglamentos implementan el coeficiente de importancia (I), que refleja la relevancia de la estructura en la recuperación de la comunidad después de un evento sísmico. Este coeficiente influye en la fuerza sísmica a la que se diseñará la estructura.

Descripción de los Movimientos Sísmicos: Los diferentes reglamentos permiten varias formas de describir el sismo de diseño, ya sea mediante familias de acelerogramas o mediante expresiones derivadas de estudios de microzonificación sísmica. La elección entre estas opciones depende de la disponibilidad de datos y la precisión requerida en el análisis.

Estas modificaciones buscan mejorar la capacidad de los reglamentos para reflejar de manera más precisa las condiciones sísmicas locales y proporcionar un diseño más robusto y seguro de las estructuras. La evolución en la comprensión de los fenómenos sísmicos y la mejora en las capacidades de análisis han contribuido a estos ajustes en las normativas.

Paso 5. Este paso no es de manera especifico en el reglamento del CCCSR-84 por lo cual la En la NSR-98, aborda la clasificación de sistemas estructurales para resistencia sísmica como un paso importante en el diseño de estructura, manteniéndose de igual manera para la NSR-10. Este capítulo proporciona pautas específicas para clasificar las edificaciones en diferentes sistemas estructurales, Estos sistemas tienen comportamientos sísmicos particulares y se seleccionan según la tipología y la complejidad de la estructura.

Paso 6. Definición del procedimiento de análisis sísmico de la estructura de acuerdo con la regularidad o irregularidad de la configuración de la edificación, estas definiciones se mantuvieron desde el CCCSR-84 y se describe de manera detallada en Capítulo A.3 de la NSR-10

Paso 7. Para la NSR-98 y NSR-10 se obtiene la fuerza sísmica (Fs) que debe aplicarse a la estructura por la cuela deben usarse los movimientos sísmicos de diseño que se definen en el paso de los movimientos sísmicos de diseño además de eso para CCCSR-84 se habla de manera específica el uso de valor del coeficiente de modificación de respuesta (R) en función del sistema estructural del edificio y los requisitos de diseño de despiece lo cual, a partir de la NSR98 esto se trabaja de manera específica en el paso 4.

Paso 8. Con la implementación del reglamento del CCCSR-84 se estableció que el análisis sísmico de la estructura se efectúa al aplicar los movimientos sísmicos de diseño a un modelo matemático apropiado de la estructura, conforme a la definición en el Capítulo A.3 según los distintos reglamentos. Este análisis se lleva a cabo considerando los movimientos sísmicos de diseño sin dividirlos por el coeficiente de capacidad de disipación de energía.

Paso 9. En este paso busca evaluar los desplazamientos horizontales, utilizando los procedimientos y con base en los desplazamientos obtenidos en el paso 8 incluyendo los efectos torsionales de toda la estructura, y las derivas estableciéndose desde el reglamento del CCCSR-84.

Paso 10. Con la implementación del CCCSR-84 se busca la comprobación de que las derivas de diseño obtenidas que no excedan los límites de la deriva. a partir de la NSR-98 Si la estructura excede los límites de deriva, calculada incluyendo los efectos torsionales de toda la estructura, es obligatorio rigidizarla, llevando a cabo nuevamente los pasos 8, 9 y 10, hasta cuando cumpla la comprobación de derivas.

Paso 11. A partir de la NSR-98 se empleó este paso que consiste en las diferentes solicitaciones que deben ser tenidas en cuenta, para obtener las fuerzas internas de diseño de la estructura, de acuerdo con los requisitos para las combinaciones de cargas dada en el capítulo de cargas de cada reglamento.

Paso 12. En los diferentes reglamentos este paso se lleva a cabo de acuerdo con los requisitos propios del sistema de resistencia sísmica y del material estructural utilizado. Los elementos estructurales deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos propios del grado de capacidad de disipación de energía.

1.2.1.4. Diseño de la Cimentación. En el CCCSR-84, no se aborda de manera general en este capítulo los requisitos para los efectos que se presentan en diversas solicitudes, incluyendo los efectos de los movimientos sísmicos de diseño sobre los elementos de cimentación y el suelo de soporte. Sin embargo, en la NSR-98 y la NSR-10, se establecen las siguientes consideraciones para el diseño estructural de la cimentación y para evaluar los esfuerzos en el suelo de cimentación:

Diseño Estructural de la Cimentación: Se emplean los resultados de las combinaciones realizadas en el paso 11 descrito anteriormente en el diseño estructural utilizando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, E,

Esfuerzos en el Suelo de Cimentación: Se obtienen los esfuerzos sobre el suelo de cimentación a partir de las reacciones de la estructura y su cimentación sobre el suelo. Se emplean las combinaciones de carga para el método de esfuerzos de trabajo de la sección B.2.3 del reglamento de la NSR-10

Estos procedimientos garantizan que tanto los elementos de cimentación como el suelo de soporte se diseñen y evalúen de manera adecuada en relación con los efectos de las cargas sísmicas.

1.2.1.5. Revisión de los diseños. A partir de la NSR-98, como lo indica Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998), los planos, memorias y estudios realizados para un proyecto de construcción deben ser sometidos a revisión para la obtención de la licencia de construcción. Esta revisión puede tramitar y expedir las licencias de construcción.

1.2.1.6. Construcción. La ejecución de la edificación se realiza de acuerdo con las especificaciones correspondientes al material utilizado, adaptándose al nivel de capacidad de absorción de energía para el que fue concebido, esto abarca tanto la construcción de la estructura como la incorporación de componentes no estructurales. La supervisión técnica es un requisito obligatorio según lo establecido en Asociación Colombiana de Ingeniería

Sísmica, (1998) lo cual rige el reglamento de la NSR-98 y debe llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos del Título I del reglamento correspondiente.

Durante la ejecución de la construcción, se deben seguir los requerimientos específicos establecidos para cada material estructural, cumpliendo con los procedimientos y directrices definidos por los diseñadores del proyecto. La supervisión de la construcción debe ser realizada por un ingeniero civil, arquitecto o ingeniero mecánico, especialmente en el caso de estructuras metálicas o prefabricadas, según lo dispone la Ley 400 de 1997. Como alternativa, un constructor con formación en arquitectura o ingeniería también puede dirigir la construcción, siempre y cuando esté facultado para este propósito según lo establecido en la Ley 1229 de 2008.

1.2.1.7. Supervisión Técnica. En el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente MOP, (1984), se detallan de manera específica las responsabilidades del supervisor técnico, las cuales incluyen la verificación de la concordancia entre la construcción y los planos, así como las especificaciones del proyecto. Este proceso debe ser registrado de manera escrita.

Por otro lado, según lo establecido a partir deAsociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) la edificación de estructuras o unidades constructivas que excedan los 3000 metros cuadrados de área construida, independientemente de su propósito, requiere la supervisión técnica. Esta supervisión debe llevarse a cabo de acuerdo con las disposiciones establecidas en esta sección y en el Título I de dicho reglamento.

1.2.2. Zonas De Amenazas Sísmicas Y Movimientos De Diseño

1.2.2.1. Movimientos Sísmicos de Diseño. Los movimientos sísmicos de diseño se establecen considerando la aceleración pico efectiva, indicada por el parámetro 'Aa.', y la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro 'Av.' para el caso de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) solo se trabajó con el parámetro de la aceleración pico efectiva. Estos se definen para una probabilidad del diez por ciento de excedencia en un período de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes, conforme a las directrices de este Reglamento, se determinan según lo estipulado a continuación:

Se determina el numero de la región en donde este localizada la edificación usando los parámetros de aceleración y velocidad pico efectiva en el mapa correspondiente, para la NSR-10 se actualizaron estas regiones con respecto a los demás reglamentos y dándole una nueva clasificación a estos según su valor de aceleración y velocidad pico efectiva.
Los valores de Aa y Av se obtienen por medio de la tabla (1),

Tabla 1.

Valores de Aa y Av de las diferentes zonas de amenazas sísmicas según los diferentes reglamentos

Mayor valor	**Zona de Amenaza sísmica**		
entre Aa y Av	**CCCSR-84**	**NSR-98**	**NSR-10**
0.50	--	--	Alto
0.45	--	Alto	Alto
0.40	--	Alto	Alto
0.35	--	Alto	Alto
0.30	Alto	Alto	Alto

0.25	Alto	Alto	Alto
0.20	Intermedio	Intermedio	Intermedio
0.15	Intermedio	Intermedio	Intermedio
0.10	Bajo	Bajo	Bajo
0.50	Bajo	Bajo	Bajo

1.2.2.2. Zonas de Amenaza Sísmica. Las estructuras deben ubicarse en una de las áreas de riesgo sísmico designadas y descritas Mapa de valores como se ve evidenciado en la sección A.2.3 del reglamento de la NSR-10

Zona de Riesgo Sísmico Bajo: El MOP, (1984) establece que el conjunto de lugares en donde la aceleración y la velocidad pico efectiva son menores o iguales que a 0.10 pertenecen a la zona de riesgo sísmico bajo en el caso de la NSR-98 se evaluó solamente bajo el parámetro de la aceleración pico efectiva en todos los casos.

Zona de Riesgo Sísmico Intermedio: Para el CCCSR-84 y la NSR-10 los lugares que se ubican en esta zona de riesgo sísmico deben cumplir con que los parámetros de la aceleración o la velocidad pico efectiva u ambas deben ser mayor que 0.10 y no deben exceder el valor de 0.20.

Zona de Riesgo Sísmico Alto: Para los diferentes reglamentos en donde la aceleración y/o la velocidad pico efectiva el valor es mayor a 0.20 se clasifica en esta zona de amenaza sísmica

1.2.2.3. Efectos locales. En los efectos locales se detallan los diferentes tipos de perfiles de suelo junto con los coeficientes de sitio correspondientes. El perfil de suelo específico debe ser establecido por un ingeniero geotécnico basándose en datos geotécnicos debidamente respaldados y fundamentados.

A partir de la NSR-98, se establece un criterio de estabilidad para el depósito de suelo según los perfiles previamente presentados. No obstante, cuando existe la posibilidad de inestabilidad del depósito, especialmente frente a eventos sísmicos comúnmente asociados a laderas o suelos con potencial de licuefacción, las definiciones estándar no aplican y se requiere realizar un estudio geotécnico detallado que indique claramente las medidas correctivas necesarias y determine el coeficiente del sitio a utilizar en el diseño y construcción de las edificaciones en ese lugar. Es fundamental no proceder con la construcción sin contar con estas medidas y evaluaciones en su lugar.

Tipos de Perfil de Suelo : Los efectos específicos en la estructura debido a la actividad sísmica deben ser evaluados considerando los perfiles de suelo proporcionados a continuación, sin importar el tipo de base sobre la que esté construida la edificación. La identificación del perfil de suelo se lleva a cabo considerando la superficie del terreno como referencia principal.

En la NSR-10 se realizaron cambios dando este como objetivo una nueva clasificación de perfil de suelo en la cual se definen seis tipos empleando un parámetro para la clasificación de estos la cual cambian su denominación con respecto a los reglamentos anteriores.

Definición del Tipo de Perfil de Suelo: Para la NSR-98 se clasifico un perfil de suelo de más a los evaluados en el CCCSR-84 este es el S4 en donde existe un depósito entre la roca y la superficie de más de 12m de arcilla blanda en comparación con el perfil de suelo S3 este para la NSR-98 cambia en que hay más de 20 m de suelo que contiene depósito de estables de arcilla. En el caso de la NSR-10 se presentó un cambio dándole a este una nueva clasificación de suelo en donde se divide en 6 de la A a la F como se especifica en la tabla 2 siendo este último perfil el cual requiere una evaluación explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista, la cual puede generarse en 4 subclases de perfiles de suelo.

Tabla 2.

Clasificación de tipos de suelo según la NSR-10

Tipo de Perfil	**Descripción**	**Definición**
A	Perfil de roca competente	$\overline{V_s} \geq 1500\ m/s$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500m/s > \overline{V_s} \geq 760m/s$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760m/s\ \overline{V_s} \geq 360\ m/s$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\overline{N} \geq 50$ $\overline{S_u} \geq 100\ kPa$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360m/s\ \overline{V_s} \geq 180\ m/s$

E	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \overline{N} \geq 15$ $100\text{kPa} > \overline{S_u} \geq 50\ \text{kPa}$
	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180\text{m/s} \geq \overline{S_u}$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50\ \text{kPa} \geq \overline{S_u}$
F	Los perfiles de suelo tipo F Se contemplan las siguientes subclases: F1 - Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2 - Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3 - Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F4 - Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Nota: Tabla extraída de la sección A.2.4-1 de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010a)

Procedimiento de Clasificación: el procedimiento de clasificación para la definición del perfil de suelo se empleó a partir del reglamento de la NSR-10, dando este como criterios unos pasos para la definición del perfil especialmente para los suelos de tipo F, estos criterios están dados en la sección A.2.4.5 de dicho reglamento.

1.2.2.4. Coeficiente de Importancia. Grupos de Uso: Todas las edificaciones deben ser clasificada dentro de uno de los siguientes grupos para el CCCSR-84 este grupo se clasificaba en tres tipos de grupos. Para la NSR-98 se actualizaron estos grupos dándole

entrada a un nuevo grupo, clasificándose de la siguiente manera Grupo IV: edificaciones indispensables, Grupo III: edificaciones de atención a la comunidad, Grupo II: estructuras de ocupación especial, Grupo I: estructuras de ocupación norma. manteniéndose estos mismos grupos para la NSR-10 en la cual se agregaron especificaciones de manera puntual a cada grupo.

En el grupo III de edificaciones de atención a la comunidad para la NSR-10 se incluye guarderías, colegios, escuelas, universidades y otros centros de enseñanza lo cual en la NSR98 hacia pararte del grupo II de estructuras de ocupaciones especiales. También se incluye aquellas construcciones que hagan parte del grupo II para las que el propietario desee contar con seguridad adicional.

Para el grupo IV de edificaciones especiales de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) se agregó que debe incluirse las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y e del presente numeral.

Coeficiente de Importancia: de acuerdo a la modificación que surgieron para cada uno de estos grupos, a partir de la NSR-10 se establecieron valores mayores para el caso de los grupos de uso III y IV en donde se le da una mayor importancia a este tipo de estructuras, teniendo un cambio extremo en el grupo de uso IV

Tabla 3.

Coeficiente de importancia según los reglamentos

Coeficiente de importancia					
Código colombiano de construcción sismo resistente (CCCSR-84)		**Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente (NSR-98)**		**Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)**	
Grupo	**Coeficiente de importancia (i)**	**Grupo**	**Coeficiente de importancia (i)**	**Grupo**	**Coeficiente de importancia (i)**
III	1.2	IV	1.30	IV	1.5
II	1.1	III	1.20	III	1.25
I	1	II	1.10	II	1.10
		I	1.00	I	1.00

1.2.2.5. ***Espectro de Diseño.*** El espectro de diseño se refiere a una representación gráfica de la aceleración, velocidad o desplazamiento de un suelo o estructura en función del periodo de vibración. Este concepto es fundamental en el diseño sísmico y se utiliza para determinar cómo la estructura responderá a las fuerzas sísmicas.

En el contexto de los reglamentos colombianos, como la NSR-10, el espectro de diseño se utiliza para definir las acciones sísmicas que debe soportar una estructura en una ubicación específica. El espectro refleja la relación entre la respuesta máxima esperada de una estructura y su periodo de vibración.

Espectro de Aceleración: Este concepto se estableció a partir del CCCSR-84 manteniendo sus mismo lineamientos y ecuaciones a tener en cuenta al momento de

diseñar. A partir de la NSR-10 se establecieron nuevos espectros de diseño para velocidad y desplazamiento en acciones sísmicas lo cual deben soportar una estructura según su ubicación como lo describe el reglamento en la Sección A.2.6.

1.2.3. Requisitos Generales de Diseño Sismo Resistente

1.2.3.1. Sistemas Estructurales. Tipos De Sistemas Estructurales: A partir de la NSR-98 se identifican cuatro categorías principales de sistemas estructurales con capacidad de resistencia sísmica, las cuales se describen detalladamente a continuación. Es importante mencionar que cada categoría se subdivide según los tipos de elementos verticales empleados para contrarrestar las fuerzas sísmicas y el nivel de capacidad para disipar la energía del material estructural utilizado, para el CCCSR-84 no se conoce el sistema estructural combinado, siendo así, los demás sistemas estructurales mantienen las mismas especificaciones desde el CCCSR-84. Los sistemas estructurales reconocidos por estos reglamentos son los siguientes: Sistema de muros de carga, Sistema de pórtico, Sistema dual, Sistema combinado

Clasificación de sistema estructural: Para los reglamentos de construcción cualquier edificación o cualquier parte de ella debe clasificarse dentro de uno de los cuatro sistemas estructurales a excepción del CCCSR-84 que para este solo se clasificaban en tres sistemas estructurales

Límites de Altura para los Sistemas estructurales: En la tabla 4 se dan las alturas máximas permitidas para sistema estructural tipo pórtico, medidas en metros a partir de la

base o en número de pisos por encima de la misma, que puede tener cada uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica prescritos, para cada una de las zonas de amenaza sísmica.

A partir de la NSR-98 se establecen estos valores de altura máxima permitida para los diferentes sistemas estructurales, en la cual se evidencia que el reglamento de la NSR-10 incorporo casos más específicos para la evaluación de los sistemas estructurales de tipo pórticos.

Tabla 4.

Límite de altura máxima y uso permitido en las diferentes zonas de amenazas sísmicas para pórticos según los reglamentos

SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICO RESISTENTE A MOMENTOS		ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA											
		ALTA				INTERMEDIA				BAJA			
		NSR-98		NSR-10		NSR-98		NSR-10		NSR-98		NSR-10	
Sistema resistencia sismica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales	Uso permit	altura Max	Uso permit	altura Max	Uso permit	altura Max	Uso permit	altura Max	Uso permit	altura Max	Uso permit	altura Max
1. PORTICOS RESISTENTE A MOMENTOS CON CAPACIDAD ESPECIAL DE DISIPACIÓN DE ENERGIA													
De concreto (DES)		si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite
De acero (DES)		si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite
Mixtos	Portico de acero o mixto resistente o no a momentos	x	x	si	sin limite	x	x	si	sin limite	x	x	si	sin limite
De acero con cerchas ductiles (DES)	Pórticos de acero resistente o no a momentos.	x	x	si	30m	x	x	si	45m	x	x	si	sin limite
2. PORTICOS RESISTENTES A MOMENTOS CON CAPACIDAD MODERADA DE DISIPACIÓN DE ENERGIA (DMO)													
De concreto (DMO)	El mismo	No se permite		No se permite		si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite
De acero (DMO)	El mismo	No se permite		No se permite		si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite	si	sin limite
Mixtos con conexiones rigidas (DMO)	Portico de acero o mixto resistente o no a momentos	x	x	No se permite		x	x	si	sin limite	x	x	si	sin limite
3. PORTICOS RESISTENTES A MOMENTOS CON CAPACIDAD MINIMA DE DISIPACIÓN DE ENERGIA (DMI)													
De concreto (DMI)	El mismo	No se permite		No se permite		No se permite		No se permite		si	sin limite	si	sin limite
De acero (DMI)	El mismo	No se permite		No se permite		No se permite		No se permite		si	sin limite	si	sin limite
Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momentos (DMI)	Portico de acero o mixto resistente o no a momentos	x	x	No se permite		x	x	No se permite		x	x	si	sin limite
Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momentos (DMI)	Portico de acero o mixto resistente o no a momentos	x	x	No se permite		x	x	si	30m	x	x	si	50m
De acero con cerchas no ductiles	El mismo	x	x	No se permite (nota 5)		x	x	No se permite (nota 5)		x	x	si	12m
De acero con perfiles de lamina doblada en frio y perfiles tubulares estructurales PTE que no cumplen los requisitos para perfiles no esbeltos	El mismo	x	x	No se permite (nota 5)		x	x	No se permite (nota 5)		x	x	si	sin limite
Otras estructuras de celosia tales como vigas y cerchas		NSR10: No se puede usar como parte del sistema de resistencia sismica, a no ser que tengan conexiones rigidas a columnas, en cuyo caso serán tratadas como pórticos de celosía											
4. PÓRTICOS LOSA-COLUMANA (INCLUYE RETICULAR CELULADO)													
De concreto con capacidad moderada de disipacion de energia (DMO)	El mismo	No se permite		No se permite		Si	15m	Si	15m	Si	21m	Si	21m
De concreto con capacidad minima de disipacion de energia (DMi)	El mismo	No se permite		No se permite		No se permite		No se permite		Si	15m	Si	15m
5. ESTRUCTURAS DE PENDULO INVERTIDO													
Pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipacion de energia (DES)	El mismo	Si	Sin limite	Si	Sin limite	Si	Sin limite	Si	Sin limite	Si	Sin limite	Si	Sin limite
Pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipacion de energia (DMO)	El mismo	No se permite		No se permite		Si	Sin limite	Si	Sin limite	Si	Sin limite	Si	Sin limite

Combinación de sistema estructurales en la altura: Cuando se combinan distintos sistemas estructurales en una misma estructura, es fundamental cumplir con los siguientes requisitos:

Valor de R. A partir de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) Las estructuras que combinan los diferentes sistemas estructurales en altura se clasifica como irregular, ya sea del tipo Piso débil- Discontinuidad en la resistencia o discontinuidad extrema en la resistencia. En esta situación, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, R, en cualquier dirección y nivel, no puede exceder el menor valor de R entre los sistemas estructurales combinados por encima de ese nivel y en la dirección especificada.

Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez. a partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) las estructuras que tengan una parte superior de flexible apoyada en una con mayor rigidez deben cumplir los requisitos que se encuentran en la tabla de mezcla de sistemas estructurales en altura de los diferentes reglamentos utilizando el procedimiento de diseño establecido.

Estructuras rígidas apoyada sobre una estructura con menor rigidez. Este tipo de combinaciones de sistema estructural en altura presentan algunos inconvenientes en su comportamiento sísmico, es por esto, que a partir de la NSR-10 se establece que este tipo sistema estructural no es aceptable.

Combinación de sistemas estructurales en planta. Desde la implementación de la NSR-98, se ha adoptado esta combinación regulada que permite la integración de sistemas estructurales en planta sin que se clasifiquen como irregulares, aunque con ciertas limitaciones importantes a tener en cuenta. Es crucial destacar que, en el caso de estructuras con muros de carga, si la edificación cuenta con sistemas distintos a los muros de carga en

ambas direcciones, se deben observar ciertas restricciones. Específicamente, para el sistema que posea un coeficiente de rigidez R mayor, el valor asignado no puede exceder 1.25 veces el valor de R del sistema con el menor coeficiente de rigidez. Esta disposición busca garantizar la coherencia estructural y la seguridad de la edificación, evitando desequilibrios que puedan comprometer su integridad ante cargas y fuerzas externas.

1.2.3.2. Configuración estructural de la edificación. Según Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) En el diseño sísmico, la estructura debe ser clasificada como regular o irregular tanto en su distribución en planta como en su configuración en altura, además de ser evaluada como redundante o presentar ausencia de redundancia, todo esto según los criterios y requerimientos establecidos en esta sección.

La configuración estructural de la edificación abarca no solo su forma y tamaño exteriores, sino también engloba la naturaleza, dimensiones y ubicación específica de los elementos estructurales y no estructurales que influyen en el comportamiento de la edificación frente a las fuerzas sísmicas.

esta configuración se clásico de manera más detallada para planta y altura manteniéndose de igual manera para la NSR-10.

Configuración en planta. El edificio se clasifica como irregular si se presenta alguna de las siguientes condiciones: Se puede evidenciar que la irregularidad torsional del reglamento de la NSR-10 con respecto al Reglamento de la NSR-98 cambio su

configuración en la ecuación dándole una mayor seguridad y disminuyendo su factor (Op), de acuerdo con las demás irregularidades estas mantuvieron sus ecuaciones

Configuración en altura. Un edificio se considera verticalmente irregular cuando se presenta alguna de las siguientes situaciones:

El edificio exhibe asimetrías con respecto a sus ejes verticales o incluye retrocesos significativos en sus dimensiones.

La relación entre la masa y la rigidez experimenta cambios notables entre pisos consecutivos.

Según las tablas 5 y 6 en donde se evidencias las diferentes irregularidades que puede presentar una edificación tanto en planta como en altura, para la NSR-10 se implementan casos de irregularidad.

Tabla 5.

Configuración de irregularidad en planta respecto a su ecuación y factor de acuerdo a cada reglamento.

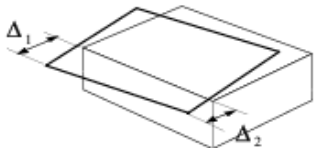
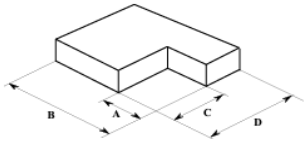
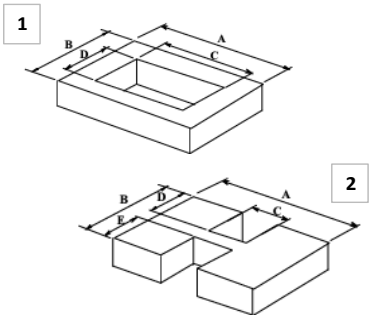
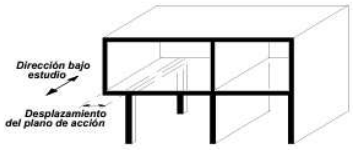
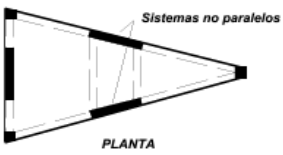
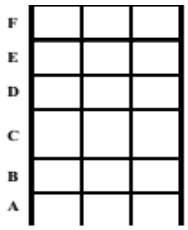
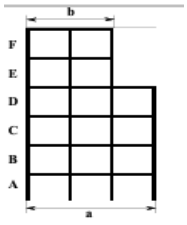
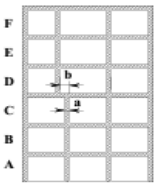
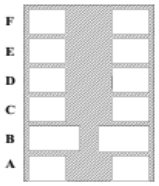
IRREGULARIDAD EN PLANTA		
Figura	**φp**	**Ecuacion**
IRREGULARIDAD TORSIONAL		
	0.9	NSR98 $\Delta_1 > 1.2\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$ NSR10 $1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 > 1.2\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$
IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTERNA	0.8	NSR10
		$\Delta_1 > 1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$
RETROCESO EXCESIVO EN LAS ESQUINAS		
	0.9	NSR98 Y NSR10 $A > 0.15B \quad y \quad C > 0.15D$
DISCONTINUIDADES EN EL DIAFRAGMA		
	0.9	NSR98 Y NSR10 1) $C \times D > 0.5\,A \times B$ 2) $(C \times D + C \times E) > 0.5\,A \times B$
DESPLAZAMIENTO DE LOS PLANOS DE ACCIÓN DE ELEMENTOS VERTICALES		
	0.8	
SISTEMA NO PARALELO		
	0.9	

Tabla 6.

