



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN LAS
ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO
PARA EDIFICACIONES URBANAS”. UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA 2009-2019

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Autores:

Ferrer Espinola, Carlos Junior
Mantilla Urcia, Karyme Geraldly

Asesor:

Mg. Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación **a Dios** por estar con nosotros en cada momento difícil brindándonos fortaleza para no desistir de este arduo camino, orientándonos a lo largo de esta investigación; **a nuestros padres y familiares**, quienes han velado por nuestro bienestar y educación brindándonos su apoyo incondicional para conseguir nuestras metas trazadas; **a nuestro asesor y docentes**, porque gracias a sus conocimientos, exigencias y consejos ayudaron en nuestra formación profesional, **a nuestros amigos** agradecerles por apoyarnos en algunos momentos difíciles que pudimos tener durante nuestra formación universitaria.

Los autores

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darnos vida y salud bendiciéndonos porque hiciste realidad este sueño tan anhelado, a nuestros padres, hermanos y familiares por darnos siempre la fortaleza y ánimo en cada momento para no flaquear y poder lograr nuestras metas trazadas siempre con el apoyo y consejos de ellos, a nuestros amigos por darnos la mano cada que lo necesitábamos, a nuestros docentes y asesor por estar pendiente en todo el trayecto de esta investigación ya que sin su ayuda no hubiéramos logrado el término de esta revisión sistemática.

Los autores

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	12
CAPÍTULO III. RESULTADOS	15
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad de artículos de investigación por palabras claves.	13
Tabla 2 Cantidad de artículos incluidos y excluidos	14
Tabla 3 Matriz de registro de artículos excluidos	15
Tabla 4 Matriz de registro de artículos de inclusión.....	16
Tabla 5 Estudios clasificados por año.	19
Tabla 7 Inducción de categorías	21

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: Artículos encontrados según bases de datos	18
Gráfica 2: Total de estudios incluidos y excluidos.....	19
Gráfica 3: Porcentaje de artículos publicados por año de investigación.....	20
Gráfica 4: Artículos por tipo de documento.	21

RESUMEN

Los eventos naturales como los terremotos han ocasionado cuantiosas pérdidas de vidas humanas como económicas. Por ello, el objetivo de investigación fue conocer el comportamiento sísmico en las estructuras de concreto reforzado para edificaciones urbanas a partir de la revisión sistemática de la literatura científica de los últimos diez años. Para la búsqueda de información se han utilizado bases de datos como Scielo, Redalyc, entre otras. El número de artículos analizados fue 25, de los cuales se descartaron 5 debido a que no cumplían con la estructura IMRD o con el periodo establecido. Los resultados muestran que, la base de datos “Scielo” aportó un 55% de artículos; y el 30% de información recolectada fue del año 2018, además se encontraron tendencias referentes a Metodologías de evaluación sísmica en estructuras dúctiles, Softwares de análisis sísmico, Propiedades y comportamiento de los materiales. Las limitaciones fueron la obtención de artículos con la estructura IMRD y que contengan las dos variables. Finalmente se concluye que, a través de modelos analíticos se puede determinar espectros de respuesta (cortante en la base vs desplazamiento), en ellos se puede apreciar el comportamiento en las estructuras de concreto reforzado cuando están sometidas a sollicitaciones sísmicas.

PALABRAS CLAVES: Comportamiento sísmico, concreto reforzado, evaluación sísmica, software sísmicos y propiedades de los materiales

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, distintos países a nivel global se han visto afectados por eventos naturales, un caso particular de estos son los terremotos, los cuales se producen al entrar en contacto las placas tectónicas, produciendo una gran cantidad de energía liberada, la cual, se manifiesta a través de ondas sísmicas; producto de esto, se generan cifras importantes de pérdidas tanto humanas como económicas. Es por esto que, las obras civiles son vulnerables ante movimientos sísmicos, de manera que, las normativas de la ingeniería sismorresistente de los diversos países a nivel mundial buscan diseñar edificaciones que resistan el comportamiento desordenado del suelo, de igual modo se tiene que, verificar las propiedades mecánicas de los materiales estructurales. (Marinilli, 2009)

El comportamiento sísmico del Perú es relevante, por ende, las edificaciones están propensas a sufrir daños estructurales por lo que, el mapa de zonificación del Perú se ha dividido en 4 zonas, donde se indica la aceleración del suelo. (M.A Salgado, 2015). Así mismo, cabe mencionar que, las propiedades y tipos de suelos influyen en la frecuencia, amplitud y periodo de las vibraciones sísmicas de la superficie donde se cimentarán las estructuras; sin embargo, el grado de destrucción no está delimitada por estos parámetros sísmicos. (Rodríguez, 2014)

Hoy en día, en el campo de la ingeniería sísmica, se viene implementando la aplicación del método de diseño por desempeño el cual tiene 