Configuración de irregularidad en altura respecto a su ecuación y factor de acuerdo a cada reglamento

<table>
<tr><th colspan="3">IRREGULARIDAD EN ALTURA</th></tr>
<tr><th>FIGURA</th><th>φp</th><th>ECUACION</th></tr>
<tr><td colspan="3">IRREGULARIDAD EN RIGIDEZ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td>0.9</td><td>NSR98
Tipo 1A - Piso flexible - ϕ_a = 0.9
Rigidez K_C < 0.70 Rigidez K_D
o
Rigidez K_C < 0.80 (K_D+K_E+K_F) /3
NSR10
Tipo 1aA — Piso flexible
ϕ_a = 0.9
0.60 Rigidez K_D ≤ Rigidez K_C < 0.70 Rigidez K_D
o
0.70 (K_D+K_E+K_F) /3 ≤ Rigidez K_C < 0.80 (K_D+K_E+K_F) /3</td></tr>
<tr><td>0.8</td><td>NSR10
Tipo 1bA — Piso flexible extremo
ϕ_a = 0.8
Rigidez K_C < 0.60 Rigidez K_D
o
Rigidez K_C < 0.70 (K_D+K_E+K_F) /3</td></tr>
<tr><td colspan="3">IRREGULARIDAD EN LA DISTRIBUCION DE LAS MASAS</td></tr>
<tr><td>
</td><td>0.9</td><td>NSR98 Y NSR10
Distribución masa - ϕ_a = 0.9
m_D > 1.50 m_E
o
m_D > 1.50 m_C</td></tr>
<tr><td colspan="3">IRREGULARIDAD GEOMETRICA</td></tr>
<tr><td>
</td><td>0.9</td><td>NSR98 Y NSR10
Geométrica — ϕ_a = 0.9
a > 1.30 b</td></tr>
<tr><td colspan="3">DESPLAZAMIENTO DENTRO DEL PLANO DE ACCIÓN</td></tr>
<tr><td>
</td><td>0.8</td><td>b > a</td></tr>
<tr><td colspan="3">DISCONTINUIDAD EN LA RESISTENCIA</td></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td>0.8</td><td>NSR98
Resistencia Piso B < 0.70 Resistencia Piso C</td></tr>
<tr><td>0.9</td><td>NSR10
0.65 Resist. Piso C ≤ Resist. Piso B < 0.80 Resist. Piso C</td></tr>
<tr><td>DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LA RESISTENCIA</td><td>0.8</td><td>NSR10
Resistencia Piso B < 0.65 Resistencia Piso C</td></tr>
</table>

Excepciones a las irregularidades en altura. Este concepto se empezó a emplear a partir de la NSR-98 y establece que, para todos los pisos, la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades en altura de los tipos y en este caso se aplica a 1.

Edificaciones en zonas de amenaza sísmica baja de los grupos de uso I y II. Desde la NSR98 se establece que para las edificaciones de los grupos de uso I y II situadas en zonas de amenaza sísmica baja, la evaluación para determinar si la estructura es irregular o no, puede restringirse a considerar irregularidades en planta de tipo irregularidad torsional, irregularidad torsional extrema (según la Tabla 5) y en altura de tipo discontinuidad en la resistencia y discontinuidad extrema en la resistencia (conforme a la Tabla 6).

Edificaciones en zonas de amenaza sísmica intermedia del grupo de uso I. De igual manera a partir de la NSR-98 se establece que para las edificaciones del grupo de uso I ubicadas en zonas de amenaza sísmica intermedia, la evaluación para identificar si la estructura es irregular o no puede restringirse a considerar irregularidades en planta de los tipos se establece los criterios mediante el tipo de suelo según las tablas (A.3-6 y A.3-7) del reglamento de la NSR-10.

Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica. El factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica, "ϕr", debe asignarse en las dos direcciones principales en planta según lo estipula a partir de la NSR-10

Uso del coeficiente de sobre resistencia. A partir de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010a) se define que Cuando los requisitos para el material estructural y el grado de disipación de energía requieren que los elementos frágiles o las conexiones entre elementos se diseñen para fuerzas sísmicas

$$E = \frac{\Omega_0 F_S}{R} \pm 0.5 A_a F_A D \quad (1)$$

1.2.3.3. Métodos de análisis. Para el MOP, (1984) se tenían en cuanta solo 3 métodos de análisis de fuerzas sísmicas, el método de la fuerza horizontal equivalente se mantuvo hasta la NSR-10, sufriendo algunas modificaciones, el método de análisis modal también conocido como análisis dinámico elástico, lo cual se emplea a partir de la NSR-98 con este último nombre, a su vez se incluye el método de análisis inelástico manteniendo estos mismos en la NSR10, y el método de análisis alternos. En la aplicación de cualquier método de análisis alterno no se pueden utilizar períodos fundamentales mayores de los permitidos que en los métodos de análisis de fuerza horizontal equivalente y del método de análisis dinámico elástico y es empleado desde el CCCSR-84.

A partir de la NSR-98, se estableció que se debe emplear como mínimo uno de los siguientes métodos, manteniendo este mismo parámetro para la NSR-10 pero se evidencian algunos cambios:

Método de la fuerza horizontal equivalente: Puede utilizarse el método de la fuerza horizontal equivalente. Poniendo en comparación los reglamentos se puede evidenciar que estos no sufrieron cambios significativos en el método de fuerzas

horizontales, se puede apreciar que cambiaron los tipos de suelos, dicho anteriormente, estos tipos de suelos para la NSR-98 se exceptúan edificaciones regulares de menos de 20 niveles que su periodo de vibración sea mayor de 0.7 s en cambio a partir de la NSR-10 estas vibraciones cambian y son mayores 2Tc.

Método del análisis dinámico elástico: Debe utilizarse el método del análisis dinámico elástico en todas las edificaciones que no estén cubiertas por el método de la fuerza horizontal equivalente. De igual manera, poniendo en comparación los reglamentos se puede evidenciar que estos no sufrieron cambios significativos en el método de análisis dinámico elástico, se puede apreciar que cambiaron los tipos de suelos, dicho anteriormente, estos tipos de suelos para la NSR-98 se exceptúan edificaciones regulares e irregulares localizadas en un tipo de suelo especifico establecido por cada reglamento su periodo de vibración sea mayor de 0.7s en cambio a partir de la NSR-10 estas vibraciones son mayores 2Tc.

Método de Análisis dinámico inelástico. A partir de la NSR-10 en el método de análisis dinámico inelástico se estableció que para realizar este método se debe diseñar con dos profesionales que sean independientes al diseñador estructural cumpliendo los requisitos de idoneidad prescrito en la ley 400 de 1997.

Método de análisis no lineal estático de plastificación progresiva. A partir de la NSR10 se empezó a emplear este método del análisis no lineal estático, conocido como procedimiento “push-over” o de plastificación progresiva, en aquellos casos que a juicio del

ingeniero diseñador se desee evaluar la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico por este procedimiento.

1.2.3.4. Efectos sísmicos en los elementos estructurales. A partir de la NSR-98 se estableció de manera explícita que todos los elementos estructurales deben ser diseñados considerando los efectos de los movimientos sísmicos de diseño que actúen sobre ellos, además de tener en cuenta todas las cargas que puedan influir en su comportamiento, según lo establece el Título B (Cargas) de los diferentes reglamentos.

Combinación de los Efectos de Carga

Que a partir de la NSR-10 estas combinaciones básicas de carga fueron replanteadas, dando una mayor seguridad al momento de diseñar las estructuras, tal y como se muestra en la **Tabla 7**.

Combinaciones básicas de carga respecto a cada reglamento

NSR-98	NSR-10
1.4D + 1.7L	1.4D
1.05D + 1.28L + 1.28W	1.2D + 1.6L + 0.5(Lr o G o Le)
0.9D + 1.3W	1.2D + 1.6(Lr o G o Le) + (1.0L o
1.05D + 1.28L + 1.0E	0.5W)
0.9D + 1.0E	1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(Lr o G
1.4D + 1.7L + 1.7H	o Le)
1.05D + 1.28L + 1.05T	1.2D + 1.0E + 1.0L
1.4D + 1.4T	0.9D + 1.0W
	0.9D + 1.0E

Dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas

Para la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) se describió de manera general que en zonas de amenaza sísmica intermedia o alta deben considerarse los efectos ortogonales, salvo que: la estructura tenga diafragmas flexibles o se trate de edificios de un piso (naves industriales o similares) en los cuales no haya irregularidades en planta del tipo 5P. Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento. Alternativamente, los efectos ortogonales pueden calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, asignándole el signo que conduzca al resultado más conservador. La fuerza sísmica debe combinarse con las cargas verticales de acuerdo con los requisitos del Título B de este Reglamento

Amarres y continuidad

Todos los elementos estructurales deben interconectarse. La conexión y los elementos conectores deben ser capaces de transmitir las fuerzas sísmicas inducidas por las partes que conectan.

Partes de la edificación: A partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) se empleó que cualquier parte o porción de la edificación debe estar vinculada y amarrada al resto de la edificación por medio de elementos de conexión cuya resistencia, como mínimo, debe ser (0.40Aa g) veces la masa de la parte o porción. A demás la NSR-10 incluye que estar vinculada y amarrada al resto de la edificación por

medio de elementos de conexión cuya resistencia se diseñe teniendo en cuenta las fuerzas axiales, de corte y de flexión

Vigas de amarre en la cimentación: Desde el CCCSR-84 se establece que los elementos de cimentación, tales como zapatas, dados de pilotes, pilas o "caissons", etc., deben amarrarse por medio de elementos capaces de resistir en tensión o compresión una fuerza no menor de (0.25Av), a partir de la NSR-98 se evalúa bajo la condición de que debe ser menor a (0.25Aa) de veces la carga vertical total del elemento que tenga la mayor carga entre los que interconecta, además de las fuerzas que le transmita la superestructura. Para efectos del diseño de la cimentación debe cumplirse lo prescrito en las fuerzas sísmicas de diseño de los elementos estructurales.

Elementos colectores

Desde el CCCSR-84 se establece que es fundamental incorporar elementos colectores que puedan efectivamente transferir las fuerzas sísmicas generadas en diferentes partes de la edificación hacia el elemento vertical del sistema de resistencia sísmica que está encargado de resistir esas fuerzas. Estos elementos son cruciales para la integridad estructural y la distribución eficiente de las cargas sísmicas a lo largo de la estructura.

Distribución de la Fuerza Cortante en el piso

En el CCCSR-84 se establece que cuando se utilice el método de la fuerza horizontal equivalente definido anteriormente, la fuerza cortante, (Vx), en el nivel x, debe determinarse de acuerdo con la siguiente ecuación 2, siendo de igual manera para los demás reglamentos.

$$V_x = \sum_{i=x}^{n} Fi \qquad (2)$$

Torsión en el piso

En el diseño deben tenerse en cuenta los efectos de torsión en el piso, de acuerdo con los requisitos de torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y de rigidez a la torsión de diseño, considerando que estos provienen, o bien, de la incertidumbre en la localización de las masas dentro del piso.

Torsión accidental: A partir de la NSR-98 se establece que el efecto de la torsión que se genera debe tenerse en cuenta en la distribución del cortante del piso a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica y debe ser evaluada por la ecuación 3, manteniendo este mismo requisito para la NSR-10

$$A_x = \left[\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}}\right]^2 \leq 3.0 \qquad (3)$$

Torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y de rigidez. La forma en que se aborda este aspecto no varía según los diferentes reglamentos de construcción.

Torsión de diseño: Este concepto se mantuvo desde el CCCSR-84 lo cual consiste que el momento torsional de diseño en cualquier nivel de la estructura se obtiene como la suma de las torsiones de diseño de todos los niveles localizados por encima del nivel en estudio.

1.2.3.5. Fuerzas sísmicas de diseño de los elementos estructurales. La consideración de las fuerzas sísmicas de diseño en los elementos estructurales es una parte fundamental del proceso de diseño sísmico en ingeniería estructural. A partir de la NSR-98 y otros reglamentos sísmicos modernos, se ha establecido un enfoque más específico y detallado para calcular estas fuerzas.

Sistema de resistencia sísmica. Desde la NSR-98 se estableció que los elementos del sistema estructural de resistencia sísmica, y sus conexiones, deben diseñarse utilizando todas las solicitaciones requeridas por el Título B siendo más específico en el Reglamento de la NSR-10, debidamente combinadas según se exige en este título.

Cimentación. Las fuerzas sísmicas que actúan sobre la cimentación y el suelo de soporte se obtienen así: La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) establece que para efectos del diseño estructural de los elementos que componen la cimentación, se emplea el procedimiento indicado empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, a partir de las reacciones de la estructura sobre estos elementos. Para la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) estableció que en caso de que se

requiera una evaluación particular, las ***acciones de la estructura sobre la cimentación*** deberán determinarse con uno de los siguientes métodos: Procedimientos de análisis inelástico de la estructura, evaluando el desempeño de la estructura (curvas de demanda y capacidad) y cálculo de las acciones que se aplican a la estructura en los elementos que componen la cimentación "En el diseño de los elementos de cimentación deben seguirse los requisitos propios del material estructural y del Título H del reglamento de la NSR-10". Para efectos de obtener los ***esfuerzos sobre el suelo de cimentación***, a partir de las reacciones de la estructura y su cimentación sobre el suelo, se emplean las combinaciones de carga para el método de esfuerzos de trabajo de la sección B.2.3 de dicho reglamento.

1.2.3.6. Estructuras aisladas sísmicamente en su base. A partir de la NSR-98 se permite el empleo de estructuras aisladas sísmicamente en su base, siempre y cuando se cumplan en su totalidad los requisitos al respecto de uno de los tres documentos específicos en la sección A.3.8 del reglamento de la NSR-10.

1.2.3.7. Uso de elementos disipadores de energía. Con base en la NSR-10, se autoriza la incorporación de elementos disipadores de energía, siempre y cuando se cumplan plenamente los requisitos especificados en uno de los documentos señalados en la sección A.3.9 de dicho reglamento. Simultáneamente, el diseño y la construcción de estructuras que incluyan estos elementos deben cumplir con los requisitos establecidos en los Artículos 10 y 11 de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) siendo responsabilidad tanto del diseñador estructural como del constructor asumir las obligaciones detalladas en dichos artículos.

Es imperativo que la edificación que haga uso de elementos disipadores de energía esté sujeta a una supervisión técnica continua, tal como se describe en el Título I.

1.2.4. Requisitos de la deriva

La deriva se define como el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos situados en la misma línea vertical, pero en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación. Esta medida resulta crucial para evaluar la deformación y el comportamiento de la estructura durante un evento sísmico. En el CCCSR-84, la deriva se asociaba con varios efectos durante un temblor, incluyendo la deformación inelástica de los elementos, la estabilidad global de la estructura y el daño a elementos no estructurales como muros divisorios, enchapes, acabados e instalaciones, entre otros, con la introducción de la NSR-98, se agregó la consideración de alarma y pánico entre las personas que ocupan la edificación como parte de los efectos asociados a la deriva. Es fundamental cumplir rigurosamente con los requisitos de deriva establecidos durante el diseño. esto garantiza la observancia de los objetivos del Reglamento y asegura un comportamiento adecuado tanto de la estructura como de su contenido. El seguimiento preciso de estos requisitos es esencial para asegurar la seguridad y el desempeño esperado durante eventos sísmicos.

1.2.4.1. Cálculo de desplazamiento horizontal. Para el MOP, (1984) se empleaba el desplazamiento horizontal elástico la cual se daba por medio de un análisis elástico de acuerdo a los principios de la mecánica estructural y usándose como fuerza aplicada las que se obtenían por medio de los métodos de análisis de fuerza horizontal equivalente y análisis modal. El desplazamiento inelástico real se estimaba por medio de la ecuación 4.

$$\delta_x = C_d \delta_{xe} \quad (4)$$

En donde se utilizaba un coeficiente de amplificación de desplazamiento lo cual se establecía para cada una de las zonas de riesgo sísmico y para cada sistema estructural.

A partir de la NSR-98 esto cambio, lo cual se establecen los desplazamientos totales horizontales. Los desplazamientos horizontales, en las dos direcciones principales ortogonales en planta, que tienen todos los grados de libertad de la estructura al verse afectada por los movimientos sísmicos de diseño, se determinan por medio del análisis estructural realizado utilizando el método de análisis definido y con la rigidez de la estructura.

Cuando se apliquen los métodos de interacción suelo-estructura o cuando los procedimientos de análisis lo demanden debido a que se realizó la consideración de la estructura como empotrada en su base, es necesario incorporar dentro de los desplazamientos totales aquellos desplazamientos adicionales obtenidos siguiendo el procedimiento establecido en la interacción suelo-estructura. Esto garantiza una evaluación más precisa de los desplazamientos totales considerando las interacciones suelo-estructura o los métodos específicos de análisis requeridos.

1.2.4.2. Evaluación de la deriva máxima. En comparación por medio del cálculo de desplazamiento horizontal a partir de la NSR98 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) se establece que La deriva máxima en cualquier punto del piso, se obtiene como la diferencia entre lo desplazamientos horizontales totales máximos del punto en el

piso y los desplazamientos horizontales totales máximos de un punto localizado en el mismo eje vertical en el piso.

Establecido esto, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) modifica dando paso al uso de edificaciones regulares e irregulares en diferentes tipos de suelo, lo cual se define que La deriva máxima para cualquier piso debe obtenerse por medio de los pasos establecidos en la sección A.6.3 del reglamento.

1.2.4.3. Límites de la deriva. A partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) se establece que La deriva máxima evaluada en cualquier punto de la estructura, determinada de acuerdo con el procedimiento de la deriva máxima, no puede exceder los límites establecidos en la tabla 8, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso h.

Tabla 8.

Deriva máxima como porcentaje de altura de piso según la NSR-10.

Estructura	Deriva Máxima
Concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2.	$1.0\%\left(\Delta^{i}_{max} \leq 0.010 h_{pi}\right)$
De mampostería que cumplen los requisitos A.6.4.2.3.	$0.5\%\left(\Delta^{i}_{max} \leq 0.005\ h_{pi}\right)$

Nota: datos extraídos del Título A. sección 6.1 de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Cuando se emplean secciones fisuradas, ya sea en concreto reforzado, mampostería o en estructuras mixtas con acero, las derivas pueden ser multiplicadas por 0.7 antes de realizar la comparación con los límites establecidos en la tabla A.6.-1. Esta consideración se aplica para garantizar una evaluación más precisa teniendo en cuenta la naturaleza de las secciones fisuradas.

Adicionalmente, según la NSR-10, cuando se realiza un análisis inelástico verificando el desempeño de todos los elementos estructurales dentro de un rango de desempeño no superior (según los requisitos del ASCE 31 y ASCE 41), las derivas pueden multiplicarse por 0.7 antes de la comparación con los límites de la tabla A.6.4-1 de la sección A.6.4 de dicho reglamento. Esta flexibilidad en la evaluación se implementa para situaciones en las que se ha llevado a cabo un análisis más detallado y se ha demostrado un nivel adecuado de desempeño estructural.

Es importante destacar que no existen límites de deriva en edificaciones de un piso, siempre y cuando los muros, particiones interiores y exteriores, así como los cielorrasos, estén diseñados para acomodar las derivas del piso. Esta disposición refleja una consideración específica para estructuras de un solo nivel.

1.2.4.4. Separación entre estructuras adyacentes por consideraciones sísmicas dentro de la misma construcción. Desde el CCCSR-84 se hace referencia a que todas las partes de la estructura deben estar diseñadas y construidas para trabajar como una unidad cohesiva para resistir las fuerzas sísmicas, a menos que estén separadas por una distancia

suficiente que evite una colisión nociva entre estas estructuras, mantenido esta condición en los diferentes reglamentos.

Separación entre edificaciones vecinas que no hagan parte de la misma construcción. A partir de la NSR-10 se estableció de manera más detallada que La separación entre edificaciones vecinas, para evitar efectos nocivos ante la ocurrencia de un sismo, debe cumplir los siguientes requisitos de separación y debe aplicarse los siguientes casos establecidos en la sección A.6.5.2.3 del reglamento.

Considerando el alcance en la tabla 9 se muestra los requisitos específicos entre las separaciones para edificaciones vecinas entre las cubiertas la cual establece la altura y la separación en edificaciones colindantes que no hagan parte de la construcción. Como se muestra en la figura 2 la relación que debe existir de forma gráfica entre la separación y la altura. Por otra parte, es importante mencionar que los reglamentos anteriores (NSR-98 y CCCSR-84) no presentan este ítem que se debe tener en cuenta en las construcciones.

Tabla 9.

Separación entre edificaciones respecto a la altura

Altura de la edificación nueva	Tipo de Colindancia		
	Existe edificación vecina que no ha dejado la separación sísmica requerida		No existe edificación vecina o la que existe ha dejado la separación sísmica requerida
	Coinciden las losas de entrepiso	No coinciden las losas de entrepiso	
1 y 2 pisos	no requiere separación	no requiere separación	no requiere separación
3 pisos	no requiere separación	0.01 veces la altura de la edificación nueva (1% de h_n)	no requiere separación
Más de 3 pisos	0.02 veces la altura de la edificación nueva (2% de h_n)	0.03 veces la altura de la edificación nueva (3% de h_n)	0.01 veces la altura de la edificación nueva (1% de h_n)

Notas:

1. Para obtener la separación sísmica en pisos diferentes a la cubierta se aplicará el coeficiente indicado en la Tabla multiplicado por la altura sobre el terreno del piso en particular.
2. Cuando el terreno en la colindancia sea inclinado en el sentido del paramento, o haya diferentes alturas de piso o diferentes números de pisos aéreos en la colindancia, se tomará en la edificación nueva la altura de piso, o el número de pisos aéreos que conduzca a la mayor separación sísmica.

Nota: tabla extraída de la sección A.6.5.2.3 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010)

Figura 2.

Relación entre separación y altura de edificaciones vecinas

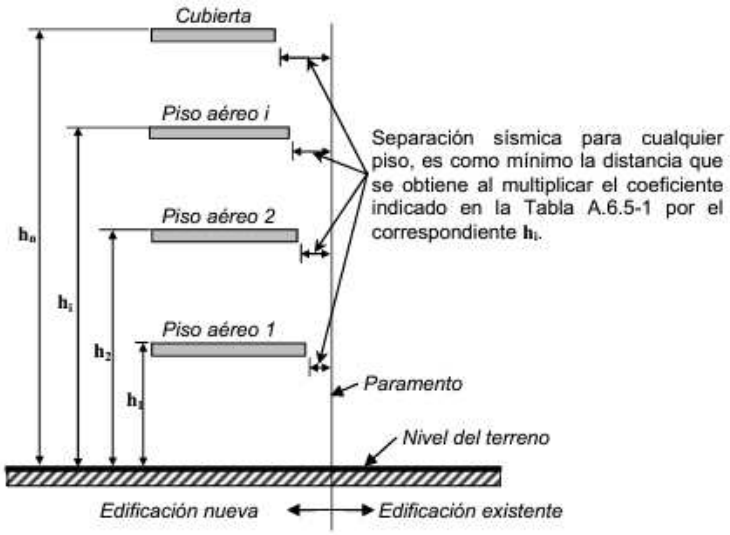


Figura A.6.5-1 — Medición de la separación sísmica (vista en elevación)

Nota: la figura representa la separación y altura con respecto a las edificaciones vecinas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

1.2.5. Interacción Suelo- Estructura

A partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) se estableció que es beneficioso incorporar los efectos de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de la edificación para obtener evaluaciones más precisas y cercanas a la realidad, manteniéndose así mismo para la NSR-10.

Esta sección establece requisitos esenciales para considerar la interacción suelo-estructura, con un enfoque principal en la información geotécnica y en el análisis y diseño estructural. Al examinar ambos reglamentos, se observó que no se realizaron modificaciones en ninguno de los temas mencionados anteriormente. Por lo tanto, se recomienda consultar la sección A.7.2 y A.7.3. del reglamento de la NSR-10.

1.3. Análisis Comparativo en el Titulo C. Concreto Estructural

1.3.1. Materiales

1.3.1.1. Ensayo de Materiales. Para asegurarse que los materiales utilizados en la obra sean de la calidad especificada, deben realizarse los ensayos correspondientes sobre muestras representativas de los materiales de la construcción. A partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010), se estableció de manera más puntual que cuando se trate de edificaciones sujetas a Supervisión Técnica conforme a la Ley 400 de 1997, el Supervisor Técnico debe desarrollar un programa de control de calidad siguiendo lo exigido en A.1.3.9 (supervisiones técnicas independientes), en el Título C y en el Título I de la NSR-10. En el caso de edificaciones que no requieran Supervisión Técnica, el constructor es responsable de llevar a cabo y documentar los controles de calidad de los materiales como lo demanda la normativa, incluyendo los controles específicos para el concreto estructural conforme al Título C y los requerimientos del Título I. Desde el C (MOP, 1984) se establece que los ensayos de materiales y concreto deben realizarse siguiendo las normas técnicas colombianas (NTC) promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). En ausencia de estas

normas, se deben seguir las pautas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM),

Añadiendo a esto desde el CCCSR-84 se estableció que El registro completo de los ensayos de materiales y del concreto debe estar siempre disponible para revisión durante el desarrollo de la obra dando complemento a esto desde la NSR-98 se da una conservación de acuerdo con lo prescrito en el Título I del Reglamento así mismo para la NSR-10.

1.3.1.2. Materiales Cementados

Los materiales cementantes deben cumplir con las normas relevantes como se especifica en la tabla 10 lo cual describe los cambios sufridos por cada reglamento:

Tabla 10.

Normas a cumplir los materiales cementados bajo los diferentes reglamentos con sus observaciones.

Normas	Observación
• Cemento fabricado bajo las normas NTC 121 y NTC 321 y también se permite el uso de cementos fabricados bajo la norma ASTM C150.	Se empleo desde el CCCSR84 sin el permiso de la norma ASMT C150
• Cementos hidráulicos adicionados fabricados bajo la norma ASTM C595, pero se excluyen los Tipos IS (≥70) ya que no pueden ser empleados como constituyentes cementantes principales en el concreto estructural.	Se empleo a partir de la NSR-98
• Cemento hidráulico expansivo fabricado bajo la norma NTC 4578 (ASTM C845). • Cemento hidráulico fabricado bajo la norma ASTM C1157.	Se emplearon a partir de la NSR-10.

Normas	Observación
• Ceniza volante, puzolana natural y materiales calcinados que cumple la norma NTC 3493 (ASTM C618). • Ceniza volante, puzolana natural y materiales calcinados que cumple la norma NTC 3493 (ASTM C618). • Humo de sílice que cumple la norma NTC 4637 (ASTM C1240). • Cemento blanco que cumple con la norma NTC 1362. • Se prohíbe el uso de los cementos denominados de mampostería en la fabricación de concreto.	

Efectivamente, los materiales cementantes utilizados en la obra deben coincidir con aquellos que se han tomado como referencia para la selección de la dosificación del concreto. Esto se encuentra detallado en la sección C.5.2 del Reglamento de la NSR-10. Es crucial que los materiales cementantes empleados sean los mismos que se consideraron durante el proceso de diseño del concreto para garantizar la coherencia en las propiedades estructurales y en comportamiento.

1.3.1.3. Agregados. Para el CCCSR-84 los agregados para el concreto deben cumplir con la norma ICONTEC 174, a partir de la NSR-98 este agregado se catalogó como agregado de peso normal, y se incluyó el agregado de peso liviano lo cual debe cumplir con la norma NTC 4045 (ASTM C330), manteniéndose así para la NSR-10.

Desde el CCCSR-84 se establece que el tamaño máximo nominal para los agregados que deben cumplir.

Tabla 11.

Tamaño máximo nominal según los diferentes reglamentos.

Código colombiano de construcción sismo resistente (CCCSR-84)	Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente (NSR-98)	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)
a). 1/5 de la dimensión menor entre los lados del encofrado **b).** 1/3 de la altura de la losa **c).** 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.		

Nota: Estos datos fueron tomados de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) y fueron comparados con los distintos reglamentos, lo cual se evidencia que no sufrieron cambios.

Agua

A partir de la NSR-98 se recomienda cumplir con la norma NTC 3459. Es cierto que casi cualquier agua potable que no presente sabores u olores fuertes puede emplearse en la elaboración del concreto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que impurezas excesivas en el agua de mezclado pueden afectar diversas propiedades del concreto, como el tiempo de fraguado, su manejabilidad, resistencia y estabilidad dimensional. Además, estas impurezas podrían causar problemas como eflorescencia o corrosión en el refuerzo. Por ello, siempre que sea factible, se debe evitar el uso de agua con altas concentraciones de sólidos disueltos para garantizar la calidad y durabilidad del concreto.

La norma ASTM C1602M, adoptada a partir de la NSR-10, permite el uso de agua potable sin necesidad de realizar ensayos específicos, además de proporcionar métodos para evaluar y calificar fuentes de agua no potable. Esta norma considera los efectos de la calidad del agua en el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. También establece frecuencias de ensayo para garantizar un monitoreo continuo de la calidad del agua. Además, incluye límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezclado, los cuales pueden ser referenciados cuando sea necesario para asegurar la idoneidad del agua utilizada en la elaboración del concreto.

1.3.1.4. ***Acero de Refuerzo***. **A** partir de la NSR-98 se estableció que el refuerzo principal debe ser corrugado, permitiéndose el uso de refuerzo liso solo en casos particulares como estribos, espirales, tendones, refuerzo de repartición y temperatura. Además, se pueden emplear otros tipos de refuerzo cuando el Título C del Reglamento NSR-10 lo autorice específicamente, como pernos con cabeza para refuerzo de cortante, perfiles de acero estructural, tubos o elementos tubulares de acero. Las fibras de acero deformadas dispersas solo se permiten para resistir esfuerzos cortantes bajo condiciones específicas detalladas en la sección C.11.4.6.1(f) del reglamento NSR-10.

Desde el CCCSR-84 se estableció que la soldadura de las barras de refuerzo debe cumplir con las directrices establecidas en la norma NTC 4040 (AWS D1.4). La ubicación y el tipo de empalmes soldados, así como otras soldaduras necesarias en las barras de refuerzo, deben estar claramente especificados en los planos de diseño o en las especificaciones del proyecto. Se requiere complementar las normas NTC aplicables a las barras de refuerzo, excluyendo NTC 2289 (ASTM A706M), para asegurar la presentación

de un informe sobre las propiedades del material que garanticen el cumplimiento de los requisitos establecidos en NTC 4040 (AWS D1.4) lo cual esto se emplea a partir de la NSR-98.

Refuerzo corrugado. El refuerzo corrugado a partir del CCCSR-84 se estableció que sé debe cumplir con las normas ASTM A706M (NTC 2289), a partir de la NSR10 se permite el uso de barras de acero inoxidables fabricadas bajo la norma ASTM A955M; además, el refuerzo corrugado debe cumplir con los siguientes aspectos. A partir de la NSR-98 Los esfuerzos obtenidos por medio del ensayo de tracción deben calcularse utilizando el área nominal de la barra tal como se indica a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12.

Tabla establecida por la NSR-10 para las dimensiones nominales de barras de refuerzo basados en milímetros y octavos de pulgadas

TABLA C.3.5.3-1
DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO
(Diámetros basados en milímetros)

Designación de la barra (véase la nota)	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
	Diámetro mm	Área mm²	Perímetro mm	
6M	6.0	28.3	18.85	0.222
8M	8.0	50.3	25.14	0.394
10M	10.0	78.5	31.42	0.616
12M	12.0	113.1	37.70	0.887
16M	16.0	201.1	50.27	1.577
18M	18.0	254.5	56.55	1.996
20M	20.0	314.2	62.83	2.465
22M	22.0	380.1	69.12	2.982
25M	25.0	490.9	78.54	3.851
30M	30.0	706.9	94.25	5.544
32M	32.0	804.2	100.53	6.309
36M	36.0	1017.9	113.10	7.985
45M	45.0	1590.4	141.37	12.477
55M	55.0	2375.8	172.79	18.638

Nota: La M indica que son diámetros nominales en mm.

TABLA C.3.5.3-2
DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO
(Diámetros basados en octavos de pulgada)

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Area mm²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Nota: El No. de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia

Nota: Estos valores fueron tomados de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) en donde se establecen las dimensiones para las barras de refuerzo, sin embargo, fueron comparados con los demás reglamentos y se evidencio que no sufrieron cambios.

Para el CCCSR-84 se empleaba los requisitos que se debía cumplir el en ensayo de doblamiento para todas las barras lo cual se especifica mediante la tabla 13.

Tabla 13. *requisitos de mandril y doblez para todo tipo de barra*

Designación de la Barra No	**Diámetro de Mandril**	**Dobles de la Barra**
2, 3, 4, 5	3.5db	180°
6, 7, 8	5.0db	180°
9, 10, 11	7.0db	180°
14 o 18	9db	90°

Nota: estos datos fueron tomados de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) sin embargo, estos valores fueron comparados con los demás reglamentos.

Posteriormente desde la NSR-98 se establece que no se permite el uso de acero corrugado de refuerzo bajo las normas NTC 245, ni ningún otro tipo de acero que haya sido trabajado en frio p trefilado, a menos que esté explícitamente permitido por la norma bajo la cual se fabrica cualquiera de los materiales permitidos por el Reglamento a partir de la NSR-10.

Malla Electrosoldada. Las mallas electrosoldadas se consideran una variante de refuerzo corrugado. Tanto los alambres utilizados para su fabricación como las propias mallas deben cumplir con las normativas siguientes: A partir de la NSR-98 se exceptuó para refuerzo de alambre electrosoldado utilizado como estribos de acuerdo con C.12.13.2 de dicho reglamento. El refuerzo electrosoldado de alambre corrugado debe estar en conformidad con la normativa NTC 2310 (ASTM A497M). Sin embargo, en el caso de

alambres con una resistencia a la tracción fy mayor a 420 MPa, la resistencia a la fluencia debe ser aquella correspondiente a una deformación unitaria del 0.35 por ciento. Las intersecciones soldadas no deben estar separadas por más de 400 mm, en la dirección del esfuerzo calculado, a excepción de los refuerzos de alambre electrosoldado utilizados como estribos según lo establecido en C.12.13.2.

Adicionalmente, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) especifica que se permite el uso de alambre corrugado con un diámetro superior a MD200 (16 mm de diámetro) siempre que se utilice en refuerzo electrosoldado que cumpla con la normativa NTC 2310 (ASTM A497M). No obstante, este alambre debe tratarse como alambre liso en cuanto a los efectos de desarrollo y diseño de empalmes. Desde la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998) se estableció que los alambres y el refuerzo electrosoldado de alambre recubiertos con epoxi deben estar en conformidad con la normativa ASTM A884M. Los alambres que se destinen a ser recubiertos con epoxi deben cumplir con C.3.5.3.4, mientras que el refuerzo electrosoldado de alambre que será recubierto con epoxi debe cumplir con C.3.5.3.5 o C.3.5.3.6.

La NSR-10 agrego como paso fundamental unos requisitos que deben cumplir las mallas electrosoldadas lo cual, están descritos en la sección C.3.5.

Refuerzo Liso. A partir de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) se establece este requisito que el refuerzo liso solo está permitido en estribos,

refuerzo de retracción y temperatura, o refuerzo en espiral, y no puede utilizarse como refuerzo longitudinal a flexión, a menos que forme parte de mallas electrosoldadas.

Acero de Pre-esfuerzo. Desde el (MOP, 1984) se estableció que Los alambres, los torones y las barras que no figuran específicamente con lo descrito en la norma. Adicionalmente la NSR10 agrego que el acero preesforzado debe cumplir con una de las normas siguientes:

Alambre: NTC 159 (ASTM A421M).

Alambre de baja relajación: NTC 159 (ASTM A421M).

Torón: NTC 2010 (ASTM A416M).

Barras de alta resistencia: NTC 2142 (ASTM A722M).

Acero y Tubería Estructural. Desde el CCCSR-84 se establecieron condiciones para acero y tubería estructural, sin embargo, la NSR-10 de manera más detallada establece las siguientes condiciones respecto a cada norma con la finalidad de que se ajuste de una mejor manera siendo estos detallados en la sección C.3.5.7. de dicho reglamento, a su vez, la NSR10 a diferencia de los demás reglamentos agrega que El acero utilizado en el refuerzo para concreto compuesto por fibras dispersas de acero debe ser corrugado y cumplir con la normativa NTC 5214 (ASTM A820M).

Evaluación y Aceptación del Acero de Refuerzo. Este concepto se empezó a emplear desde la NSR-98 lo cual se implementa que es necesario tomar y ensayar muestras representativas de los aceros de refuerzo utilizados en la obra, siguiendo la frecuencia y alcance indicados en este caso en el Título I del Reglamento NSR-10.

1.3.1.5. Aditivos. Desde el CCCSR-84 se emplea que es necesario obtener la aprobación previa del Supervisor Técnico para el uso de aditivos en el concreto, de igual manera a partir de la NSR10 los aditivos que no cumplan con C.3.6.1 y C.3.6.2 de este reglamento, deben ser sometidos a una revisión, estableciendo dicho reglamento que es necesario demostrar que un aditivo tiene la capacidad de mantener esencialmente la misma composición y comportamiento durante la construcción de la obra, especialmente cuando se establece la dosificación del concreto.

1.3.2. Calidad del Concreto, Mezclado y Colocación

1.3.2.1. Dosificación del concreto. Desde el CCCSR-84 se estipulo que la dosificación del concreto debe hacerse como requisito para que proporcione una resistencia promedio a la compresión, (f'c), según se especifica en C.5.3.2, y debe cumplir con los criterios de durabilidad establecidos en el Capítulo C.4 del reglamento de la NSR10. En el caso de concreto diseñado y construido de acuerdo con el Reglamento NSR-10, la resistencia promedio a la compresión (f`c) no puede ser inferior a 17 MPa; además en este tipo de caso debe proporcionar unos requisitos establecidos en la sección C.5.2 de dicho reglamento.

Sin embargo, la NSR10 implemento un diagrama de flujo para facilitar la selección y documentación de las dosificaciones del concreto que se evidencia en la figura 3.

Figura 3.

Diagrama de flujo implementado por la NSR-10 para selección y documentación de la dosificación del concreto

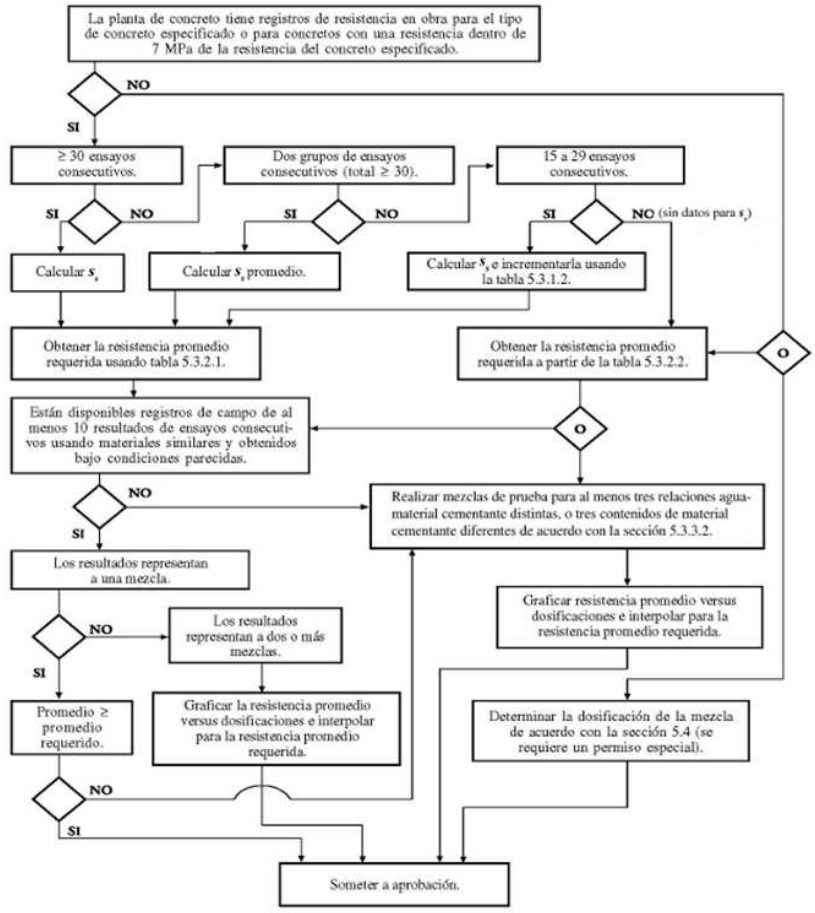


Fig. CR5.3 — Diagrama de flujo para la selección y documentación de la dosificación del concreto

Nota: Este diagrama de flujo es empleado por (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) para la selección y documentación de la dosificación del concreto

1.3.2.2. Dosificación basada en la experiencia en obra o en mezclas de prueba o ambas

Desviación estándar. En cuanto a la desviación estándar, desde el CCCSR-84 se manejan los mismos conceptos y requisitos que se deben cumplir, además, la NSR-10 detallo la fórmula de dicha desviación estableciendo conceptos más prácticos, además, agrego a esto que cuando una planta de concreto tiene registros de ensayos de menos de 12 meses de antigüedad, debe establecerse una desviación estándar Ss de la muestra mediante la ecuación 5.

$$Ss = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2} \qquad (5)$$

Los registros de ensayos a partir de los cuales se calcula Ss deben cumplir con las condiciones establecidas es cualquier reglamento ya que se establecen desde el CCCSR-84, sin embargo, en la actualidad se debe regir bajo el reglamento de la NSR-10 y dicha información se establece en la sección C.5.3.1.

Resistencia promedia requerida. En los reglamentos anteriores, como la NSR-98, las ecuaciones se diseñaron principalmente para resistencias menores a 35 MPa, y la desviación estándar se establecía utilizando fórmulas específicas, tanto cuando se disponía como cuando no se disponía de información. En contraste, la NSR-10 introdujo una ecuación específica para resistencias a la compresión mayores a 35 MPa, reconociendo la necesidad de ajustar las consideraciones para concretos de mayor resistencia. Además, se realizaron modificaciones en las ecuaciones, tanto cuando se dispone como cuando no se dispone de información, para adaptarse a los cambios y mejoras en la práctica y el

conocimiento de la ingeniería estructural demostrado en las tablas 14 y 15. La incorporación de ecuaciones específicas para resistencias mayores a 35 MPa en la NSR-10 evidencia la evolución en la comprensión y diseño del concreto, brindando una mayor precisión y ajuste a las condiciones de la industria actual.

Tabla 14.

Resistencia promedio a la compresión requeridas cuando se dispone de datos para establecer una desviación estándar según los reglamentos

Resistencia Especificada a la Compresión (MPa)	**Resistencia Promedio Requerida a la Compresión NSR -98**	**Resistencia Promedio Requerida a la Compresión NSR -10**
$f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34Ss$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33Ss - 3.5$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34Ss$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33Ss - 3.5$
$f'_c > 35$		$f'_{cr} = f'_c + 1.34Ss$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33Ss$

Tabla 15.

Resistencia promedio a la compresión requeridas cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar según los reglamentos.

Resistencia Especificada a la Compresión (MPa)	**Resistencia Promedio Requerida a la Compresión NSR -98**	**Resistencia Promedio Requerida a la Compresión NSR -10**
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = f'_c + 10$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5$

1.3.2.3. Dosificación cuando no se cuenta con experiencia en obra o mezclas de pruebas. Entiendo que estás señalando una evolución en la organización y los requisitos para la dosificación del concreto en los reglamentos de construcción, desde el CCCSR-84 hasta la NSR-10.

Es significativo notar que, según la NSR-98, hubo una mejora en la organización de la dosificación del concreto en comparación con el CCCSR-84. Este enfoque organizativo y metodológico se mantuvo en la NSR-10. Además, la NSR-10 introdujo una consideración específica para el caso en el que no se dispongan de los datos necesarios según lo establecido en la sección C.5.3. En tales casos, la dosificación del concreto puede fundamentarse en otras experiencias o información, siempre y cuando cuente con la aprobación del profesional facultado para el diseño. Este enfoque refleja un reconocimiento de la importancia de la experiencia profesional y la adaptabilidad en situaciones donde la información completa puede no estar disponible.

1.3.2.4. Reducción de la resistencia promedio. A medida que se disponen más datos durante la construcción, se permite reducir la cantidad por la cual la resistencia promedio requerida debe exceder la resistencia característica del concreto (f'c), siempre que se cumplan con las condiciones establecidas en la sección C.5.5 del reglamento de la NSR-10. Esta práctica refleja una adaptación a las circunstancias específicas del proyecto y una mayor consideración de la información obtenida durante la ejecución.

En general, este enfoque sugiere una gestión más dinámica y ajustada a las condiciones reales, lo que puede contribuir a una dosificación del concreto más precisa y eficiente en función de la información actualizada disponible durante la construcción.

1.3.2.5. Preparación del equipo. Los diferentes reglamentos mantienen los mismos requisitos para la preparación del equipo y el lugar de colocación.

1.3.2.6. Mezclado. Desde el CCCSR-84 se estableció que todo concreto debe ser mezclado hasta lograr una distribución uniforme de los materiales, y la mezcladora debe ser descargada completamente antes de proceder a recargarla. Además, el concreto premezclado debe ser mezclado y entregado cumpliendo con los requisitos establecidos en NTC 3318 (ASTM C94M) o NTC 4027 (ASTM C685M).

Para el concreto que es mezclado en obra, los diferentes reglamentos estipulan que se debe seguir las condiciones establecidos por estos.

1.3.2.7. Curado. El CCCSR-84 estableció las condiciones que se debe tener en cuenta al momento del curado del concreto, manteniéndose así hasta la NSR10, lo cual nos dice que es necesario mantener el concreto a una temperatura superior a 10º C y en condiciones de humedad durante al menos los primeros 7 días después de la colocación, a excepción del concreto de alta resistencia inicial, y que así mismo, el concreto de alta resistencia inicial debe ser mantenido a una temperatura superior a 10º C y en condiciones de humedad durante al menos los primeros 3 días, a menos que el curado se realice de acuerdo con C.5.11.3.

Curado acelerado. Los diferentes reglamentos nos dicen que para acelerar el aumento de resistencia y reducir el tiempo de fraguado, se puede emplear el curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad, o cualquier otro proceso que haya sido previamente aprobado por el Supervisor Técnico. El curado acelerado debe resultar en una resistencia a la compresión del concreto, en la etapa de carga considerada, al menos igual a la resistencia de diseño requerida para esa etapa de carga. El procedimiento de curado debe ser tal que produzca un concreto con una durabilidad equivalente al menos a la que se obtiene utilizando los métodos de curado indicados en C.5.11.1 o C.5.11.2.

Requisitos para clima frio y cálido. Desde el CCCSR-84 se establecieron requisitos a tener en cuenta al momento de la elaboración del concreto en los sitios en donde el clima puede perjudicar a este, manteniendo estos requisitos hasta la NSR-10, los cual se describen en la tabla

Tabla 16.

Requisitos establecidos por los reglamentos para la colocación del concreto en climas fríos y cálidos

REQUISITOS PARA CLIMA FRIO	REQUISITOS PARA CLIMA CALIDO
En zonas sometidas a temperaturas muy bajas, inferiores a 5ºC, es necesario contar con un equipo adecuado para calentar los materiales utilizados en la fabricación del concreto. Esto tiene como objetivo proteger el concreto	En climas cálidos, es crucial prestar una atención adecuada a los materiales componentes, a los métodos de producción, al manejo, la colocación, la protección y el curado del concreto. Esto se hace con el fin de evitar temperaturas excesivas

contra temperaturas de congelamiento o cercanas a ellas. Todos los materiales componentes del concreto, así como el acero de refuerzo, el encofrado, los rellenos y el suelo con los que el concreto estará en contacto, deben estar libres de escarcha. Es fundamental que no se utilicen materiales congelados o que contengan hielo en la preparación del concreto.	en el concreto o la evaporación del agua, ya que estas condiciones podrían afectar negativamente la resistencia requerida o el rendimiento del elemento o de la estructura.

Nota: estos requisitos se encuentran establecidos en la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b), sin embargo, estos requisitos se compararon con los demás reglamentos y se concluyó que no sufrieron cambios.

1.3.3. Cimbras y encofrados, embebidos y juntas de construcción

1.3.3.1. Diseño de cimbras y encofrados. A partir del CCCSR-84 se estableció el propósito de las cimbras y encofrados lo cual, es lograr una estructura que cumpla con la forma, los niveles y las dimensiones de los elementos según lo indicado en los planos de diseño y en las especificaciones, estableciendo unas condiciones generales, la cual se mantienen hasta la NSR10, que son:

Las cimbras y encofrados deben ser esencialmente y suficientemente herméticos para prevenir la fuga del mortero.

Es necesario que las cimbras y encofrados estén adecuadamente arriostrados o amarrados entre sí, de modo que mantengan su posición y forma de manera efectiva.

Es esencial que las cimbras y encofrados, así como sus apoyos, sean diseñados de tal manera que no causen daños a la estructura previamente construida.

De igual forma, a partir del CCCSR-84 se determinó que el diseño de las cimbras y encofrados debe considerar los siguientes factores: Velocidad y método de colocación del concreto; Cargas de construcción, incluyendo cargas verticales, horizontales y de impacto; Requisitos especiales de las cimbras y encofrados para la construcción de cáscaras, losas plegadas, domos, concreto arquitectónico u otros tipos de elementos similares.

1.3.3.2. Embebidos en el concreto. El Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 1984 estableció la posibilidad de embeber conductos, tuberías y camisas de cualquier material compatible con el concreto, siempre y cuando no produzcan efectos nocivos y respetando las limitaciones de la Sección C.6.3 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010). Esta práctica requiere la aprobación tanto del Ingeniero Diseñador como del Supervisor Técnico. Se enfatiza que estos elementos embebidos no deben reemplazar estructuralmente el concreto desplazado.

Asimismo, se mantiene este mismo principio en diferentes reglamentos lo cual se establece que los ductos, tuberías e insertos que atraviesan losas, muros o vigas no deben debilitar significativamente la resistencia estructural. En el caso específico de ductos y tuberías embebidos en columnas, se limita su ocupación a no más del 4 por ciento del área de la sección transversal utilizada para calcular la resistencia, o la requerida para la protección contra incendios.

Excepto cuando los planos de los ductos y tuberías hayan sido aprobados por el profesional facultado para diseñar, aquellos embebidos en losas, muros o vigas, diferentes de los que simplemente atraviesan estos elementos, deben cumplir con ciertas condiciones.

No deben tener dimensiones exteriores mayores que 1/3 del espesor total de la losa, muro o viga, donde estén embebidos.
No deben estar espaciados a menos de 3 veces su diámetro o ancho medido de centro a centro.

No deben afectar significativamente la resistencia del elemento.

1.3.3.3. Juntas de construcción. La (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) menciona que la integridad de la estructura es fundamental, por lo que es crucial que todas las juntas de construcción estén claramente definidas en los documentos de construcción y se ejecuten según las especificaciones. En consecuencia, los demás reglamentos establecen condiciones que a su vez se mantienen de igual manera para cada uno de estos.

1.3.4. Detalles de refuerzos

1.3.4.1. Gancho estándar. Los distintos reglamentos de construcción en Colombia utilizaron el término "Gancho Estándar" con uno de los siguientes significados, según lo describe la NSR-10:

Tabla 17.

Doblez para estribos y ganchos de estribos

Gancho estándar	
Un doblez de 180º	extensión de 4db, pero no menor de 65 mm en extremo libre de la barra
Un doblez de 90º	extensión de 12db en el extremo libre de la barra.
Para estribos y ganchos de estribos	
Barra No. 5 (5/8”) o 16M (16 mm) y menores, doblez de 90º	extensión de 6db en el extremo libre de la barra,
Barra No. 6 (3/4”) o 20M (20 mm), No. 7 (7/8”) 22M (22 mm), y No. 8 (1”) o 25M (25 mm), doblez de 90º	extensión de 12db en el extremo libre de la barra,
Barra No. 8 (1”) o 25M (25 mm) y menor, doblez de 135º	más extensión de b 6d en el extremo libre de la barra.

En los estribos de confinamiento necesarios según lo establecido en el Capítulo C.21 para estructuras de capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES) en construcción sismo resistente, se requiere la utilización de ganchos sísmicos con un doblez de 135º o más y una extensión de 6 veces el diámetro del refuerzo, pero no menor de 75 mm. Estos ganchos deben abrazar el refuerzo longitudinal del elemento y proyectarse hacia el interior de la sección del elemento.

En el caso de ganchos suplementarios, el doblez en los extremos debe ser un gancho sísmico de 135º o más, con una extensión de 6 veces el diámetro del refuerzo, pero no menor de 75 mm. Se permite que en uno de los extremos se utilice un gancho de 90º o más, con una extensión de 6 veces el diámetro del refuerzo. La definición de ganchos sísmicos se encuentra en C.2.2 de la NSR10.

Nota: Estos requisitos fueron tomados del reglamento colombiano de construcción sismo resistente, (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b), teniendo en cuenta que estos requisitos son de igual manera para los demás reglamentos.

1.3.4.2. Diámetro mínimo de doblado. Desde el CCCSR-84 se fijaron los diámetros mínimos de doblez para las barras empleadas en la construcción, y esta especificación se ha mantenido de manera consistente en los reglamentos subsiguientes especificados en la tabla 18

Tabla 18.

Tabla de diámetro mínimo de doblado según la NSR-10

Diámetro de las barras	Diámetro mínimo de doblado
No. 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) a No. 8 (1”) ó 25M (25 mm)	$6d_b$
No. 9 (1-1/8”) ó 30M (30 mm), No. 10 (1-1/4”) ó 32M (32 mm) y No. 11 (1-3/8”) ó 36M (36 mm)	$8d_b$
No. 14 (1-3/4”) ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4”) ó 55M (55 mm)	$10d_b$

Nota: la tabla muestra los diámetros mínimos de doblez según su diámetro de barra establecidos en la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) de igual manera para los demás reglamentos.

1.3.4.3. Condiciones para el doblamiento. Todos los reglamentos colombianos de construcción sismo resistente establecen que todo refuerzo debe ser doblado en frío, a menos que el profesional facultado para diseñar permita lo contrario. No se permite doblar en obra ningún refuerzo parcialmente embebido en el concreto, a menos que esté indicado en los planos de diseño o lo permita expresamente el profesional facultado para diseñar.

1.3.4.4. Condiciones de la superficie del refuerzo. El CCCSR-84 estableció que, en el momento de colocar el concreto, el refuerzo debe estar libre de barro, aceite o cualquier otra sustancia que pueda afectar la adherencia entre el acero y el concreto. Tanto la NSR-98 como la NSR-10 permiten el uso de barras con recubrimiento epóxico que cumplan con las normas técnicas mencionadas en C.3.5.3.8 y C.3.5.3.9 de la NSR-10.

En relación con el estado del refuerzo, excepto el acero de pre-esforzado, con óxido, escamas o una combinación de ambos, se considerará satisfactorio si las dimensiones mínimas (incluyendo la altura de los resaltes del corrugado) y el peso de una muestra limpiada utilizando un cepillo de alambre de acero cumplen con las especificaciones NTC (o ASTM en su defecto) aplicables, según se indica en C.3.5. de la NSR-10. Además, estos reglamentos establecen que el acero de pre-esforzado debe estar limpio y libre de óxido excesivo, aceite, mugre, escamas y picaduras, admitiéndose una oxidación ligera.

1.3.4.5. Colocación del Refuerzo. El refuerzo, que incluye tanto los tendones como los ductos de pre-esforzado, debe ser colocado con precisión y asegurado adecuadamente antes de verter el concreto. Debe fijarse de manera que se evite cualquier desplazamiento, A menos que el profesional facultado para diseñar indique lo contrario, el

refuerzo, que incluye tanto los tendones como los ductos de pre-esforzado, debe ser colocado en las posiciones especificadas, dentro de las tolerancias establecidas en la tabla 19.

Tabla 19.

Tolerancia para (d) y recubrimiento especificado del concreto según los reglamentos

Valor de d	Tolerancia en d			Tolerancia en el recubrimiento especificado del concreto		
	CCCSR84	**NSR98**	**NSR10**	**CCCSR84**	**NSR98**	**NSR10**
d ≤ 200 mm	± 10 mm	± 10 mm	± 10 mm	-10mm	-10mm	-10mm
d > 200 mm	± 12 mm	± 12 mm	± 13 mm	-13mm	-12mm	-13mm

Por otra parte, se puede evidenciar que el reglamento de la NSR-10 con respecto al NSR-98 realizo algunos cambios con respecto a la tolerancia en (d) para mayores de 200mm esto se debe a que

Límites del espaciamiento del refuerzo

Los espaciamientos mínimos entre las barras se mantienen sin cambios desde el CCCSR-84 a la NSR-98 con la NSR-10 estos sufrieron algunos cambios, lo cual deben cumplir los siguientes requisitos establecidos en la tabla 20:

Tabla 20.

Límites de espaciamiento del refuerzo según los reglamentos y cambios que tuvieron

CCCSR-84 y NSR-98	NSR-10	CAMBIOS
La distancia libre entre barras paralelas colocadas en una fila (o capa), no debe ser menor que el diámetro db de la barra, no menor de 25 mm ni menor de 1.33 veces el tamaño del agregado grueso (Véase C.3.3.3).	La distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser db, pero no menor de 25 mm. Véase también C.3.3.2	La NSR-10 elimino el valor a tener en cuenta con respecto al agregado grueso
cuando se coloquen dos o más filas (o capas) de barras, las barras superiores deben colocarse directamente encima de las inferiores, y la separación libre entre filas no debe ser menor de 25 mm	Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores, con una distancia libre entre capas no menor de 25 mm	No sufrió cambios
En columnas con estribos o refuerzos en espiral, la distancia libre entre barras longitudinales debe ser mayoro igual a 1.5db, 40 mm o 1.33 veces el tamaño máximo del agregado grueso. (Véase C.3.3.3)	En elementos a compresión reforzados con espirales o estribos, la distancia libre entre barras longitudinales no debe ser menor de b1.5d, ni de 40 mm. Véase también C.3.3.2	La NSR10 elimino el valor a tener en cuenta con respecto al agregado grueso
La especificación de distancia libre entre barras, debe cumplirse también en la separación libre entre un empalme por traslapo y otros empalmes u otras barras	La limitación de distancia libre entre barras también se debe aplicar a la distancia libre entre un empalme por traslapo y los empalmes o barras adyacentes.	No sufrió cambios

CCCSR-84 y NSR-98	NSR-10	CAMBIOS
En losas macizas y muros, las barras de refuerzo a flexión deben tener una separación máxima de 3 veces el espesor de la losa o muro, pero no mayor de 500 mm, excepto en las secciones críticas de losas en dos direcciones, donde no debe exceder 2 veces el espesor de la losa (véase C.13.5.2). Cuando se trate de refuerzo de temperatura la separación debe ser menor de 5 veces el espesor de la losa o muro, pero no mayor de 500 mm	En muros y losas, exceptuando las losas nervadas, la separación del refuerzo principal por flexión no debe ser mayor de 3 veces el espesor del muro o de la losa, ni de 450 mm, excepto que en secciones críticas de losas en dos direcciones no debe exceder 2 veces el espesor de la losa (véase el Capítulo C.13). Cuando se trate de refuerzo de temperatura en losas la separación máxima no debe exceder 5 veces el espesor de la losa ni 450 mm (véase C.7.12)	La NSR10 exceptúa a las losas nervadas de este requisito, y reduce la separación del refuerzo principal y el refuerzo de temperatura de un 50 mm menos con respecto a la NSR-98

1.3.4.6. Protección de concreto para el refuerzo (Recubrimiento del Refuerzo).

Cuando se prescribe un recubrimiento de concreto para una clase de elemento estructural en el concreto construido en el sitio como se define en la tabla 21, se debe tener en cuenta unas medidas establecidas a partir del CCCSR-84 o para ser más precisos en la sección C.7.7 del reglamento NSR-10 se encuentran establecidos, Por lo tanto, al exigir un recubrimiento mayor de concreto, los diferentes reglamentos establecen valores específicos. Al comparar estos valores, se concluye que la NSR-10 opera en algunos casos con los mayores valores. En cualquier caso, el recubrimiento especificado para el refuerzo no debe ser menor que los valores establecidos por la normativa aplicable, considerando las condiciones particulares mencionadas anteriormente.

Tabla 21.

Recubrimiento del concreto según el refuerzo dado por los diferentes reglamentos

	Descripción	recubrimiento de concreto		
		CCCSR84	**NSR98**	**NSR10**
1	**Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a el**	75 mm	70 mm	75 mm
2	**Concreto expuesto a suelo o a la intemperie:**			
	No. 6 (3/4”) o 20M (20 mm) a No. 18 (2-1/4”) o 55M (55 mm)	50 mm	50 mm	50 mm
	Barras No. 5 (5/8”) o 16M (16 mm), alambre MW200 o MD200 (16 mm de diámetro) y menores	38 mm	40 mm	40 mm
3	**Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:**			
3.1.	Losas, muros, viguetas:			
	Barras No. 14 (1-3/4”) o 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4”) o 55M (55 mm)	-	40 mm	40 mm
	Barras No. 11 (1-3/8”) o 36M (36 mm) y menores	-	30 mm	20 mm
3.2.	Vigas, columnas			
	Armadura principal, estribos, espirales	25-38 mm	30–40mm	40 mm
3.3.	Cáscaras y placas plegadas:			
	Barra No. 6 (3/4”) o 20M (20 mm) y mayores	20 mm	20 mm	20 mm
	Barras No. 5 (5/8”) o 16M (16 mm), alambres MW200 o MD200 (16 mm de diámetro) y menores		13 mm	15 mm

Paquetes de barras. El recubrimiento de concreto mínimo especificado para los paquetes de barras no debe ser inferior al diámetro equivalente del paquete, pero no es necesario que exceda los 50 mm. Sin embargo, para el concreto construido contra el suelo y permanentemente expuesto a él, el recubrimiento de concreto especificado no debe ser inferior a 70 mm, según la NSR98. A partir de la NSR10, el recubrimiento de concreto especificado no debe ser menor a 75 mm.

Pernos con cabeza para refuerzo de cortante. A partir de la NSR-10, para los pernos con cabeza utilizados para refuerzo de cortante, el recubrimiento especificado de concreto para las cabezas y la base común no debe ser menor que el requerido para el refuerzo en el tipo de elemento en el cual se colocará el perno soldado con cabeza.

1.3.4.7. Detalles especiales del refuerzo para columnas. Barras dobladas por cambio de sección. A partir del CCCSR-84 se establecieron requisitos específicos para las barras longitudinales dobladas debido a un cambio de sección. Adicionalmente, cuando la cara de una columna está desalineada 80 mm o más por cambio de sección, las barras longitudinales no se deben doblar. En la NSR-10, este valor de desalineación se redujo a 75 mm, y se introduce el concepto de espigos (dowels). En este caso, se deben proporcionar empalmes por traslape con las barras longitudinales adyacentes a las caras desalineadas de la columna. Los empalmes por traslape deben cumplir con lo especificado en C.12.17.

Núcleos de acero estructural. El concepto de la transmisión de cargas en los núcleos de acero estructural de elementos compuestos sometidos a compresión se introdujo a partir de la NSR98. De acuerdo con la sección C.7.8.2 de la NSR-10, los requisitos para la transmisión de cargas en estos elementos deben seguir las pautas establecidas en dicha sección.

1.3.4.8. Detalles especiales en los Nudos (Conexiones). En las conexiones de los elementos principales de pórticos, como vigas y columnas, se debe implementar confinamiento para los empalmes del refuerzo que continúa y para el anclaje del refuerzo que termina en tales conexiones. Este confinamiento en las conexiones puede lograrse mediante concreto exterior, estribos cerrados o espirales interiores, y esta exigencia está establecida desde el CCCSR-84.

1.3.4.9. Refuerzo transversal para elementos a compresión. El refuerzo transversal en elementos sometidos a compresión debe cumplir con las disposiciones relacionadas con espirales y estribos. Cuando se necesite refuerzo por cortante o torsión, este debe ajustarse a las disposiciones establecidas en el Capítulo C.11.

Espirales. El refuerzo en espiral para elementos sometidos a compresión debe cumplir con C.10.9.3 de la NSR10, así como con los requisitos adicionales que se detallan en la sección c.7.10.4 de este mismo reglamento, no obstante, a continuación, se observan los cambios que se presentaron respecto a los otros reglamentos:

El espaciamiento libre entre hélices de la espiral no debe exceder de 80 mm ni ser menor de 25 ms. A partir de la NSR-10 este valor no debe exceder 75 mm.

A partir de la NSR-98, se omitieron los siguientes requisitos que eran establecidos por el CCCSR-84: En espirales de barra menor de No. 5 debe utilizarse un mínimo de dos espaciadores para espirales de 50 cm de diámetro o mayores, tres espaciadores para espirales entre 50 y 75 cm de diámetro y cuatro espaciadores para espirales de más de 75

cm de diámetro. O en espirales de barra No. 5 o mayor debe utilizarse un mínimo de tres espaciadores para espirales con diámetro de 60 cm o menos y cuatro espaciadores para espirales de más de 60 cm de diámetro.

El refuerzo en espiral debe empalmarse, si se requiere, por alguno de los siguientes métodos establecidos específicamente a partir de la NSR-10.

Estribos. En la normativa colombiana, específicamente en la NSR-10, los estribos para elementos sometidos a compresión, según se describe en la sección C.7.10.5 del Título C, deben cumplir con ciertos requisitos establecidos desde el CCCSR-84. Sin embargo, hay una adición importante en comparación con la NSR-98, cuando se coloquen pernos de anclaje en los extremos de las columnas o pedestales, estos deben estar circundados por refuerzo lateral. Este refuerzo lateral también debe rodear al menos cuatro barras verticales de la columna o pedestal. La distribución de este refuerzo lateral debe estar dentro de los 125 mm medidos desde la parte superior de la columna o pedestal, y debe consistir en al menos dos barras No. 4 (1/2") o 12M (12 mm), o tres barras No. 3 (3/8") o 10M (10 mm). Estos requisitos adicionales garantizan una conexión segura y resistente en los extremos de las columnas o pedestales que cuentan con pernos de anclaje.

1.3.4.10. Refuerzo transversal para elementos a flexión. En vigas, el refuerzo a compresión debe confinarse mediante estribos que cumplan las limitaciones de tamaño y espaciamiento establecidas en la sección C.7.10.5 de la NSR10, tal como fue descrito en el CCCSR-84. También se permite el uso de refuerzo electrosoldado de alambre de área

equivalente como alternativa a los estribos. Estos estribos deben colocarse a lo largo de toda la distancia donde se requiera refuerzo a compresión.

En el caso de elementos de pórticos sometidos a esfuerzos reversibles de flexión o torsión en los apoyos, el refuerzo transversal debe consistir en estribos cerrados o espirales colocados alrededor del refuerzo de flexión. Los estribos cerrados pueden formarse de una sola pieza con sus ganchos extremos colocados superpuestos abrazando la misma barra longitudinal. Alternativamente, pueden formarse de una o dos piezas unidas mediante un empalme por traslapo de Clase B (longitud de traslapo de d1.3A) o anclándolas de acuerdo con C.12.13 de la NSR-10. Estas disposiciones buscan proporcionar la adecuada resistencia y confinamiento del refuerzo a compresión en vigas y elementos de pórticos.

1.3.4.11. Refuerzos de tracción y temperatura. El refuerzo de retracción y temperatura debe ser proporcionado de acuerdo con las disposiciones establecidas en C.7.12.2 o C.7.12.3 de la NSR-10. A demás a partir de la NSR10 se establece que Cuando los movimientos debidos a la retracción y la temperatura están restringidos de manera significativa, es necesario tener en cuenta los requisitos adicionales descritos en C.8.2.4 y C.9.2.3 de dicha normativa. Sin embargo, El refuerzo corrugado, que cumple con los requisitos de C.3.5.3, utilizado como refuerzo de retracción y temperatura, debe colocarse siguiendo las pautas que se detallan a continuación:

La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados según las disposiciones de la normativa, pero nunca inferior a 0.0014 esto establecido a partir de la NSR-98 en comparación al CCCSR-84 este debería ser inferior a

0.0010. de igual manera como se puede observar en la tabla 22 los valores de la cuantía del reglamento del CCCSR-84 son inferiores con respecto a los demás reglamentos, esto se debe a que el momento de determinar la cantidad de refuerzo se aproveche de una mejor manera el área del acero con respecto al área transversal del elemento en cuestión.

Tabla 22.

Cuantía de refuerzo de retracción y temperatura según los diferentes reglamentos.

DESCRIPCION	CCCSR84	NSR98	NSR10
En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 280 o 350	0.0015	0.0020	0.0020
En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre	0.0012	0.0018	0.0018
En losas donde se utilice refuerzo de una resistencia a la fluencia mayor que 420 MPa, medida a una deformación unitaria de 0.35 por ciento	$\frac{0.0012x4200}{fy}$	$\frac{0.0018x420}{fy}$	$\frac{0.0018x420}{fy}$

A demás, El refuerzo de retracción y temperatura no debe colocarse con una separación mayor de 5 veces el espesor de la losa ni de 500mm estipulado por la NSR98, de lo contrario el reglamento vigente establece que la separación del refuerzo no debe ser mayor a 450mm.

1.3.5.

son apropiadas para carga viva, cargas de viento y sísmicas, según lo prescrito en los Títulos A y B de cada reglamento.

1.3.5.3. Métodos de análisis. En el diseño de todos los elementos de pórticos o estructuras continuas, se debe considerar la resistencia a los efectos máximos generados por las cargas mayoradas, determinadas conforme a la teoría del análisis elástico. Sin embargo, existe una excepción cuando se aplican modificaciones de acuerdo con C.8.4, según lo establecido en la sección correspondiente 8.3 del Reglamento ACI 318.

Es importante destacar que en la versión anterior del Reglamento colombiano NSR-98, se consideró inapropiado el uso de los métodos aproximados presentados en la sección 8.3 del ACI 318, limitándolos únicamente a las losas de entrepiso. Esta restricción se mantuvo en la redacción de la nueva versión del Reglamento NSR-10, donde se conservó la filosofía de restringir el uso de dichos métodos exclusivamente a las losas de entrepiso, como se detalla en el Capítulo C.13.

A partir de la NSR-10, se autoriza el uso de modelos puntal-tensor para el diseño del concreto estructural, según lo establecido en el Apéndice C-A. Este modelo se fundamenta en la premisa de que ciertas partes de las estructuras de concreto pueden ser analizadas y diseñadas utilizando cerchas hipotéticas, que se componen de puntales y tensores conectados en nodos. La aplicación de este método de diseño es adecuada para zonas en las que las hipótesis básicas de la teoría de la flexión no son aplicables, como aquellas cercanas a discontinuidades en las fuerzas derivadas de cargas o reacciones concentradas, y áreas

próximas a discontinuidades geométricas, como cambios abruptos en las secciones transversales.

1.3.5.4. Redistribución de momentos en elementos continuos sometidos a flexión

Antes de la versión 2008, el Reglamento ACI 318 se centraba en la redistribución del momento permitiendo un aumento o disminución de los momentos negativos mayorados por encima o por debajo de los valores calculados elásticamente, dentro de límites específicos. El cambio realizado en 2008 impuso las mismas limitaciones porcentuales tanto para momentos positivos como negativos lo cual fueron evidenciados a partir del reglamento de la NSR-10.

1.3.5.5. Módulo de elasticidad

Según se menciona en la tabla 30, en el CCCSR-84, en casos en los que no se disponía de valores experimentales, no se empleaba un módulo de elasticidad específico. Esta situación ha cambiado a partir de la NSR-98, donde se introdujeron criterios específicos para abordar casos en los que no se cuentan con valores experimentales del módulo de elasticidad. Estos cambios reflejan un enfoque más detallado y adaptativo en el tratamiento del módulo de elasticidad, reconociendo la importancia de proporcionar criterios claros y aplicables en situaciones en las que la información completa puede no estar disponible.

La inclusión de criterios específicos para casos sin valores experimentales en la NSR-98 y, por extensión, en reglamentos posteriores, busca brindar directrices más sólidas y precisas para el diseño estructural, contribuyendo así a la mejora continua de los estándares de construcción como se muestra en la tabla 23

Tabla 23.

Módulo de elasticidad según los diferentes reglamentos

MODULO DE ELASTICIDAD			
DESCRIPCION	**CCCSR84**	**NSR98**	**NSR10**
El módulo de elasticidad, Ec , para el concreto puede tomarse como	-	-	$w_c^{1.5}0.043\sqrt{f'c}$
Para concreto de densidad normal, Ec puede tomarse como	$13000\sqrt{f'c}$	-	$4700\sqrt{f'c}$
Para acero de refuerzo no preesforzado Es	2.040.000 (Kg/cm2)	200.000 Mpa	200.000 Mpa
En caso de que no se disponga de este valor experimental, para concretos cuya masa unitaria varíe entre		entre 1450 y 2450 (Kg/m3)	entre 1440 y 2460 (Kg/m3)
Para agregado grueso de origen ígneo:	-	$Ec = w_c^{1.5}0.047\sqrt{f'c}$	
Para agregado grueso de origen metamórfico:	-	$Ec = w_c^{1.5}0.041\sqrt{f'c}$	
Para agregado grueso de origen sedimentario:	-	$Ec = w_c^{1.5}0.031\sqrt{f'c}$	
El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es	-	$Ec = w_c^{1.5}0.034\sqrt{f'c}$	
En ausencia de un valor experimental de Ec o cuando no se disponga del valor de la masa unitaria del concreto, puede utilizarse:			
Para agregado grueso de origen ígneo:	-	$Ec = 5500\sqrt{f'c}$	
Para agregado grueso de origen metamórfico:	-	$Ec = 4700\sqrt{f'c}$	

MODULO DE ELASTICIDAD			
DESCRIPCION	**CCCSR84**	**NSR98**	**NSR10**
Para agregado grueso de origen sedimentario:	-	$Ec = 3600\sqrt{f'c}$	
El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es	-	$Ec = 3900\sqrt{f'c}$	

1.3.5.6. Concreto liviano

A partir del reglamento NSR-10 se estableció que, para el uso de concreto de peso liviano, se debe emplear el factor de modificación λ como multiplicador de c f′ en todas las ecuaciones y secciones aplicables del Título C de dicho reglamento como lo muestra la tabla 24. Este factor λ refleja la resistencia a tracción más baja del concreto de peso liviano, lo cual puede afectar diversas propiedades como la resistencia a cortante, las propiedades de fricción, la resistencia al hendimiento, la adherencia entre el concreto y el refuerzo, y puede aumentar las longitudes de desarrollo en comparación con el concreto de peso normal de igual resistencia a compresión.

Tabla 24.

Factor de modificación para el concreto liviano

λ=0.85	**λ=0.75**
para concreto liviano de arena de peso normal	para los otros concretos de peso liviano

	Se permite la interpolación entre 0.75 y 0.85, con base en fracciones volumétricas, cuando una porción de los agregados finos de peso liviano es reemplazada por agregado fino de peso normal. Se permite la interpolación lineal entre 0.85 y 1.0 para el concreto que contiene agregado fino de peso normal y una combinación de agregados gruesos de peso normal y de peso liviano. Para el concreto de peso normal λ= 1.0

Nota: Información tomada de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b)

1.3.5.7. Rigidez

El Reglamento NSR-98 incorpora el término de rigidez, permitiendo la adopción de cualquier conjunto de suposiciones razonables para calcular las rigideces relativas a flexión y torsión de columnas, muros y sistemas de entrepisos y cubierta, mantenido esto de igual manera el reglamento de la NSR-10

Rigidez efectiva para determinar las deflexiones laterales. El Reglamento NSR-10 incorpora el concepto de deflexiones laterales en su capítulo, dándole importancia. Este consiste en que las deflexiones laterales de los sistemas estructurales de concreto reforzado, provenientes de las fuerzas laterales de servicio, lo cual, deben calcularse mediante un análisis lineal utilizando una rigidez de los elementos calculada como 1.4 veces la rigidez a flexión definida en C.8.8.2 y C.8.8.3 de dicho reglamento, o mediante un análisis más detallado. Además, se establece que las propiedades de los elementos no deben considerarse mayores que las propiedades de la sección bruta.

Longitud del vano.

En cuanto a la disposición de la carga viva, se permite suponer que está limitada a combinaciones específicas, como carga muerta mayorada en todos los vanos con la carga viva mayorada en dos vanos adyacentes, y carga muerta mayorada en todos los vanos con la carga viva mayorada en vanos alternados. Estas suposiciones proporcionan un enfoque práctico para el análisis y diseño de las columnas en situaciones de carga viva.

1.3.5.10. Sistemas de vigas T

Las disposiciones mencionadas para la construcción de vigas T, desde el reglamento CCCSR-84 hasta el reglamento actual NSR-10, establecen condiciones específicas para garantizar la adecuada conexión y comportamiento de las vigas T. Vigas en losa nervadas La descripción de la losa nervada que consiste en una combinación monolítica o prefabricada de viguetas regularmente espaciadas en una o dos direcciones, y una losa colocada en la parte superior, se incorporó a partir del reglamento de la NSR-10. Este tipo de losa presenta una serie de características que la distinguen y que deben ser consideradas en su diseño y construcción.

Las condiciones específicas para el diseño de losas nervadas se encuentran en la sección C.8.13 del Reglamento NSR-10. Estas condiciones pueden abordar aspectos como las propiedades del material, disposición de refuerzo, espaciamiento de las viguetas, espesor de la losa y otros detalles necesarios para asegurar la resistencia y estabilidad de la losa nervada.

Es importante referirse a la sección específica del reglamento para obtener detalles precisos sobre el diseño y construcción de losas nervadas, ya que estas disposiciones pueden variar entre diferentes reglamentos y códigos de construcción.

Acabado de piso separado

La inclusión del acabado del piso como componente estructural solo es válida cuando se construye monolíticamente con la losa o se diseña conforme a las pautas del Capítulo C.17 del Título C del Reglamento NSR-10. En situaciones inusuales de desgaste, la decisión de aumentar el espesor se deja a la discreción del profesional capacitado para el diseño. Además, se permite considerar cualquier acabado de concreto en el piso como parte del recubrimiento necesario o del espesor total, pero solo para consideraciones no estructurales. En consonancia con las ediciones anteriores del Reglamento ACI 318, la resistencia del acabado del piso solo se tiene en cuenta si se construye de manera monolítica con la losa, y la inclusión en la altura estructural se permite solo si se asegura la acción compuesta según lo establecido en el Capítulo C.17.

1.3.6. Requisitos De Resistencia Y Funcionamiento

1.3.6.1. Resistencia requerida

La resistencia requerida de una estructura se determina como el valor máximo, expresado en términos de carga, momentos y fuerzas internas asociadas como lo determina la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010). Este valor resulta de aplicar a la

estructura diversas cargas, como las cargas muertas, vivas, sísmicas, de viento, y las provocadas por cambios de temperatura, retracción de fraguado, flujo plástico, empuje de tierra o líquidos. Estas cargas son mayoradas y combinadas para obtener la resistencia necesaria que asegure la estabilidad y seguridad de la estructura.

Las combinaciones de carga especificadas en C.9.2.1 del Reglamento NSR-10 incorporan factores de carga más bajos en comparación con los establecidos en el Reglamento NSR-98. Sin embargo, en esta nueva versión del reglamento, se han introducido valores más bajos para los coeficientes de reducción de resistencia, φ, en comparación con los que se encontraban en el Reglamento NSR-98. Estos nuevos valores están en concordancia con la probabilidad de falla estructural establecida por el reglamento. Por lo tanto, es incorrecto y poco seguro utilizar las ecuaciones de combinación de carga de C.9.2.1 con los valores antiguos de los coeficientes de reducción de resistencia, φ, establecidos en la NSR-98.

La resistencia requerida U debe ser por lo menos igual al efecto de las cargas mayoradas dadas en las siguientes ecuaciones demostradas en la tabla 25. Debe investigarse el efecto de una o más cargas que no actúan simultáneamente y sus excepciones que están especificadas en C9.2.1 del reglamento de la NSR-10

Tabla 25.

Combinaciones de carga mayoradas respecto a los diferentes reglamentos.

Combinaciones de Cargas de CCCSR-84 y NSR-98	**Combinaciones de Carga de la NSR-10**

1.4D + 1.7L	1.4 (D + L)
1.05D + 1.28L + 1.28W	1.2(D+F+T) + 1.6(L+H) + 0.5(Lr o G o
0.9D + 1.3W	Le)
1.05D + 1.28L + 1.0E	1.2D + 1.6(Lr o G o Le) + (1.0L o 0.8W)
0.9D + 1.0E	1.2D + 1.6W +1.0L + 0.5(Lr o G o Le)
1.4D + 1.7L + 1.7H	1.2D + 1.0E +1.0L
1.05D + 1.28L + 1.05T	0.9D + 1.6W + 1.6H
1.4D + 1.4T	0.9D + 1.0E + 1.6H

mencionando que las normas sismo resistentes colombianas, en sus versiones de CCCSR-84 y NSR-98, adoptaron en su Título A fuerzas sísmicas de diseño al nivel de resistencia, lo que implica que el factor de carga para sismo es la unidad (1.0) en esas versiones, al igual que en la presente NSR-10. Otros reglamentos modelo y publicaciones sobre cargas de diseño han adoptado fuerzas sísmicas correspondientes al nivel de resistencia, reduciendo el factor de carga por sismo a 1.0. Además, el Título C del Reglamento NSR-10 permite usar el anterior factor 1.3 de carga por viento, ya que las cargas por viento del Reglamento NSR-10, contenidas en su Título B, no incluyen el factor de direccionalidad del viento.

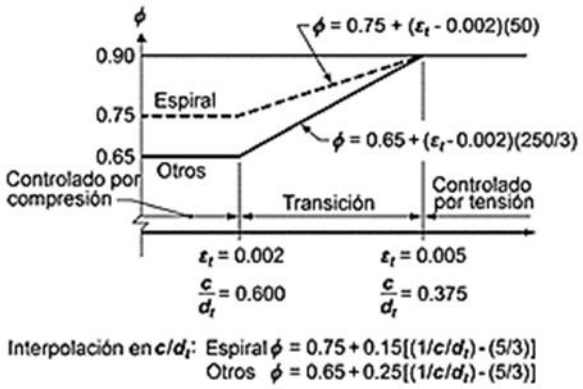
1.3.6.2. Resistencia de diseño

Antes del Reglamento NSR-10, se especificaba la magnitud del factor φ para casos de carga axial, flexión, compresión, cortante y aplastamiento entre otros en términos del tipo de carga descritos. Con la implementación de la NSR-10, se introdujeron factores de carga para zonas de anclaje, elementos embebidos y el modelo puntal-tensor. Además, se

incorporó la figura 4 que muestra la variación de la resistencia en relación con la deformación unitaria neta de tracción en el acero, específicamente para el refuerzo de grado 420 (acero de alta resistencia) y para el acero pre-esforzado.

Figura 4.

Variación de la resistencia en relación con la deformación unitaria neta de tracción en el acero.



Nota: figura tomada de la variación de la resistencia en relación con la deformación unitaria neta de tracción en el acero de la(Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b)

1.3.6.3. Resistencia de diseño para el refuerzo

Hasta el Reglamento NSR-98, no se debían utilizar resistencias a la fluencia del acero de refuerzo mayores de 560 MPa, a excepción de los alambres o cables para pre-esforzado. A partir del NSR-10, el valor utilizado para los cálculos no debe exceder los 550 MPa. El máximo valor permitido para el diseño del refuerzo en cortante y torsión es de 420 MPa, excepto que se puede utilizar un valor de hasta 550 MPa para el refuerzo de cortante

que cumpla con los requisitos de NTC 2310 (ASTM A497M). En las secciones C.19.3.2 y C.21.1.5.2 del Reglamento NSR-10, se especifica que la máxima resistencia a la fluencia es de 420 MPa para cascarones, losas plegadas, pórticos especiales resistentes a momento y muros estructurales especiales.

1.3.6.4. Control de deflexiones

Como se especifica en la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b). los elementos de concreto reforzado sometidos a flexión deben ser diseñados con una rigidez adecuada para limitar cualquier deflexión que pueda afectar adversamente la resistencia o el rendimiento de la estructura. Las disposiciones de control de deflexiones se centran exclusivamente en las deflexiones que pueden ocurrir a niveles de carga de servicio. Esta condición es establecida de igual manera para los diferentes reglamentos.

Elementos reforzados en una dirección. Las alturas o espesores mínimos establecidos las siguientes tablas deben ser aplicados a los elementos en una dirección que soporten o no y estén ligados a particiones u otros elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que el cálculo de las deflexiones indique que se puede utilizar un espesor menor sin causar efectos adversos, a partir de la NSR-98 estas fórmulas sufrieron unos cambios en comparación al CCCSR-84 manteniéndose así hasta la NSR-10

Tabla 26.

Altura o espesor mínimo de vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección en comparación con los diferentes reglamentos.

Alturas o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones								
Elementos	**Simplemente apoyada**		**con un extremo continuo**		**Ambos extremos continuos**		**En voladizo**	
	CCCSR-84	**NSR-98 NSR-10**	**CCCSR-84**	**NSR-98 NSR-10**	**CCCSR-84**	**NSR-98 NSR-10**	**CCCSR-84**	**NSR-98 NSR-10**
Losa maciza en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{22}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{29}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$	$\frac{l}{8}$

Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones				
Elementos	**Simplemente apoyada**	**con un extremo continuo**	**Ambos extremos continuos**	**En voladizo**
	NSR-98 - NSR10	**NSR-98 - NSR-10**	**NSR-98 NSR-10**	**NSR-98 NSR-10**
Losa maciza en una dirección	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{19}$	$\frac{l}{7}$
Vigas o losas nervadas en	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{5}$

una
dirección

El reglamento de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010)establece que Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de concreto de peso normal y refuerzo grado 420 MPa. Para otras condiciones

Cuando se calculan las deflexiones inmediatas (o deflexiones bajo carga inmediata), se deben utilizar métodos o fórmulas usuales para deflexiones elásticas. Estos métodos tienen en cuenta la rigidez elástica del elemento, considerando los efectos de fisuración y del refuerzo en la rigidez estructural.

Es fundamental utilizar métodos de análisis que tengan en cuenta la interacción entre el concreto y el refuerzo para obtener deflexiones precisas bajo cargas inmediatas. Estos métodos pueden variar según el tipo de elemento estructural y la configuración de la carga aplicada es necesario acudir a la sección C.9.5.2 del reglamento de la NSR-10 para obtener más información.

Las deflexiones máximas calculadas permisibles cambiaron con respecto al CCCSR-84 y estas no deben ser superiores a las limites dadas en la tabla C.9.5 que son establecidas en el reglamento de la NSR-10.

Elementos reforzados en dos direcciones. La necesidad de esta sección surgió a partir del Reglamento de la NSR-98 para establecer el espesor mínimo de losas u otros

elementos reforzados en dos direcciones, diseñados conforme a las disposiciones del Capítulo de sistemas de losas en una y dos direcciones, y que cumplan con los requisitos de C.13.6.1.2 del Reglamento de la NSR-10. En este contexto, se establecen los requisitos para el espesor de las losas sin vigas interiores que se extiendan entre los apoyos en todos los sentidos, así como el espesor de las losas con vigas que se extiendan entre los apoyos en todos los sentidos.

El espesor mínimo de las losas sin vigas interiores que se extiendan entre los apoyos y que tienen una relación entre lados no mayor que 2, debe cumplir con lo requerido en la tabla C.9.5 y no debe ser inferior que los siguientes valores dados en la sección C.9.5.3 del reglamento de la NSR-10, que este en comparación de la NSR-98 modifico sus valores implementando los valores para la construcción con acero de alta resistencia que es de 520MPa deben diseñarse bajo los requisitos establecidos en el tabla C.9.5(c) establecidos en la NSR-10.

1.3.7. Flexión y carga axiales

1.3.7.1. Distancia entre los apoyos laterales de elementos sometidos a flexión

La distancia entre los apoyos laterales de elementos sometidos a flexión, como vigas, no debe exceder de 50 veces el menor ancho (b) del ala o cara de compresión. Al determinar la separación entre los apoyos laterales, es importante tener en cuenta los efectos de la excentricidad lateral de la carga. Esto siendo así desde el CCCSR-84

Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión. En toda sección de un elemento sometido a flexión, cuando el análisis indique la necesidad de refuerzo de tracción, a excepción de lo establecido a continuación, el área de acero proporcionada (As.min) no debe ser menor que la obtenida mediante la ecuación 6

$$A_{s.min} = \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \qquad (6)$$

$$\text{pero no debe ser menor que } \left(\frac{1.4 b_w d}{f_y}\right)$$

Estos requisitos fueron reformulados a partir de la NSR-98, presentando una nueva fórmula que incluye el ancho del alma (bw). Además, estos requisitos no necesitan aplicarse si, en cada sección, el área de acero proporcionada es al menos un tercio superior al requerido por el análisis.

Para losas estructurales y zapatas de espesor uniforme, el área de acero mínimo en la dirección de la luz debe ser el mismo que el requerido por el refuerzo y la temperatura. El espaciamiento máximo de este refuerzo no debe exceder tres veces el espesor ni 500 mm, en comparación con la NSR-10, donde el espaciamiento no debe exceder los 450 mm.

1.3.7.2. Distribución del refuerzo de flexión en vigas y losas en una dirección

El CCCSR-84 estableció que el refuerzo para tracción de flexión debe distribuirse uniformemente dentro de las zonas de máxima tracción de flexión de la sección transversal del elemento. Además, la NSR-98 implementó que cuando la resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo fy excede los 300 MPa, las secciones transversales de

máximo momento positivo y negativo deben dimensionarse de tal manera que el parámetro "z" dado por la ecuación 7:

$$z = fs\sqrt[3]{d_c A} \qquad (7)$$

Y que este no exceda 30MN/m para concreto que no se encuentra expuesto a la intemperie y de 25 MN/m para concreto expuesto a la intemperie, La NSR-10 modificó este último criterio teniendo en cuenta los esfuerzos de servicio más altos que ocurren en el refuerzo de flexión y establece que el espaciamiento del refuerzo más cercano a una superficie en tracción, "s," no debe ser mayor que el dado por la ecuación 8:

$$\mathrm{s} = 380\left(\frac{280}{fs}\right) - 2.5c_c \qquad (8)$$

pero no mayor que 300(280/fs), donde Cc es la menor distancia desde la superficie del refuerzo o acero de pre-esforzado a la cara en tracción.

Estas disposiciones pueden no ser suficientes para estructuras expuestas a medios muy agresivos o diseñadas para ser impermeables. En tales casos, se necesitan precauciones e investigaciones especiales.

La disposición establecida desde la NSR-98 indica que cuando las alas de las vigas T están en tracción, parte del refuerzo de tracción por flexión debe distribuirse sobre un ancho efectivo del ala, definido en sistemas de vigas en el Capítulo (C.8), o un ancho igual a 1/10 de la luz, eligiendo el menor de ambos. En caso de que el ancho efectivo del ala exceda 1/10 de la luz, es necesario colocar algún refuerzo longitudinal en las zonas más externas del ala.

1.3.7.3. Vigas de gran altura

La definición y consideraciones para las vigas de gran altura han experimentado cambios y mejoras en las ediciones más recientes de los reglamentos, como se refleja en el Título C del Reglamento NSR-10. En este reglamento, se aborda el diseño de vigas de gran altura considerando el comportamiento de la región-D, como se describe en el Apéndice C-A del mismo.

A diferencia de los Reglamentos 1998 y anteriores, el Título C de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010)no proporciona requisitos detallados para el diseño por flexión de vigas de gran altura. En cambio, sugiere que se deben tener en cuenta la variación no lineal de la distribución de deformaciones unitarias y el pandeo lateral al diseñar estas vigas. Además, se recomienda seguir prácticas y recomendaciones de diseño que puedan abordar las características específicas asociadas con vigas de gran altura.

Este enfoque refleja la evolución en la comprensión y diseño de estructuras a lo largo del tiempo, incorporando mejores prácticas y enfoques más avanzados para abordar problemas específicos asociados con elementos de gran altura.

1.3.7.4. Dimensiones de diseño para elementos a compresión (columnas)

La NSR-10 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010) ha introducido cambios con respecto a las dimensiones mínimas de columna para las estructuras con capacidad mínima de disipación de energía (DMI). En versiones anteriores, se mantenían

restricciones específicas, como un diámetro mínimo para columnas circulares y una dimensión mínima con área para columnas rectangulares.

En la presente versión (NSR-10), se ha liberado esta restricción para las estructuras con capacidad mínima de disipación de energía (DMI). Aunque se ha eliminado la restricción específica, se sugiere que una columna de la estructura principal no debería tener un diámetro menor a 0.25 m para columnas circulares ni una dimensión menor a 0.20 m con un área de 0.06 m² para columnas rectangulares. Aunque esta sugerencia se considera razonable y segura, ya no es una restricción obligatoria.

Es importante señalar que el Capítulo C.21 del NSR-10 continúa imponiendo dimensiones mínimas de columna para estructuras con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES), y estas dimensiones no han experimentado cambios en la versión NSR-10.

1.3.7.5. Límites del refuerzo de elementos a compresión (Columnas)

Esta sección del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) establece límites para la cantidad de refuerzo longitudinal en elementos en compresión no compuestos.

El área de refuerzo longitudinal, Ast , para elementos no compuestos a compresión no debe ser menor que 0.01Ag ni mayor que 0.04Ag que a comparación de los reglamentos anteriores el área de refuerzo no podía ser mayor a 0.06Ag. Para estructuras

con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES) en el Capítulo C.21 se restringe el área máxima admisible

Los diferentes reglamentos plantearon que la cuantía volumétrica del refuerzo en espiral, (ρs), no debe ser menor que el valor dado la siguiente ecuación (9)

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad (9)$$

Excepto que para la NSR-10 establece que el valor de fyt a usar en la ecuación no debe ser mayor de 700 MPa. Para fyt mayor de 420 MPa, no deben usarse empalmes por traslapo de acuerdo con C.7.10.4.5(a).

Cuando el uso de porcentajes elevados de refuerzo implica dificultades en la colocación del concreto, se debe considerar un porcentaje más bajo. Esto puede resultar en una columna más grande o en la elección de concreto o refuerzo de mayor resistencia (consultar CR9.4 para más detalles).

En general, la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) estableces que la máxima cuantía de refuerzo longitudinal en columnas se limita al 4% del área de la columna para todas las capacidades de disipación de energía DMI, DMO y DES.

1.3.7.6. Transmisión de carga de columnas a través de losas de entrepiso

A partir de la implementación del reglamento NSR-98, se estableció que cuando la resistencia a la compresión especificada del concreto de una columna sea 1.4 veces la

especificada para el sistema de entrepiso (en el caso de columnas interiores y de borde), o mayor que 1.2 veces (para columnas esquineras), la transmisión de la carga a través del sistema de entrepiso debe realizarse de una de las siguientes maneras:

Se puede calcular la resistencia de la columna en el nudo utilizando una resistencia efectiva del concreto de la columna dentro del nudo, la cual se determina en relación con la resistencia del concreto de la columna y de la losa, lo cual se plantean diferentes ecuaciones establecidas en la sección C.10.12.1 del reglamento de la NSR-10.

Se requiere colocar concreto de la resistencia especificada para la columna en el sistema de entrepiso alrededor de ella, extendiéndose lateralmente 600 mm desde la cara de la columna. Es esencial que el concreto de la columna se integre de manera efectiva con el concreto del piso.

1.3.8. Cortante y Torsión

1.3.8.1. Resistencia al Cortante

La resistencia al corte se basa en un esfuerzo cortante promedio sobre la sección transversal efectiva esta resistencia está sometida a una ecuación en donde se evalúa la fuerza cortante mayorada y la resistencia nominal al cortante, sin embargo, cuando en el elemento no se dispone de refuerzo para cortante esta resistencia la proporcionar el concreto, la ecuación(10) se estableció desde el reglamento CCCSR-84

$$\phi V_n \geq V_u \quad (10)$$

Dicha ecuación se encuentra explicita en la sección C.11.1.1 del reglamento de construcción NSR-10

1.3.8.2.Resistencia al cortante proporcionado por el concreto

Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos pre-esforzados. Este término se empleó a partir del reglamento del CCCSR-84 en donde se proporcionaban criterio para determinar la resistencia al concreto en elementos pre-esforzados, en comparación con los demás reglamentos la NSR-10, estos criterios fueron modificados y establecieron valores lo cual están detallados en la sección C.11.3 de dicho reglamento en la tabla 27 se puede apreciar estas diferencias que se tuvieron en cada reglamento, siendo el de la NSR-10 los empleados para la evaluación actualmente.

Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no pre-esforzados. para este caso se debe calcular la resistencia al corte siguiendo unos requisitos que son fundamentales, para cada reglamento se emplearon criterios diferente al momento de evaluar las fórmulas, teniendo condiciones diferentes,

Tabla 27.

Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no pre-esforzados según cada reglamento

Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados			
	CCCSR-84	**NSR-98**	**NSR-10**
Para elementos sometidos unicamente a cortante y flexion	$v_c = 0.53\sqrt{f'c}$	$\mathbf{v_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6}}$	$\mathbf{V_c = 0.17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d}$
Para elementos sometidos a compresión axia	$vc = 0.53\sqrt{f'c}\left\{1 + 0.0071\frac{N_u}{A_g}\right\}$	$\mathbf{v_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\frac{\sqrt{f'_c}}{6}}$	$\mathbf{V_c = 0.17\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f'_c}b_w d}$
Para elementos sometidos a tracción axial significativa,	deben diseñarse de tal manera que el refuerzo lleve todo el cortante	deben diseñarse de tal manera que el refuerzo lleve todo el cortante	$\mathbf{V_c = 0}$
calculo mediante metodos mas detallados			
Para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión	$v_c = \left(0.5\sqrt{f'c} + 176\rho_w\frac{V_u d}{M_u}\right) \le 0.93\sqrt{f'c}$ pero Vud/Mu no puede ser mayor que 1.0	$\mathbf{v_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{7} + 17.1\,\rho_w\frac{V_u d}{M_u}\right) \le 0.3\sqrt{f'_c}}$ pero Vud/Mu no puede ser mayor que 1.0	$\mathbf{V_c = \left(0.16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w\frac{V_u d}{M_u}\right)b_w d}$ pero $\mathbf{0.29\lambda\sqrt{f'_c}b_w d}$ ue

Para elementos sometidos a compresión axial	$v_c = \left(0.5\sqrt{f'c} + 176\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) \le 0.93\sqrt{f'c}$	$v_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{7} + 17.1\,\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) \le 0.3\sqrt{f'_c}$	$V_c = 0.29\lambda\sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0.29N_u}{A_g}}$
Para elementos sometidos a tracción axial significativa:	$v_c = 0.93\sqrt{f'c}\sqrt{1 + 0.0285\frac{N_u}{A_g}}$	$v_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6}\left(1 + \frac{N_u}{3.5A_g}\right) \ge 0$	$V_c = 0.17\left(1 + \frac{0.29N_u}{A_g}\right)\lambda\sqrt{f'_c} b_w d$ pero no menores que cero (0)

Para elementos circulares, el área usada para calcular Vc debe tomarse como el producto del diámetro y la altura efectiva de la sección de concreto. Se permite tomar d como 0.80 veces el diámetro de la sección de concreto.

1.3.9. Requisitos de Diseño Sismo Resistente con Capacidad de Disipación de Energía Especial (DES),

1.3.9.1. Resistencia al concreto

La resistencia especificada a la compresión del concreto, no debe ser menor que 21 MPa. Sin embargo, se proporciona una exención para estructuras de hasta 3 pisos que tienen un sistema de resistencia sísmica basado en muros de carga manejando este concepto para los diferentes reglamentos.

sin embargo, la NSR-10, se agrega la condición adicional de que la resistencia del concreto liviano no debe ser mayor a 35 MPa, esta disposición destaca la importancia de asegurar que, a pesar de utilizar concreto liviano, los elementos estructurales mantengan propiedades de resistencia y tenacidad adecuadas. En caso de que el concreto liviano tenga una resistencia superior a 35 MPa, se requerirá una demostración de que sus propiedades estructurales son comparables o superiores a las del concreto de peso normal de la misma resistencia. Esto garantiza la seguridad y el rendimiento adecuado de los elementos estructurales en términos de carga y resistencia.

1.3.9.2. Vigas de Pórticos

Requisitos geométricos para vigas. Estos requisitos son aplicados a elementos que resistan principalmente fuerzas a flexión, lo cual deben cumplir con unos requisitos

establecidos por los diferentes reglamentos, que en comparación se evidencia que estos requisitos se mantienen de igual manera para cada uno, estos requisitos se mantienen de igual manera desde el CCCSR-84

Refuerzos longitudinales en vigas. para la NSR-98 se realizó un cambio en donde se unifico que la cantidad de refuerzo tanto superior como inferior no debe exceder una cuantía de 0.025 manteniéndose así hasta la NSR-10 conservando la ecuación del área de acero mínimo

En el caso de los empalmes el reglamento de la NSR-98 se agregó que no se permite empalmes por traslapo en aquellos lugares en donde el análisis indique que puede haber plastificación por flexión causada por los desplazamientos inelásticos de la estructura manteniendo este concepto el reglamento de la NSR-10, sin embargo para dichos reglamentos no se permiten empalmes regiones en las cuales se espera fluencia por flexión, debido a que dichos empalmes por traslapos no se consideran confiables en condiciones de cargas cíclicas dentro del rango inelástico.

Así mismo, el reglamento de la NSR-10 incluye requisitos fundamentales para el refuerzo longitudinal en estructuras pre-esforzadas con disipación de energía especial dadas en la sección C.21.5.2.5. de dicho reglamento.

Refuerzo transversal en vigas. El refuerzo transversal se emplea principalmente para confinar el concreto y proporcionar soporte lateral a las barras de refuerzo en áreas donde se espera que el material ceda. Los diversos reglamentos establecen requisitos que

son consistentes entre sí, pero la NSR-10 ha introducido una disposición adicional. Según este reglamento, se permite utilizar estribos cerrados de confinamiento en elementos sometidos a flexión, los cuales pueden estar compuestos por hasta dos piezas de refuerzo: un estribo con un gancho sísmico en cada extremo y cerrado mediante un gancho suplementario. En el caso de ganchos suplementarios consecutivos que enlazan la misma barra longitudinal, es necesario que sus ganchos de 90º se ubiquen en lados opuestos del elemento sometido a flexión. Si las barras de refuerzo longitudinal aseguradas por los ganchos suplementarios están confinadas por una losa en un solo lado del elemento en flexión, entonces los ganchos de 90º de los ganchos suplementarios deben ser posicionados en ese lado.

Requisitos para esfuerzos cortantes en vigas. La determinación de la fuerza cortante de diseño se basa en las fuerzas estáticas en la porción del elemento comprendida entre las caras del nudo. Según el reglamento de la NSR-10, se establece que, a menos que un elemento de pórtico tenga una resistencia del orden de 3 a 4 veces las fuerzas de diseño, se debe asumir que alcanzará la fluencia en caso de un sismo significativo. La fuerza cortante de diseño proporciona una aproximación efectiva del máximo cortante que puede experimentar el elemento. En consecuencia, la resistencia al cortante requerida en elementos de pórtico está más vinculada a la resistencia a la flexión del elemento que a las fuerzas cortantes aumentadas obtenidas del análisis de cargas laterales.

1.3.9.3. Columnas en Pórticos

Requisitos geométricos. Estas condiciones se establecieron para los diferentes reglamentos lo cual a lo largo del tiempo sufrieron unos cambios significativos como lo es que para columnas que tuvieran forma de L, T, C o I en el CCCSR-84 su dimensiones mínimas para este tipo de columnas deberías ser de 20cm, en comparación con la NSR-98 y NSR-10 esta dimensión mínima para este tipo de columnas es de 25cm de igual manera para la relación que existe entre la dimensión más pequeña y la más grande de la columna no debía ser menor que 0.3 para el CCCSR-84 en cambio, a partir de la NSR-98 esta relación no puede ser menor que 0.4

Refuerzo transversal en columnas. Para las columnas se deben proporcionar refuerzos en el área transversa lo cual deben cumplir con condiciones específicas como para cuantía y para el área de la sección que están en relación, estas condiciones son dadas por las ecuaciones (11 y 12)que en ningún caso deben ser menores que estas ecuaciones, que para la cuantía se mantuvieron de igual manera en los diferentes reglamentos, sin embargo, la ecuación para el área del refuerzo transversal en los estribos si sufrió un cambio a partir de la NSR-98, este modificando un factor siendo notorio en el resultado se puede evidenciar en la Tabla (28).

$$\rho_s = 0.12\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad \textbf{(11)}$$

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad \textbf{(12)}$$

Tabla 28.

Cambios sufridos en las ecuaciones para el área de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados.

CCCSR-84	NSR-98 y NSR-10
$A_{sh} = 0.25 \frac{s\, h_c f'_c}{f_{yh}} \left[\left(\frac{A_g}{A_c} \right) - 1 \right]$	$A_{sh} = 0.3 \frac{s\, b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$
$A_{sh} = 0.10 \frac{s\, h_c f'_c}{f_{yh}}$	$A_{sh} = 0.09 \frac{s\, b_c f'_c}{f_{yt}}$

En la tabla 28, se puede evidenciar que los cambios que sufrieron estas ecuaciones dadas para el área de la sección transversal del refuerzo fue mínimo, modificando una constante, pero produciendo un gran cambio en dicha área.

A demás de estas condiciones, se especificaron unos requisitos a tener en cuenta al momento de realizar diseñar y construir el refuerzo transversal para columnas que están dadas en la sección C.21.6.4.2 del reglamento de la NSR-10.

Refuerzo longitudinal en columnas. Para la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) definía que el refuerzo longitudinal al evaluarlo debería cumplir que la la cuantía no debe ser menor que 0.01 ni mayor que 0.06, de lo contrario la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) se evaluaba bajo el área del refuerzo longitudinal (Ast) lo cual este debe ser menor que (0.01Ag) ni mayor que (0.04Ag). A partir de la NSR-98 se empleó los empalmes mecánicos o soldados, en la NSR-10 se profundizo más en estos temas estableciendo criterios para cada uno de los empalmes

1.3.9.4. Nudos de Pórticos

Requisitos geométricos. Para los diferentes reglamentos se estableció de igual manera que para las fuerzas de acero de las vigas en los nudos debe ser calculada suponiéndose que su esfuerzo es de 1.25 fy, adicional a esto, la NSR-98 estableció que cuando el refuerzo longitudinal atraviesa los nodos la dimensión de la columna de la cual la cara es paralela al refuerzo longitudinal de la viga no debe ser menor que veinte veces el diámetro de la barra, esto siendo para concreto peso normal, la NSR-10 establece que para concreto liviano esta dimensión no debe ser menor 26 veces del diámetro de la barra.

Resistencia al cortante en nudos de pórticos. En el CCCSr-84 se estableció que para nudos confinados en pórticos la resistencia nominal debería cumplir con la ecuación $5\sqrt{f_c'} * Aj$ lo cual, a partir de la NSR-98 está ecuación cambio modificando el factor de 5 a 1,7 e incorporando una ecuación para nudos confinados en tres caras o en dos caras opuesta

Refuerzo transversal en los nudos de pórtico. Esta sección sufrió cambio en la condición que cuando el nudo llega por sus cuatro caras verticales la viga debe tener por lo menos un ancho de 3/4 del ancho de la columna, para este caso la NSR-98 estableció que se debe tener un espaciamiento máximo de 100mm indicados en la sección c.21.6.4.3 y puede ser incrementado a 150mm, de lo contrario las demás condiciones se mantuvieron igual para los reglamentos.

1.3.10. Requisitos de Diseño Sismo Resistente con Capacidad de Disipación de Energía Moderada (DMO),

1.3.10.1. Vigas

Requisitos generales. Desde el CCCSR-84 se establecieron condiciones generales que se deben tener en cuenta al momento de diseñar y construir vigas en zonas de disipación de energía moderara, estas condiciones establecen que la fuerza axial mayorada en estos elementos no debe ser exceder el valor de $0.10f_c'A_g$ ni su excentricidad con respecto a la columna de apoyo no puede ser mayor que el 25%, sin embargo, a partir de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) se estableció que el ancho del elemento no puede ser menor que 20cm.

Refuerzo longitudinal en vigas. El MOP, (1984) solo establecía condiciones enfocadas tanto en la relación entre la resistencia a momentos negativos y positivos esto manteniéndose así para los diferentes reglamentos, sin embargo, la NSR-98 estableció requisitos relacionados al diseño de este elemento, implementando la ecuación para la cuantía lo cual no debe excederse de 0.025, de igual manera estableció que por lo menos se debe hacer uso de al menos dos barras continuas con diámetro igual o superior a 12mm tanto en la parte superior como inferior y que no se permiten empalmes por traslapos dentro de los nudo, esto manteniéndose así hasta el reglamento de la NSR-10 La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) durante su tiempo de reglamentación establecía

que por lo menos el 60% del refuerzo longitudinal tanto superior como inferior debía atravesar el núcleo de cada columna.

Refuerzo transversal en vigas. Estos requisitos se mantuvieron de igual manera para los diferentes reglamentos lo cual establecieron condiciones para la colocación y separación de los estribos para zonas confinadas y no confinadas, estos requisitos se pueden evidenciar en la sección C.21.3.4. del reglamento de la NSR-10

Esfuerzo cortante en vigas. los esfuerzos a cortante en los elementos como la viga en capacidad de disipación de energía moderada deben estar sometido a dos condiciones establecido de igual manera por los diferentes reglamentos, lo cual está sometido a la sumatoria del cortante lo cual está asociado con los momentos nominales y el cortante máximo que debe ser obtenido de las combinaciones de carga de diseño

1.3.10.2. Columnas

Requisitos generales. El (MOP, 1984)estableció unas condiciones para el diseño y construcción de columnas en zonas con capacidad de disipación de energía moderada por lo cual estos elementos deben cumplir que para la dimensión menor de la sección transversal no debe ser menor de 250mm, en excepción para columnas en forma de T, C o I puede tener una dimensión mínima de 0.20 m pero su área no puede ser menor que 0.0625 m^2, mantenido estas condiciones para los diferentes reglamentos. Sin embargo, la (sociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (1998) establecía que para las columnas que sostenían uno o dos pisos podían utilizar dimensiones menores a las dadas anteriormente, pero la

menor dimensión del elemento no podía ser menor que 0.20 y su área menor a 0.06 m^2 , esto para la NSR-10 dejo de ser parte de los requisitos

Resistencia Mínima a la Flexión. La (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) establece unas condiciones a partir del momento en que entra en vigencia lo cual pone como requisito que toda columna de pórticos con capacidad de disipación de energía moderada debe satisfacer lo establecido en la sección C.21.3.6.2. o C.21.3.6 de dicho reglamento.

Refuerzo longitudinal en columnas. Para la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998) definía que el refuerzo longitudinal al evaluarlo debería cumplir que la la cuantía no debe ser menor que 0.01 ni mayor que 0.06, de lo contrario la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b) se evaluaba bajo el área del refuerzo longitudinal (Ast) lo cual este debe ser menor que (0.01Ag) ni mayor que (0.04Ag)

Refuerzo transversal en columnas. Los diferentes reglamentos establecieron que para el refuerzo transversal debe utilizarse refuerzo en espiral, o estribos de confinamiento, a partir de la (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998) se estableció que la cuantía volumétrica en espiral o estribos de confinamiento circular no puede ser menor que las requeridas por las ecuaciones 13 y 14 siendo estas mismas para el reglamento de la NSR-10.

$$\rho_s = 0.08 \frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad \textbf{(13)}$$

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}} \quad \textbf{(14)}$$

Sin embargo, el área de los estribos rectangulares se puede calcular mediante la ecuación dadas en la tabla 29 que en comparación con el CCCSR-84 estas sufrieron unos cambios, por lo tanto, el área de los estribos no debe ser menor que el valor resultante por las ecuaciones dadas por la NSR-10.

Tabla 29.

Ecuaciones para cálculo de área de los estribos rectangulares según los diferentes reglamentos

CCCSR-84	**NSR-98 y NSR-10**
$A_{sh} = 0.15\ \frac{sh_c f'_c}{f_{yt}}\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)$	$A_{sh} = 0.20\ \frac{sh_c f'_c}{f_{yt}}\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)$
$A_{sh} = 0.06\ \frac{sh_c f'_c}{f_{yt}}$	$A_{sh} = 0.06\ \frac{sh_c f'_c}{f_{yt}}$

En comparación con los demás reglamentos la NSR-10 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2010b) establece que los refuerzos transversales se deben disponer mediante estribos cerrados de confinamiento como mínimo de diámetro de 10mm, adicional a esto establece que los extremos de los ganchos suplementarios deben alternarse a lo largo del refuerzo longitudinal y que el espaciamiento de estos ganchos no debe exceder de 350mm de centro a centro de cada gancho en la dirección perpendicular al eje longitudinal del elemento.

Capítulo 2. Desarrollar un análisis bibliométrico teniendo cuenta la base de datos Scopus para obtener gráficos y tablas relacionadas con la aplicación de los diferentes reglamentos colombianos en la construcción.

De acuerdo con Escorcia (2008), La bibliometría es una ciencia que permite el análisis cuantitativo de productos científicos a través de documentos, examinando la naturaleza y el progreso de una disciplina científica. Por otro lado, se denomina bibliografía estadística debido a la necesidad de contar o resumir las publicaciones existentes, su función principal es cuantificar libros e investigaciones cuantitativas de unidades publicadas, unidades bibliográficas y otros detalles del directorio. (Solano López et al., 2009).

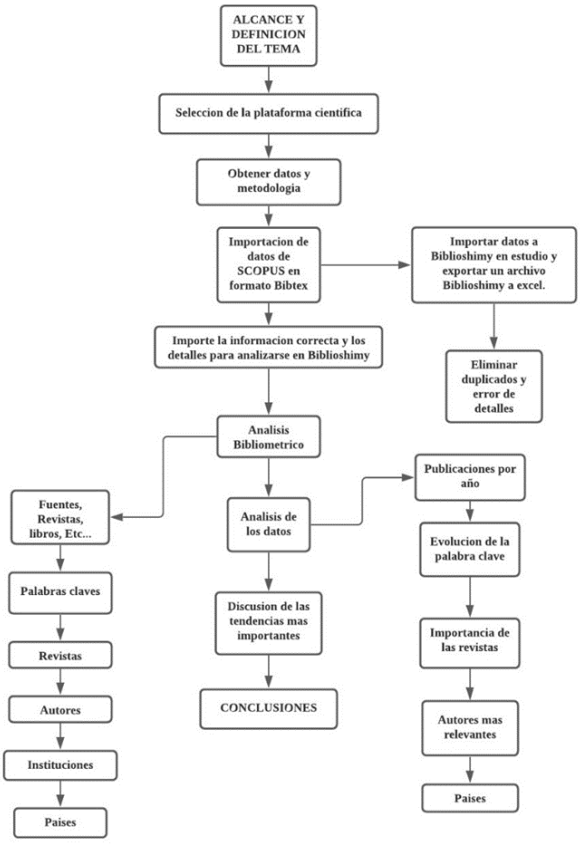
Considerando lo anterior, para el BA los datos serán recopilados el mes de Julio del año en curso directamente de la base de datos Scopus y WOS de publicaciones científicas sobre fenómenos de la norma sismo resistente 1998 y 2010, métodos estructurales y sismos en Colombia, que consideran la siguiente ecuación de búsqueda: *(nsr 10 OR nsr 98 OR nsr OR standard OR procedure) AND (design OR construction OR earthquake OR structural OR concrete),* encontrándose un número aproximado de 429 documentos a la fecha, realizando la discretización de los resultados se pudo contemplar que habían artículos relacionados en otras áreas como salud y geografía que no estaban relacionados con la temática a desarrollar en el análisis bibliométrico lo cual arrojo finalmente una cantidad de 87 documentos. De esta manera, durante la recopilación o extracción de información de la base de datos Scopus, se pudo observar que es de muy poca información los artículos que se enfoque solamente en la comparación o análisis de los reglamentos en

la construcción, es por esto que el análisis bibliométrico se enfocó en artículos relacionados con la construcción de estructuras de concreto, concreto reforzado y de sistemas estructurales tipo pórtico, lo cual, se incluye información relevante sobre publicaciones como título, resumen, autor, palabras clave, citación total por documento, filiación, entre otros.

Para realizar análisis bibliométricos o de revisión de literatura científica, generalmente se utiliza el procedimiento descrito en la Figura 5. El cual inicia desde la definición del tema y la base de datos académica hasta el análisis de patrones, como el número de publicaciones por año, la distribución geográfica de los autores, las revistas más citadas y las tendencias en la investigación a lo largo del tiempo que se establece en el análisis bibliométrico.

Figura 5.

Metodología para realizar el análisis bibliométrico.

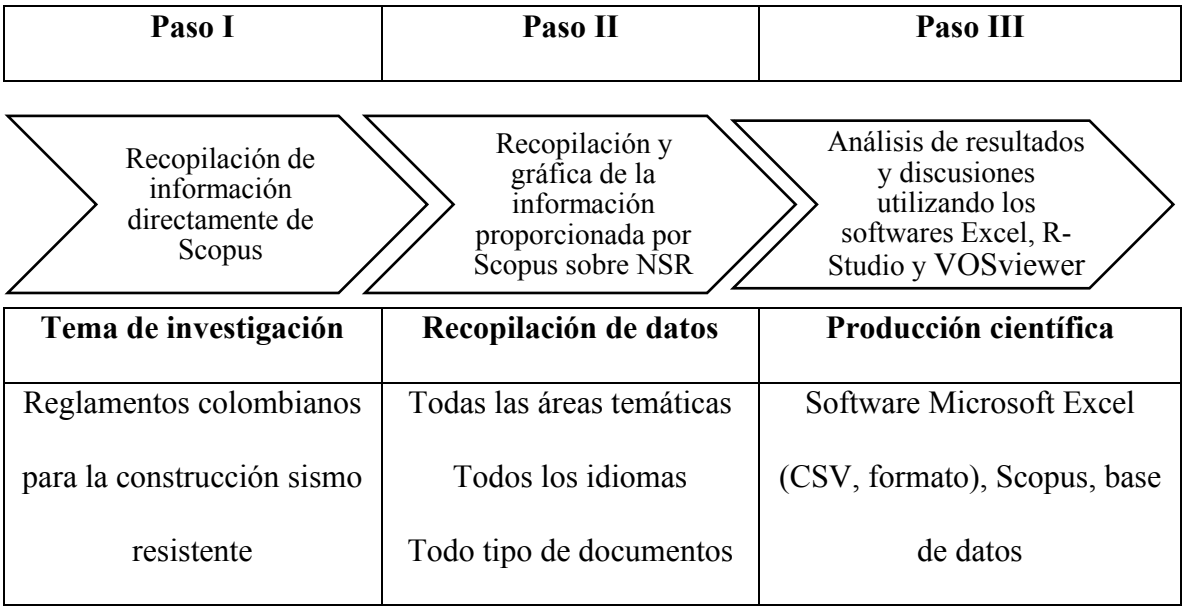


Fuente: Tomado de (García-León et al., 2021).

Por otra parte, el desarrollo del análisis bibliométrico (BA) considera tres pasos principales como se muestra en la Figura 6, que se basan inicialmente en la recopilación de información sobre la temática en estudio que es el análisis de estudios relacionados con los diferentes reglamentos colombianos para la construcción sismo resistente, como segundo paso en la obtención de gráficas y finalmente en el análisis de la información obtenida.

Figura 6.

Pasos clave para el desarrollo de BA.



El propósito de este capítulo es proporcionar una revisión histórica del uso de diferentes reglamentos de construcción en Colombia, mediante el uso del análisis bibliométrico basado en fuentes bibliográficas de alto impacto. El análisis de resultados mediante el software bibliométrico (R-Studio) reveló una tasa de crecimiento anual del 4.85% desde 1989 hasta 2023. Los artículos fueron escritos por alrededor de 294 autores, destacando la contribución principal de países como Colombia, China y Estados Unidos.

2.1. Resultados generales del análisis bibliométrico

La Bibliometría se llevó a cabo utilizando la biblioteca Bibliometrix y la plataforma BiblioShiny en el software RStudio® (V.1.4.2) Aria & Cuccurullo, (2017) Este software es ampliamente utilizado para análisis estadístico y ciencia de datos, específicamente en el

estudio relacionado con el tema de investigación. Fue diseñado para analizar y filtrar los aspectos más relevantes de la literatura científica en áreas específicas. La Figura 5, presentada en la sección anterior, describe las etapas clave del flujo de trabajo utilizado en el análisis de datos recopilados de la base de datos de Scopus, siguiendo la metodología propuesta por García-León et al., (2021)

2.2. Recolección de datos e información

Los datos fueron recopilados en agosto de 2023 a partir de publicaciones científicas en la base de datos Scopus, centradas en la aplicación de varios reglamentos para el diseño y construcción, principalmente en edificaciones de concreto reforzado a nivel mundial. Se consideraron documentos publicados a partir de 1989, utilizando la siguiente ecuación de búsqueda: "(nsr 10 OR nsr 98 OR nsr OR standard OR procedure) AND (design OR construction OR earthquake OR structural OR concrete)", como se describió previamente.

2.3. Análisis de resultados obtenidos del BA.

En este capítulo de revisión científica, se llevó a cabo un Análisis Bibliométrico (AB) mediante la recopilación de datos de publicaciones científicas existentes sobre la aplicación de diversos reglamentos de construcción sismo resistente en el ámbito del diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado. Se utilizó la base de datos Scopus para visualizar de manera global el crecimiento de este tema de investigación a lo largo del tiempo y la utilización de normas en diferentes estudios. La investigación se desarrolló cuantificando la participación de diferentes autores y países a lo largo del tiempo en

técnicas de construcción y la implementación de normas para el diseño y construcción de estructuras aporticadas. El objetivo fue identificar las fuentes fundamentales y los principales autores en términos de calidad y cantidad de la investigación.

Tabla 30.

Resultados globales del Analisis bibliometrico

Descripción	**Resultados**
Información principal	
Espacio de tiempo	1989:2023
Fuentes	75
Documentos	87
Edad promedio de documento	8.49
Citas promedio por documentos	9.276
Contenido del documento	
Palabras claves	852
Palabras claves del autor	294
Autores	
Autores	277
Autores de documentos de un solo Autor	6
Colaboración de autores	
Documentos de un solo autor	6
Coautores por documentos	3.38

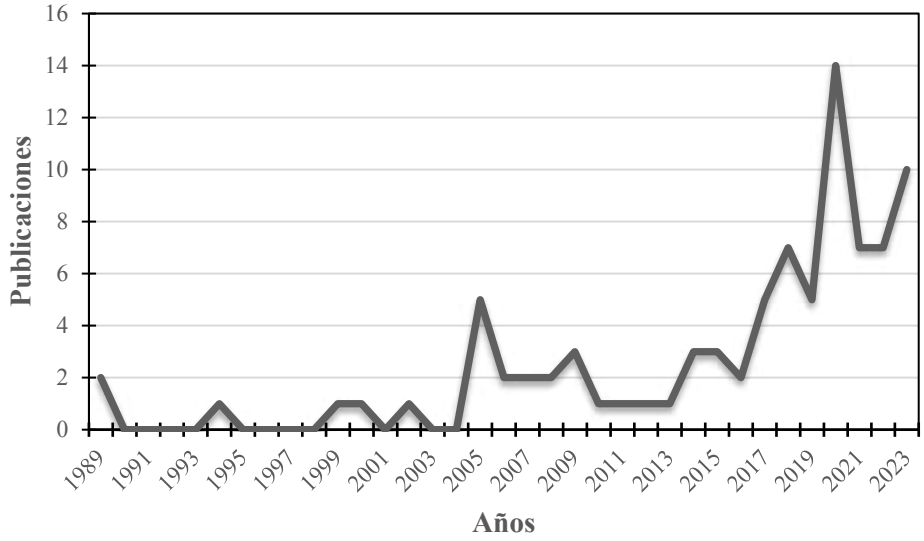
% de coautorías internacionales	19.54
tipos de documentos	
Artículos	54
Capítulos de libro	1
Documento de sección	30
Revisión	2

2.4. Resumen de las publicaciones.

La investigación de los resultados en detalle de los 87 documentos, presentan una tasa de crecimiento del 4.85% anual, desde 1989 hasta 2023, como se evidencia en la Figura 6, se puede observar que el estudio relacionado con la aplicación de los diferentes reglamentos en el diseño y construcción de edificaciones de concreto reforzado y estructuras tipo pórtico tuvo un incremento desde el 2005 hasta el 2023, fluctuando significativamente en el transcurso de los años, es evidente que el año 2021 se publicaron alrededor de 14 artículos relacionados con la temática.

Figura 7.

Cantidad de artículos publicados a lo largo de los Años



2.5. Evolución del uso de las palabras clave a lo largo de los años

La extracción de palabras clave (Keywords en inglés) se realizó mediante la herramienta Bibliometrix. Estas palabras clave fueron seleccionadas de primera mano por la herramienta, analizando la frecuencia de aparición en las publicaciones. Las palabras clave proporcionan una visión general de los temas abordados en las investigaciones. En este análisis, se utilizaron las palabras clave proporcionadas por los propios autores y las palabras clave plus, que se generan espontáneamente a partir de los títulos de los artículos citados. Al examinar estas palabras clave a lo largo de períodos de tiempo, se observa que términos como "diseño sísmico/Terremotos" son ampliamente utilizados, indicando un enfoque significativo en la investigación sobre estos temas para mejorar el diseño y construcción de edificaciones.

En la Tabla 31 se presentan las 15 palabras clave más utilizadas tanto por los autores como en las palabras clave plus, destacando "diseño sísmico" como la palabra clave más frecuente, presente en el 14% de las apariciones en los documentos analizados. La Figura 8 muestra la repetición y asociación entre las palabras clave, representadas por círculos de diferentes tamaños y colores. Los círculos más grandes indican mayor frecuencia de aparición, y la asociación entre palabras clave se refleja en su proximidad. Además, los diferentes colores agrupan las palabras clave en temáticas de investigación. Este análisis permite identificar las principales áreas de interés y enfoque relacionado con la investigación sobre diseño sísmico.

Tabla 31.

15 Palabras claves más comunes utilizadas en las publicaciones.

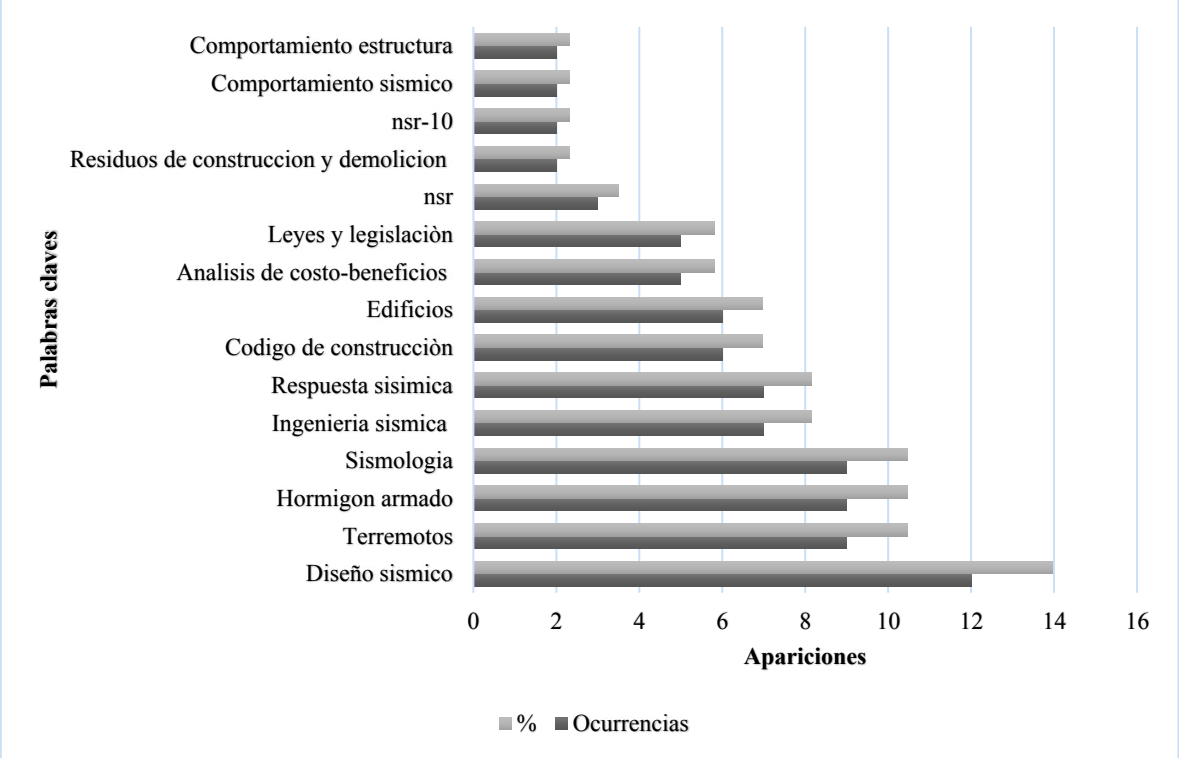
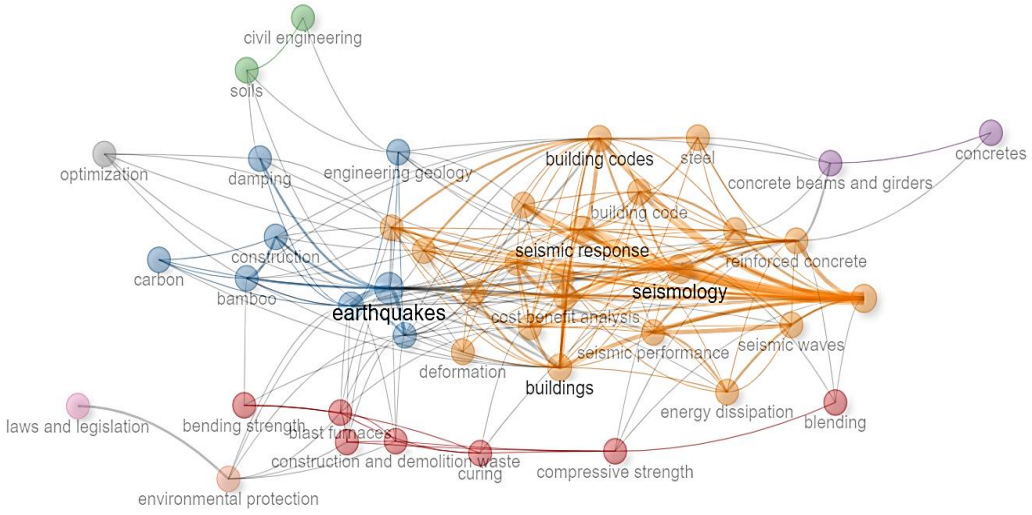


Figura 8.
Interacciones entre las palabras claves plus



La Figura 9 presenta el dendrograma de las palabras clave, revelando la estructura jerárquica y la agrupación de las palabras clave en áreas relacionadas del tema de investigación. Dejando en relevancia el termino de "concreto reforzado" lo cual se aprecia como una palabra clave principal, sugiriendo que, en el análisis de los diversos artículos, estos tienen un fuerte enfoque en el diseño reforzado de concreto, lo cual tiende a ser una temática de alta relevancia en la investigación.

En la Figura 10, se muestra la tendencia de las palabras clave en función de su frecuencia de aparición en las publicaciones científicas. Este análisis proporciona una visión adicional sobre la relevancia y la recurrencia de ciertos temas a lo largo del tiempo, contribuyendo así a la comprensión de las áreas clave de investigación en el campo del diseño y construcción de estructuras demostrando palabras muy relacionadas y enlazadas a dicho tema.

Figura 9.

Dendrograma de palabras claves

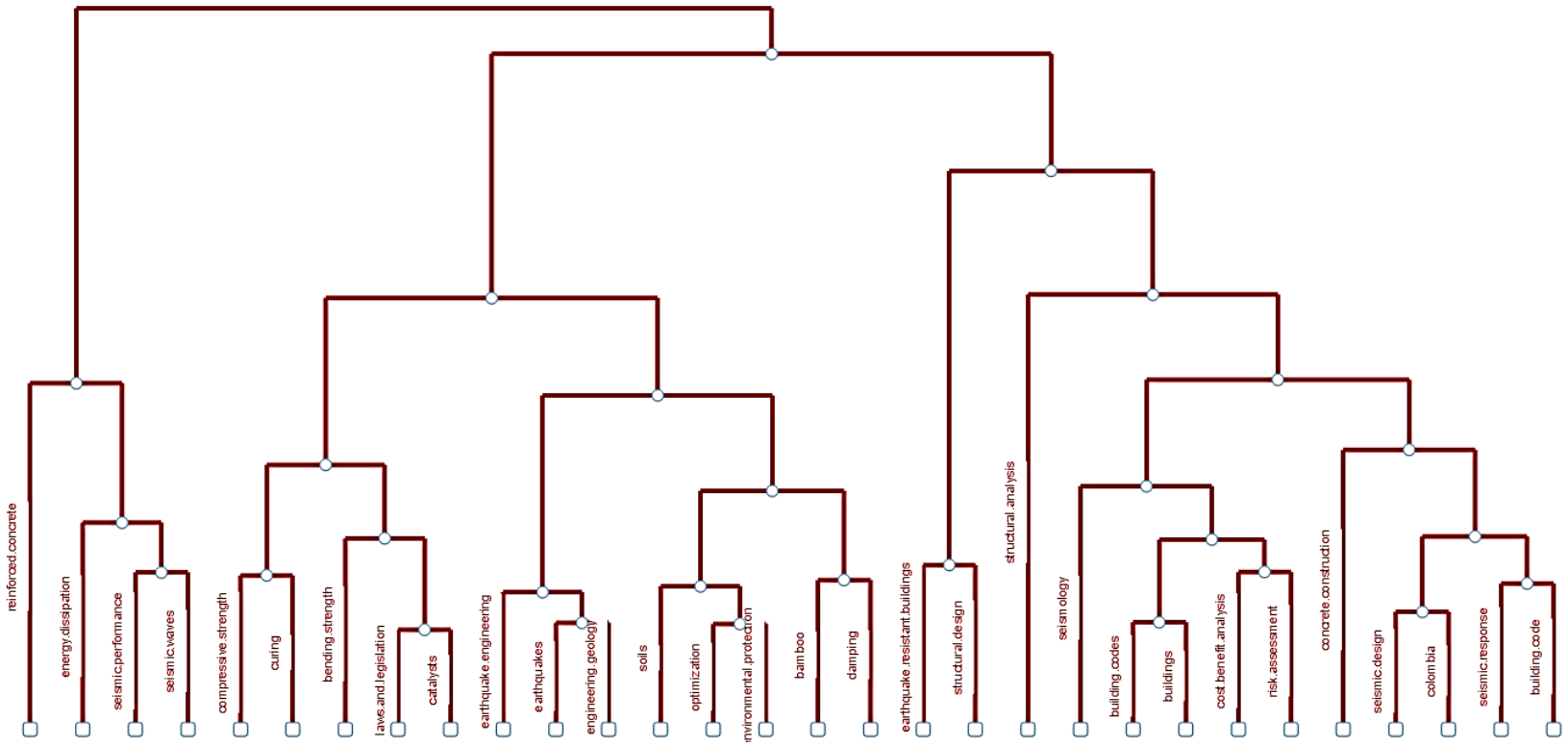
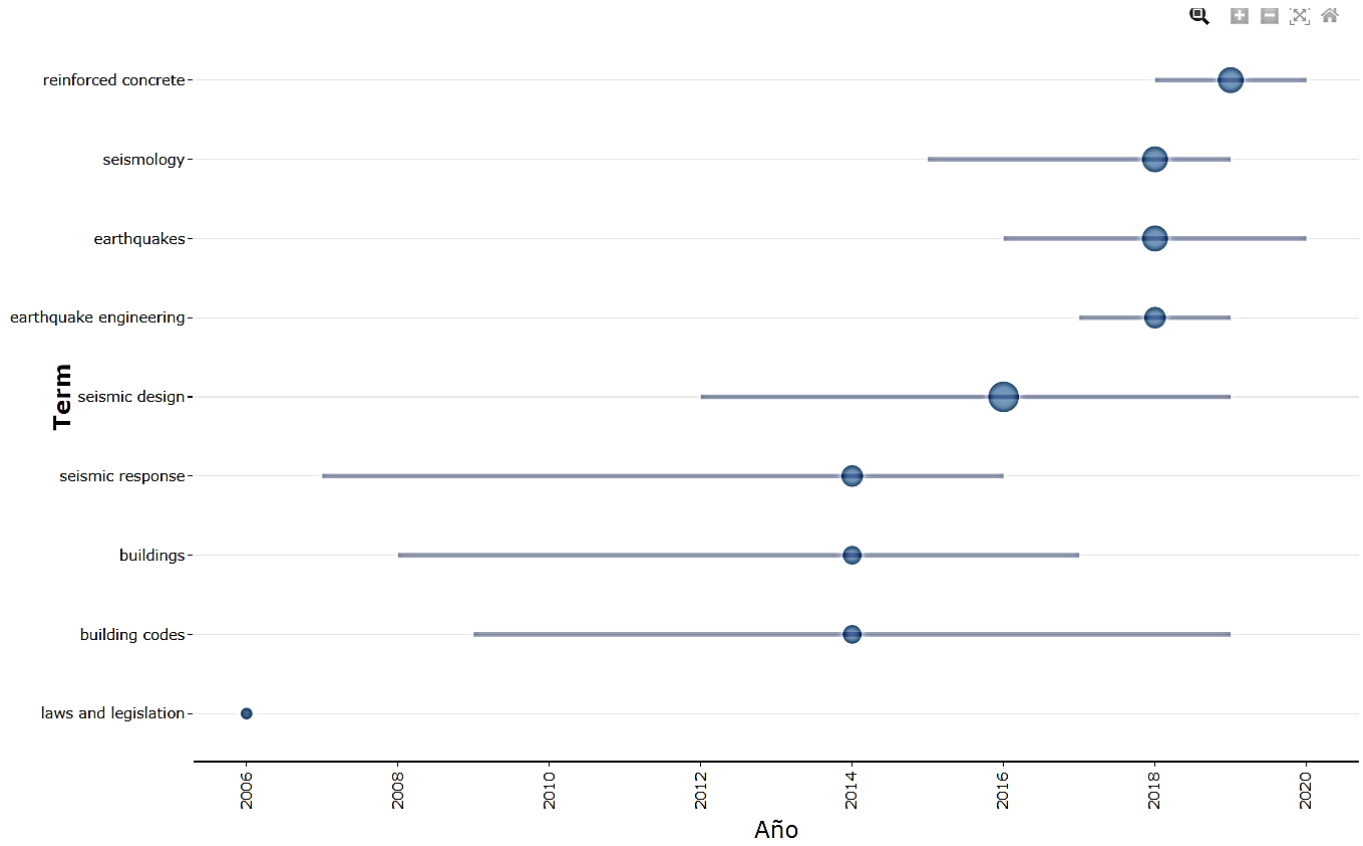


Figura 10.

tendencia de palabras claves



2.6. Importancia de las revistas

El hecho de que la revista "Construction and Building Materials" sea identificada como la más importante e influyente en el área de diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado, según el análisis bibliométrico, esto resalta su papel central en la difusión de conocimientos y avances en este campo. Además, de que su h_index es de 2 sugiere que la revista ha publicado al menos 2 artículos que han sido citados al menos 2 veces en este análisis, indicando cierto grado de impacto y reconocimiento en la comunidad académica. La tendencia de que revistas con un mayor número de artículos también tiendan a tener más citaciones refleja que las revistas que publican una mayor cantidad de trabajos de investigación de alta calidad atraen una atención más amplia y, por lo tanto, reciben más citaciones.

Tabla 32.

Las 20 revistas más influyentes considerando el análisis

No	Revistas	h_index	Total de Citas	Numero de Publicaciones	Año de inicio
1	construction and building materials	2	53	2	2018
2	earthquake spectra	2	19	2	2015
3	materials and structures/materiaux et constructions	2	43	2	2005
4	advances in intelligent systems and computing	1	3	1	2021
5	american concrete institute, aci special publication	1	1	1	2000
6	applied catalysis b: environmental	1	41	1	2008

No	Revistas	h_index	Total de Citas	Numero de Publicaciones	Año de inicio
7	applied mathematical modelling	1	22	1	2019
8	applied physics a: materials science and processing	1	7	1	2020
9	asme international mechanical engineering congress and exposition, proceedings (imece)	1	1	1	1999
10	bulletin of earthquake engineering	1	7	1	2020
11	case studies in construction materials	1	2	1	2018
12	catalysis today	1	30	1	2011
13	classical and quantum gravity	1	2	1	1989
14	compdyn 2017 - proceedings of the 6th international conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering	1	1	1	2017
15	dalton transactions	1	32	1	2005
16	dyna (colombia)	1	2	2	2018
17	em: air and waste management association's magazine for environmental managers	1	1	1	2002
18	energy procedia	1	1	1	2015
19	energy reports	1	1	1	2023
20	engineering structures	1	6	1	2007

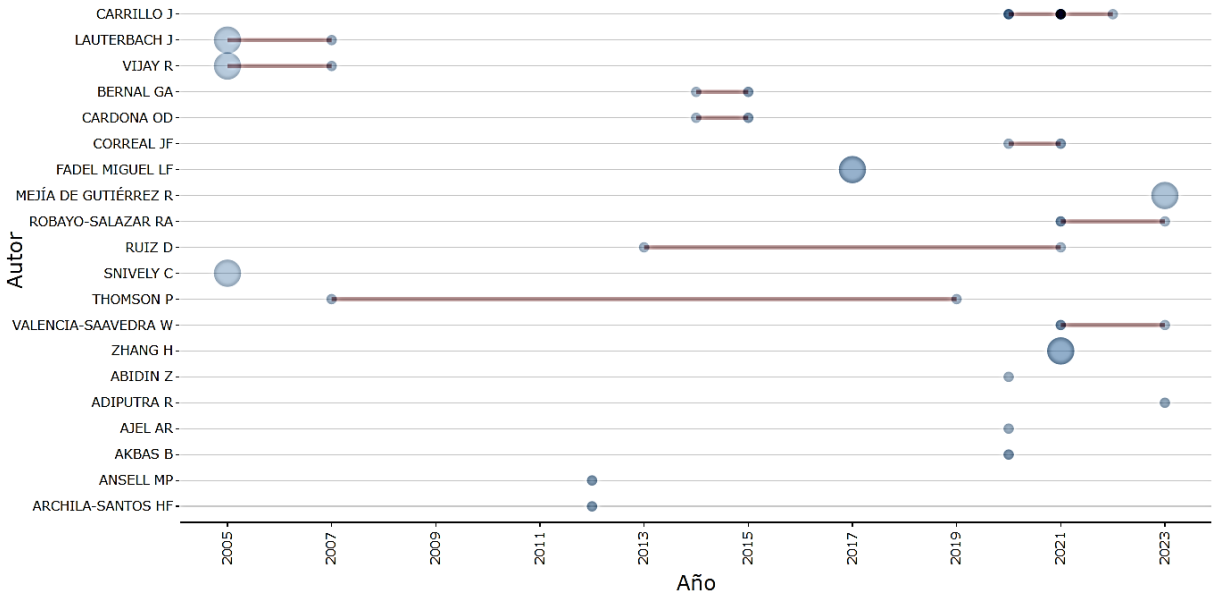
2.7. Autores relevantes

Se puede observar el crecimiento de documentos por autor evidenciando que existen más autores en el año 2010 hasta el 2023 que han trabajado esta temática, considerando que uno de los autores, (Carrillo J) lo obtuvo alcanzando de igual forma el mayor número de citaciones por un autor. Hasta el 2005, se puede observar que el estudio de investigaciones

relacionadas con la aplicación de las normas no era tan demandado, y a partir de este año tuvo un crecimiento constante como se puede observar en la figura.11

Figura 11.

Impacto de los autores principales por número de artículos y total de citaciones



La Tabla 33 destaca los artículos más citados entre los documentos recopilados en el análisis bibliométrico (BA). Estos artículos han recibido un número significativo de citaciones, indicando su relevancia y reconocimiento en la comunidad académica. A continuación, se proporciona un resumen de los dos artículos más citados:

"Performance Evaluation of Structures with Reinforced Concrete Columns Retrofitted with Steel Jacketing" Este artículo ha sido citado en 35 ocasiones, sugiriendo que ha generado un interés considerable en la investigación sobre el rendimiento de estructuras con columnas de concreto reforzado que han sido sometidas a refuerzo mediante acero.

"Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Either Industrial or Recycled Fibers from Waste Tires" Con 17 citaciones, este artículo aborda las propiedades del concreto reforzado con fibras de acero, utilizando fibras industriales o recicladas provenientes de neumáticos usados. La investigación en este tema es crucial para comprender y mejorar las propiedades del concreto reforzado con fibras de acero.

Estos artículos representan valiosas contribuciones al campo del diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado, y su elevado número de citaciones sugiere que han tenido un impacto significativo en la investigación y práctica de la ingeniería estructural. Los investigadores y profesionales pueden considerar estos artículos como referencias clave al abordar diferentes aspectos de esta temática y al aplicar el reglamento correspondiente.

Tabla 33. *artículos globales más citados*

Articulo	Total, de Citas	Total, de citas por año	Referencias
lerchie w, 1989, phys rep	156	4.33	Lerchie et al., (1989)
witharana c, 2014, isprs j photogramm remote sens	93	8.45	Witharana & Civco, (2014)
issa ma, 2016, j compos constr	68	7.56	(Issa et al., n.d.)
cai z-k, 2018, constr build mater	48	6.86	(Cai et al., 2018)
casapu m, 2008, appl catal b environ	41	2.41	(Casapu et al., 2008)
villar-salinas s, 2021, j build eng	35	8.75	(Villar-Salinas et al., 2021)
shibazaki y, 2009, proc spie int soc opt eng	32	2	(Shibazaki et al., 2009)
li j-r, 2005, dalton trans	32	1.6	(Li et al., 2005)

peled a, 2005, mater struct	32	1.6	(Peled, 2005)
pereda-ayo b, 2011, catal today	30	2.14	(Pereda-Ayo et al., 2011)
kachapi shh, 2019, appl math model	22	3.67	(Kachapi et al., 2019)
kanert o, 1994, j non cryst solids	22	0.71	(Kanert et al., 1994)
quintero mam, 2022, sustain struct	17	5.67	(Alejandro Méndez Quintero et al., 2022)
carrillo j, 2020, fibers polym	17	3.4	(Carrillo et al., 2020)
archila-santos hf, 2012, key eng mat	17	1.31	(Archila-Santos et al., 2012)
lu p, 2020, j alloys compd	12	2.4	(Lu et al., 2020)
mora mg, 2015, earthquake spectra	12	1.2	(Mora et al., 2015)
liu h, 2020, mater struct	11	2.2	(Liu & Luo, 2020)
fiore m, 2017, leibniz int proc informatics, lipics	11	1.38	(Fiore & Saville, 2017)
robayo-salazar ra, 2021, mater	8	2	(Robayo-Salazar et al., 2021)

Para el caso del impacto de los autores estudiados en el BA, la Tabla 34 muestra en concordancia con la Figura 11 los autores más importantes con su h_index, total de citaciones y el año en el cual obtuvieron su primera publicación. Es evidente (Carrillo J) se mantiene de primero

Tabla 34.

Impacto de los autores analizados

AUTOR	AÑO	h_index	TOTAL, DE CITACIONES
Carrillo J	2021	1	35
Ansell MP	2012	1	17
Archila-Santos HF	2012	1	17
Carrillo J	2020	1	17
Fadel Miguel LF	2017	2	14
Bernal GA	2015	1	12
Cardona OD	2015	1	12
Robayo-Salazar RA	2021	1	8
Valencia-Saavedra W	2021	1	8
Zhang H	2021	2	8
Akbas B	2020	1	7
Lauterbach J	2007	1	6
Thomson P	2007	1	6
Vijay R	2007	1	6
Correal Jf	2021	1	5
Adiputra R	2023	1	1
Ajel AR	2020	1	1
Correal JF	2020	1	1
Mejía De Gutiérrez R	2023	2	1
Ruiz D	2013	1	1
Thomson P	2019	1	1

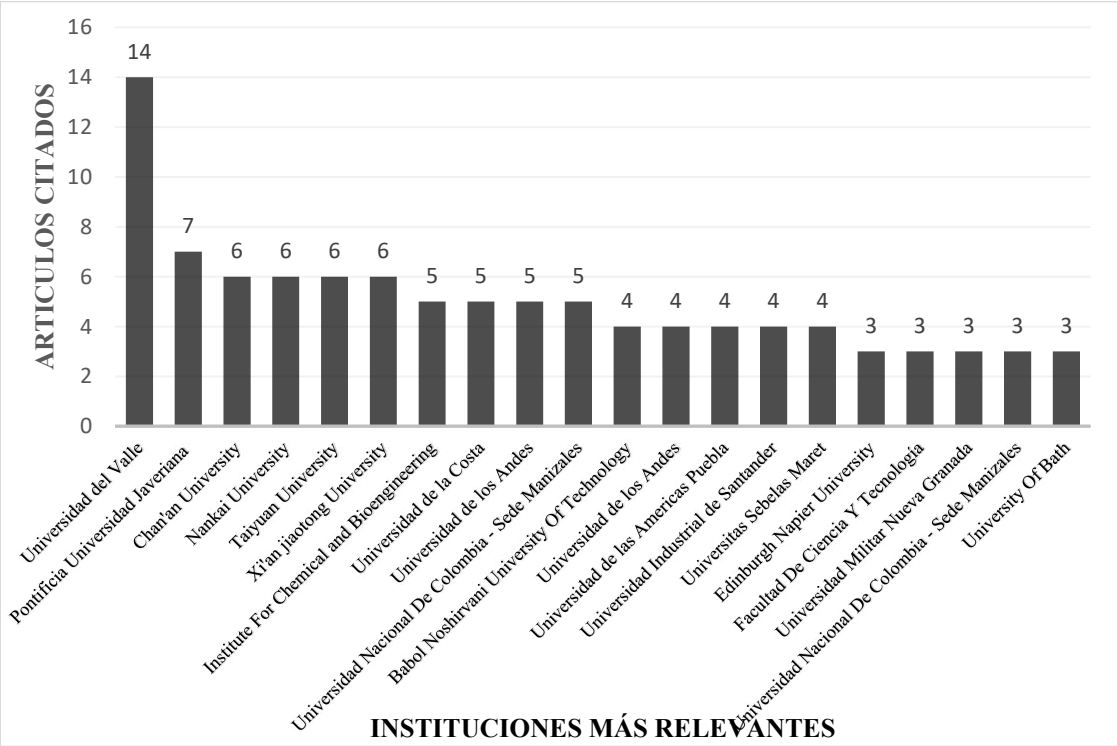
2.8 Instituciones más importantes

a Figura 12 destaca las 20 instituciones más relevantes en el campo del diseño de estructuras aporticadas y concreto reforzado, considerando el número total de publicaciones desde 1989. Entre estas instituciones, la Universidad del Valle sobresale como la más destacada en términos de investigaciones y estudios asociados a esta temática, con un total de 14 publicaciones. La Universidad Javeriana ocupa el segundo lugar con un total de 7 publicaciones.

Es notable que estas dos instituciones lideran en cantidad de publicaciones, indicando su fuerte contribución a la investigación en el área de diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado. Las demás instituciones, aunque presentan un número menor de publicaciones, también juegan un papel significativo en la producción académica relacionada con esta temática.

Figura 12.

Las 20 Instituciones más importantes



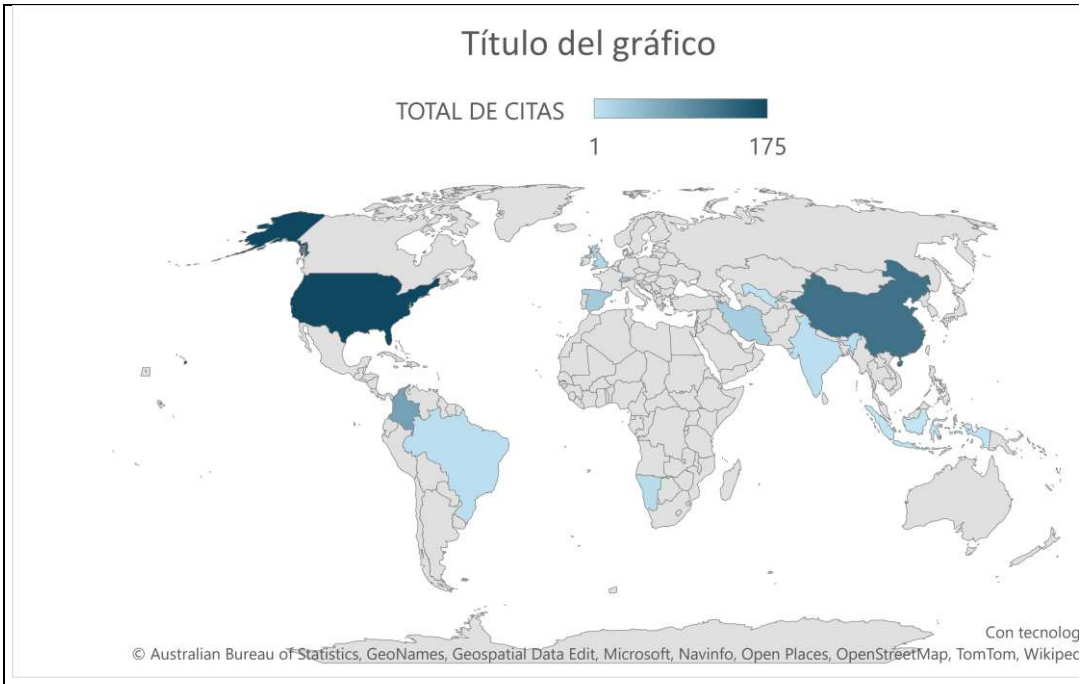
La Figura 13 resalta la relevancia de los países en el ámbito del diseño de estructuras aporticadas y concreto reforzado, basándose en la frecuencia de aparición de autores afiliados a instituciones de cada país. En este análisis, estados Unidos destaca como el país con el mayor número de citas, con una frecuencia de 175 apariciones. Le siguen china con 129 apariciones y Colombia con 76 apariciones.

Este patrón puede atribuirse al enfoque específico del BA en los diferentes reglamentos, especialmente el reglamento colombiano. Dado que el estudio se centra en los reglamentos colombianos de diseño y construcción, es comprensible que la mayoría de las investigaciones se lleven a cabo en Colombia, donde se está experimentando un aumento en la infraestructura debido al crecimiento demográfico y la necesidad de asegurar la

estabilidad y seguridad de las estructuras. Este análisis proporciona una visión de la distribución geográfica de la investigación en este campo y destaca la contribución

Figura 13.

Países más citados



Usa	175
China	129
Colombia	76
Switzerland	41
Spain	30
Iran	25
United Kingdom	18
Brazil	7
India	7
Uzbekistan	3

Capítulo 3. Establecer las tendencias actuales sobre las tendencias analizadas teniendo en cuanta gráficas y tablas usando el software R-studio y VOSviewer con la finalidad de evidenciar los autores, revistas y países más importantes a nivel mundial como también los principales cambios normativos entre los diferentes reglamentos colombianos

3.1. Tendencia de palabras claves

El análisis de la Figura 14 revela una tendencia creciente en el uso de palabras clave relacionadas con el diseño sísmico y las normas en el sector de diseño y construcción de estructuras a lo largo del tiempo. Es interesante notar que el término "diseño sísmico" ha experimentado un aumento significativo en su uso, lo que sugiere una mayor atención y enfoque en este aspecto en los últimos años.

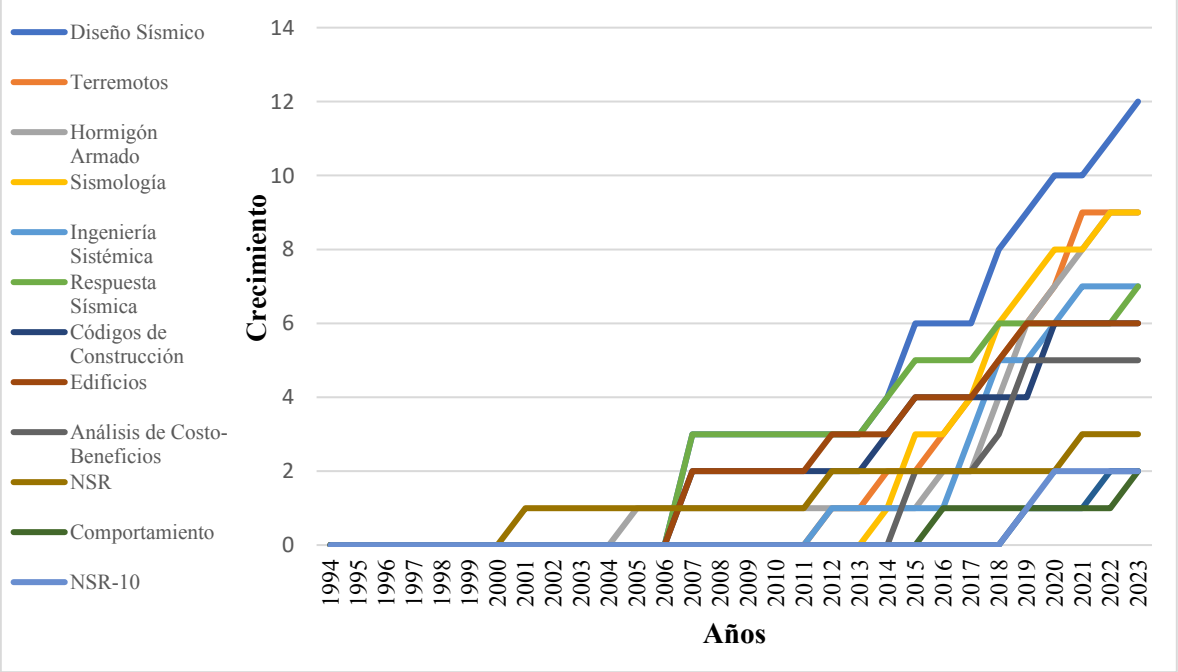
Por otro lado, el término "NSR" (Norma Sismo Resistente) parece haber tenido un desarrollo más lento en comparación con "diseño sísmico", con un inicio de uso a partir de 1999 y un menor desarrollo en términos de cantidad de artículos que lo mencionan.

Estos hallazgos indican una mayor conciencia y dedicación al diseño sísmico en el campo de la construcción de estructuras, la aplicación de normas como la NSR también parece

estar ganando importancia a lo largo del tiempo, lo que refleja la necesidad de adherirse a estándares de construcción que garanticen la seguridad estructural en áreas propensas a sismos.

Figura 14.

Crecimiento de las palabras claves a través de los años



3.2. Colaboración entre Países

Como se puede evidenciar en la Figura 12. Estados unidos y china son los países más citado en comparación de Colombia esto se debe a que ambos países cuentan con una larga historia en la construcción de infraestructuras y edificaciones de gran escala a su vez, tienen una sólida infraestructura de investigación y desarrollo en el campo de la ingeniería civil y la construcción contando con universidades, instituciones de investigación y empresas dedicadas a la innovación en materiales, técnicas de construcción y diseño de estructuras enfocadas al concreto reforzado.

Tanto Estados Unidos como China tienen economías grandes y activas, lo que se traduce en una mayor inversión en infraestructura y construcción lo cual, conduce a una mayor cantidad de proyectos de construcción que involucran estructuras de concreto reforzado y, por lo tanto, a una mayor cantidad de investigación y publicaciones en este campo impulsando la necesidad de avances en diseño y construcción de estructuras para satisfacer los requisitos de seguridad, durabilidad y eficiencia.

Por otro lado, Colombia, aunque está experimentando un crecimiento económico y desarrollo en infraestructura, puede no tener la misma cantidad de recursos dedicados a la investigación y desarrollo en comparación con países.

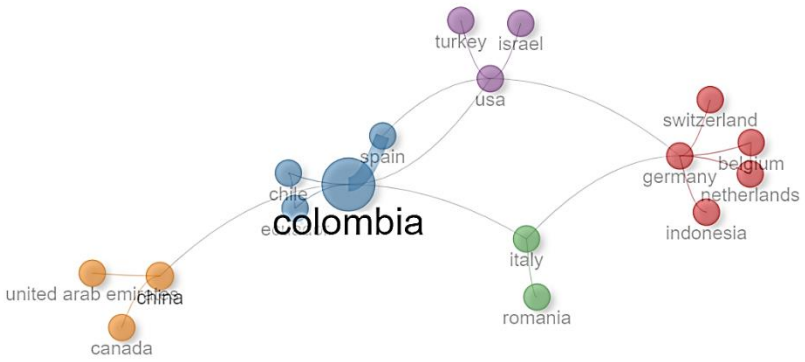
En la Figura 15, se destaca la colaboración internacional en el ámbito de la investigación sobre diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado y sistemas estructurales tipo pórtico, la cual, se observa una notable relación de colaboración entre Colombia, Estados Unidos y China, siendo estas las principales colaboraciones identificadas, esta asociación refleja la interconexión global en el campo de la ingeniería estructural, donde diferentes artículos se apoyan en el conocimiento e implementación de normativas y prácticas en la construcción de edificaciones resistentes a sismos.

Particularmente, Colombia emerge como un país con una colaboración significativa, lo que sugiere una participación activa en la investigación y el intercambio de conocimientos con otros países. Esta tendencia puede atribuirse al enfoque del país en comparar y evaluar los reglamentos y prácticas utilizados en otras naciones, para adaptarlos y aplicarlos en el contexto colombiano la colaboración internacional ofrece una

oportunidad para enriquecer la investigación y mejorar las prácticas de diseño y construcción, lo que contribuye a fortalecer la resiliencia sísmica de las estructuras en Colombia como en otros lugares del mundo.

Figura 15.

colaboración entre países



3.3. Correlaciones entre (instituciones, autores y países) y (palabras clave, autores y revistas).

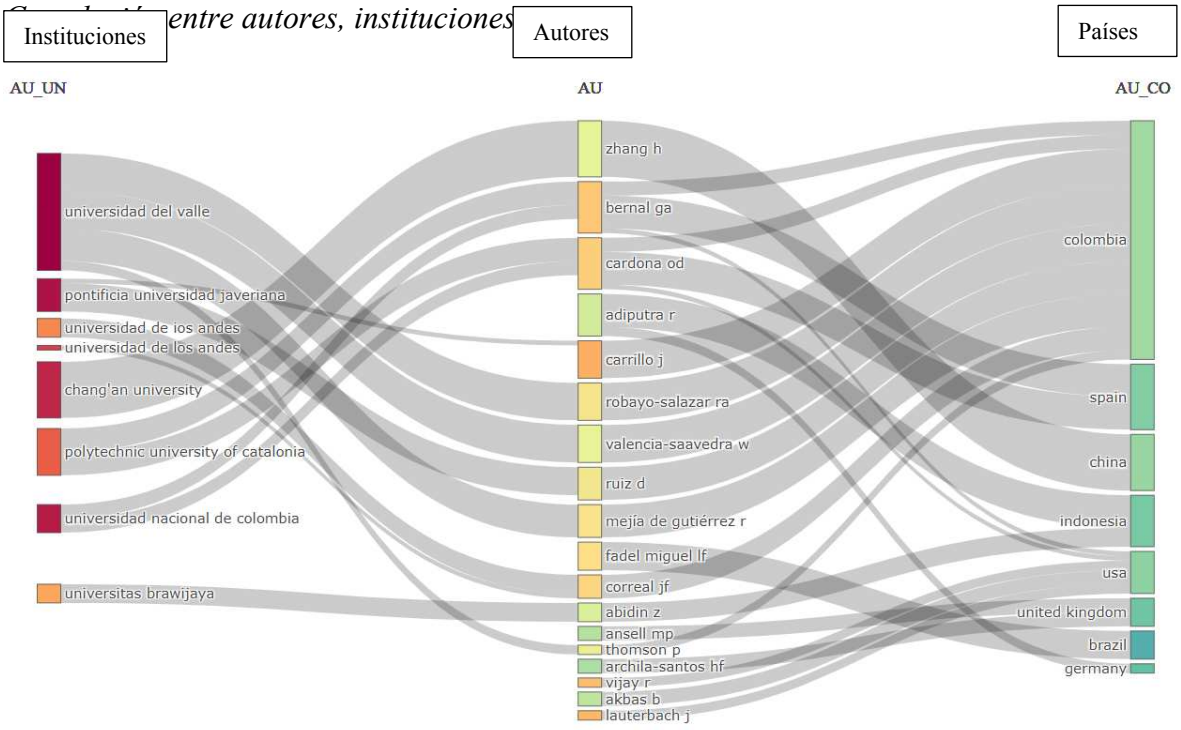
Las Figuras 16 y 17 proporcionan una visión detallada de las correlaciones clave entre instituciones, autores, países y palabras clave en el ámbito del diseño de estructuras aporticadas y concreto reforzado. En la Figura 17 la correlación entre autores, instituciones y países se destaca la participación y relevancia de Colombia en este análisis, evidenciando su notable contribución a la investigación en este campo, se observa que diversas universidades colombianas tienen autores destacados que han dejado una marca

significativa en el estudio del diseño de estructuras. Por ejemplo, la Universidad del Valle se destaca con autores como Robayo-Salazar RA y Valencia-Saavedra W, cuyas investigaciones han influido en el desarrollo del conocimiento en este campo. Además, otras instituciones colombianas como la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes también han realizado contribuciones significativas, entre las universidades colombianas que participan en este análisis, la Universidad Francisco de Paula Santander se distingue con autores destacados como Bernal GA y Cardona OD. Estos investigadores han jugado un papel importante en la investigación relacionada con los reglamentos de construcción y el diseño de estructuras de concreto reforzado en el contexto colombiano en este análisis

Además, se observa la participación de universidades de Estados Unidos y China, lo que resalta la relevancia internacional en el campo del diseño estructural. Estos resultados sugieren una colaboración activa entre diversas instituciones a nivel mundial, enriqueciendo así el cuerpo de conocimientos y promoviendo avances significativos en el diseño y construcción de estructuras aporticadas y concreto reforzado.

Figura 16.

Correlación entre autores, instituciones



La Figura 16 destaca la correlación entre palabras clave, autores y revistas en el ámbito del diseño de estructuras aporticadas y concreto reforzado. Se observa que las palabras clave "diseño sísmico", "concreto reforzado" y “códigos de construcción" están fuertemente asociadas con autores específicos, como Bernal GA y Cardona OD. Esto sugiere que estos autores han contribuido significativamente a la investigación y la literatura científica en estos temas específicos.

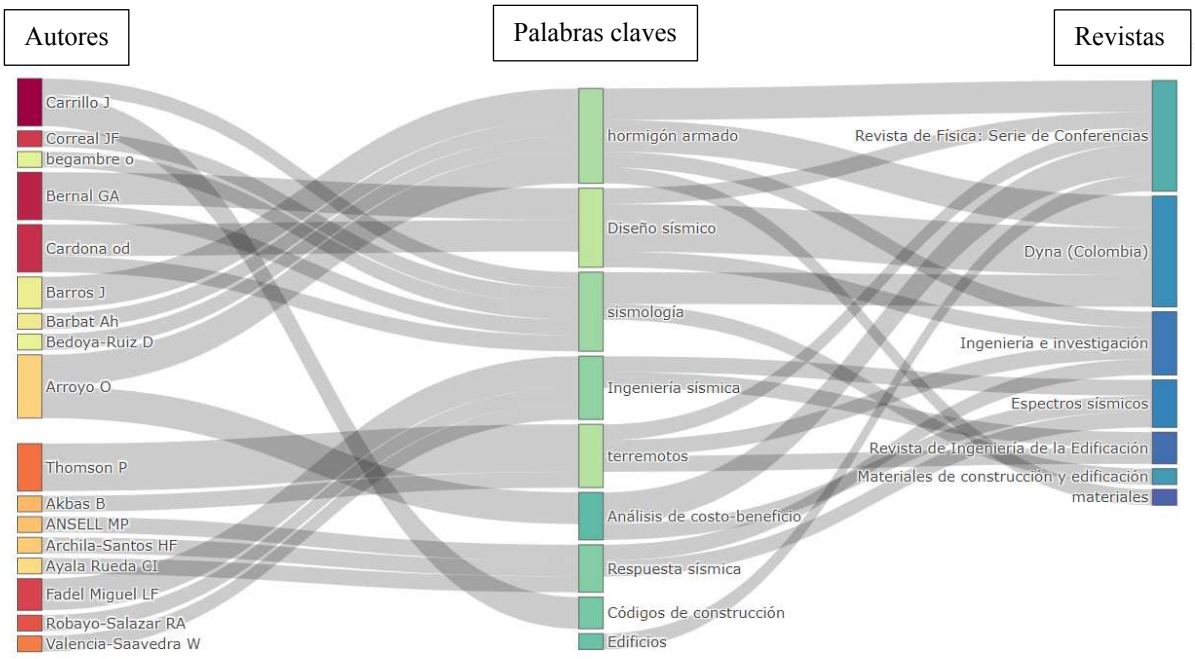
Además, la relación entre palabras clave y revistas indica los temas centrales abordados en diferentes publicaciones científicas. Las palabras clave seleccionadas, como "diseño sísmico" y "concreto reforzado", reflejan la importancia de aspectos sísmicos y el uso de

concreto reforzado en las estructuras, lo cual está en línea con el enfoque de los reglamentos de construcción y las normas asociadas.

En resumen, estos resultados muestran cómo ciertas palabras clave están fuertemente vinculadas a autores específicos y revistas, proporcionando una visión detallada de las áreas de investigación más relevantes en el diseño de estructuras aporticadas y concreto reforzado.

Figura 17.

Correlación entre palabra clave, autores y revistas.



Conclusiones

De la presente monografía, se derivan las siguientes conclusiones como resultado de la revisión bibliográfica, comparación de las normas y análisis bibliométrico:

El código colombiano de construcción sismo resistente de 2010 representó un cambio significativo en el paradigma del diseño sísmico en Colombia al introducir nuevos espectros de diseño sísmico, como el espectro de velocidad y el espectro de desplazamiento, con el propósito de mitigar los efectos provocados por eventos sísmicos. Además, se revisó el coeficiente de importancia para las edificaciones clasificadas en los grupos de uso III y IV, otorgándoles una relevancia mayor y aumentando su coeficiente en comparación con versiones anteriores del reglamento. Estos cambios se basaron en estudios exhaustivos, incluyendo una nueva clasificación de suelos, lo que demuestra una comprensión más profunda del comportamiento sísmico y permite una determinación más precisa de las fuerzas sísmicas a las que deben resistir las estructuras.

La NSR-10 también introdujo nuevos métodos de análisis y diseño sísmico, como el análisis push-over que, en lugar de considerar únicamente la respuesta lineal elástica, este método analiza cómo la estructura responde a cargas que aumentan gradualmente hasta alcanzar su capacidad máxima de resistencia. Además, estableció requisitos actualizados para el refuerzo de estructuras, incluyendo disposiciones para el diseño y construcción de elementos del pórtico como las vigas y columnas evaluándose bajo los esfuerzos generados por estos elementos que en comparación con los demás reglamentos estos se evaluaban bajo las fuerzas que ejercía las estructura, con el fin de mejorar la capacidad de resistencia ante eventos sísmicos.

A partir de la NSR-98, se implementó un procedimiento más detallado para el diseño y la construcción que incluyó el uso específico de estudios geotécnicos mediante la creación de un nuevo título, el Título H (Estudios Geotécnicos). Este título proporciona pautas claras para la realización y evaluación de estos estudios, lo que permite una comprensión más profunda y precisa de las condiciones del suelo y su impacto en las estructuras. Además, la norma estableció dentro del procedimiento la evaluación de los diseños arquitectónicos bajo los títulos J y K. Estos títulos detallan los requisitos y estándares que deben seguirse en el diseño arquitectónico, garantizando que las estructuras se planifiquen y construyan de manera segura y conforme a las normativas establecidas.

El análisis bibliométrico resalta la escasez de información relacionada con la comparación de los diferentes reglamentos colombianos, lo que refleja una falta de investigación en este ámbito. Esto nos llevó a centrar el análisis bibliométrico en el estudio del concreto reforzado y las estructuras de sistema tipo pórtico. Esta brecha en el conocimiento sugiere la necesidad de más investigaciones y publicaciones en el área de comparaciones entre los diferentes reglamentos en el diseño y construcción para contribuir al avance del campo de las estructuras, especialmente en lo que respecta al concreto reforzado y los sistemas estructurales tipo pórtico.

Asimismo, reveló un crecimiento anual del 4.85% desde 1989 hasta 2023 en la temática que aborda los diferentes reglamentos, diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado con sistema tipo pórtico, a pesar de la limitada disponibilidad de información. Estas publicaciones fueron principalmente escritas por 277 autores, destacando la contribución de países como Estados Unidos, China y Colombia. Además, se

identificaron autores relevantes de Colombia, como Gabriel Bernal, Omar Darío Cardona y Julián Carrillo, cuyos estudios han destacado en la investigación de este tema.

Finalmente, el análisis de tendencias revela un notable incremento en la producción científica relacionada con el uso de concreto reforzado en sistemas estructurales tipo pórtico a lo largo de los años, este análisis no solo muestra un aumento en la cantidad de estudios sobre este tema, sino también revela patrones de colaboración entre autores, revistas y países, lo que indica áreas de enfoque común y redes de investigación sólidas.

Recomendaciones

Para futuros trabajos de grado, se recomienda profundizar en la comparación de los diferentes reglamentos colombianos de construcción sismo resistentes, especialmente enfocado al detallado del refuerzo en zonas de capacidad de disipación de energía, con el propósito de identificar similitudes, diferencias y posibles áreas de mejora en la implementación.

Al llevar a cabo un análisis bibliométrico, es aconsejable consultar diversas bases de datos que proporcionen una amplia gama de información pertinente al tema de estudio, esto permitirá acceder a un mayor número de artículos e informes relevantes, enriqueciendo así el análisis y ofreciendo una perspectiva más completa.

Referencias

Alejandro Méndez Quintero, M., Patricia Takeuchi Tam, C., & Li, H. (2022). Structural analysis of a Guadua bamboo bridge in Colombia. *Sustainable Structures*, *2*(2). https://doi.org/10.54113/j.sust.2022.000020

Alvarado Perez, E. E., Bustos Linares, B., & Quintero Rojas, C. (2015). *Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural caso asentamiento subnormal barrio hacienda los molinos localidad Rafael Uribe Uribe de Bogotá D.C*. https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3480

Amariles López, C., Ramírez-Sepúlveda, D., & Cano-Saldaña, L. (2022). Comparación entre el ACI-318-19 y la NSR-10 para diseño estructural de pórticos de concreto en zonas de amenaza sísmica alta. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, *32*(2), 115–129. https://doi.org/10.18359/rcin.5933

Archila-Santos, H. F., Ansell, M. P., & Walker, P. (2012). Low Carbon Construction Using Guadua Bamboo in Colombia. *Key Engineering Materials*, *517*, 127–134. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.517.127

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1998). *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98*. http://www.asosismica.org.co

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010a). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 1*. http://www.asosismica.org.co

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010b). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2*. http://www.asosismica.org.co

Cai, Z. K., Wang, Z., & Yang, T. Y. (2018). Experimental testing and modeling of precast segmental bridge columns with hybrid normal- and high-strength steel rebars. *Construction and Building Materials*, *166*, 945–955. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.01.159

Carrillo, J., Lizarazo-Marriaga, J., & Lamus, F. (2020). Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Either Industrial or Recycled Fibers from Waste Tires. *Fibers and Polymers*, *21*(9), 2055–2067. https://doi.org/10.1007/s12221-020-1076-1

Casapu, M., Grunwaldt, J.-D., Maciejewski, M., Krumeich, F., Baiker, A., Wittrock, M., & Eckhoff, S. (2008). Comparative study of structural properties and NOx storage-reduction behavior of Pt/Ba/CeO2 and Pt/Ba/Al2O3. *Applied Catalysis B: Environmental*, *78*(3–4), 288–300. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2007.09.030

Cortes Polo, S. (2020). *Análisis Estructural Teorico-Tecnico y los Requerimientos de la NSR-10 Para un Proyecto de Ingenieria Civil en Colombia.* https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/23136

Criado-Rodríguez, D. M., Pacheco-Vergel, W. A., & Afanador-García, N. (2020). Vulnerabilidad sísmica de centros poblados: estudio de caso. *Revista Ingenio*, *17*(1), 43–48. https://doi.org/10.22463/2011642x.2441

Díaz portilla, M. A., & Aranda Nieves, S. A. (2017). *Comparación técnica entre el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-98 y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-10 en edificaciones en la ciudad de Bogotá*.

https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/78c612c6-f4a3-426c-b9b9-475acfcf9597

Fiore, M., & Saville, P. (2017). List objects with algebraic structure. *Leibniz International Proceedings in Informatics, LIPIcs*, *84*. https://doi.org/10.4230/LIPIcs.FSCD.2017.16

García-León, R. A., Martínez-Trinidad, J., & Campos-Silva, I. (2021). Historical Review on the Boriding Process using Bibliometric Analysis. In *Transactions of the Indian Institute of Metals* (Vol. 74, Issue 3, pp. 541–557). Springer. https://doi.org/10.1007/s12666-020-02174-6

Issa, M. A., Asce, F., Ovitigala, T., Asce, M., Ibrahim, M., & Asce, S. M. (n.d.). *Shear Behavior of Basalt Fiber Reinforced Concrete Beams with and without Basalt FRP Stirrups*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614

Kachapi, S. H. H., Dardel, M., Daniali, H. M., & Fathi, A. (2019). Nonlinear dynamics and stability analysis of piezo-visco medium nanoshell resonator with electrostatic and harmonic actuation. *Applied Mathematical Modelling*, *75*, 279–309. https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.05.035

Kanert, O., Küchler, R., Dieckhöfer, J., Lu, X., Jain, H., & Ngai, K. L. (1994). Study of low-frequency excitations in disordered solids by nuclear magnetic resonance and electrical conductivity. *Journal of Non-Crystalline Solids*, *172–174*, 1277–1284. https://doi.org/10.1016/0022-3093(94)90653-X

Lerchie, W., Schellekens, A. N., & Warner, N. P. (1989). Lattices and strings. *Physics Reports*, *177*(1–2), 1–140. https://doi.org/10.1016/0370-1573(89)90077-X

Li, J.-R., Bu, X.-H., Jiao, J., Du, W.-P., Xu, X.-H., & Zhang, R.-H. (2005). Novel dithioether–silver(<scp>i</scp>) coordination architectures: structural diversities

by varying the spacers and terminal groups of ligands. *Dalton Trans.*, *3*, 464–474. https://doi.org/10.1039/B416576B

Liu, H., & Luo, R. (2020). Development of failure criterion and fatigue model to characterize the fatigue resistance of asphalt binders under controlled-stress time sweep tests. *Materials and Structures*, *53*(1), 5. https://doi.org/10.1617/s11527-019-1436-8

Lu, P., Zhang, T. W., Zhao, D., Ma, S. G., Li, Q., & Wang, Z. H. (2020). Mechanical behaviors and texture evolution of CoCrFeNi high-entropy alloy under shear-tension deformation. *Journal of Alloys and Compounds*, *815*, 152479. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152479

Mastrodoménico Ahumada, A. M., Diaz Barrera, M. A., & De sales Vergara, K. E. (2013). *Análisis comparativo del diseño para una edificación de 5 niveles, según las normas Cololmbianas de sismoresistencia NSR-98 y la NSR-10, en zonas de amenaza sísmica intermedia*. https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/604?show=full

MOP. (1984). Decreto-Ley 1400 de 7 de Junio de 1984. *Ministerio de Obras Publicas*, *1*, 1–354. https://nuevalegislacion.com/files/susc/cdj/conc/dl_1400_84.pdf

Mora, M. G., Valcárcel, J. A., Cardona, O. D., Pujades, L. G., Barbat, A. H., & Bernal, G. A. (2015). Prioritizing Interventions to Reduce Seismic Vulnerability in School Facilities in Colombia. *Earthquake Spectra*, *31*(4), 2535–2552. https://doi.org/10.1193/040412EQS151T

Peled, A. (2005). Effect of matrix modification on durability of glass fiber reinforced cement composites. *Materials and Structures*, *38*(276), 163–171. https://doi.org/10.1617/14091

Pereda-Ayo, B., Duraiswami, D., & González-Velasco, J. R. (2011). Control of NO storage and reduction in NSR bed for designing combined NSR–SCR systems. *Catalysis Today*, *172*(1), 66–72. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2011.01.043

Robayo-Salazar, R. A., Valencia-Saavedra, W., Ramírez-Benavides, S., Gutiérrez, R. M. de, & Orobio, A. (2021). Eco-house prototype constructed with alkali-activated blocks: Material production, characterization, design, construction, and environmental impact. *Materials*, *14*(5), 1–20. https://doi.org/10.3390/ma14051275

Shibazaki, Y., Kohno, H., & Hamatani, M. (2009). *An innovative platform for high-throughput high-accuracy lithography using a single wafer stage* (H. J. Levinson & M. V. Dusa, Eds.; p. 72741I). https://doi.org/10.1117/12.813386

Villar-Salinas, S., Guzmán, A., & Carrillo, J. (2021). Performance evaluation of structures with reinforced concrete columns retrofitted with steel jacketing. *Journal of Building Engineering*, *33*, 101510. https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101510

Witharana, C., & Civco, D. L. (2014). Optimizing multi-resolution segmentation scale using empirical methods: Exploring the sensitivity of the supervised discrepancy measure Euclidean distance 2 (ED2). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *87*, 108–121. https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2013.11.006

APENDICE

Anexo A.

Guía para la realización de un análisis comparativo mediante el software R-studio.

Anexo B.

Tabla comparativa para los diferentes reglamentos en el título C.

Anexo C.

Tabla de resultados del título A.

Anexo D.

Tabla de resultados titulo C.

Anexo E.

Tabla comparativa para los diferentes reglamentos en el Titulo A.

Estos Anexos se pueden encontrar en el siguiente enlace de drive que consta de las diferentes tablas que fueron diseñadas y utilizadas para la elaboración del análisis comparativo, estas tablas se desarrollaron con el fin de proporcionar facilidad al momento de comparar los reglamentos, ya que es extensa la información de cada reglamento por lo cual se vio en la necesidad de crearlas, en las tablas de resultados se encuentra una breve descripción dependiendo cada reglamento si la sección se implementó o si surgieron

cambios en estas y se desarrolló una guía paso a paso de cómo se realiza un análisis bibliométrico desde la base de datos que proporciona la universidad por medio del software R-studio.

https://drive.google.com/drive/folders/1W3jPDr7AyeY9XxzoJ6R3DVZ5FP45MYjq?usp=drive_link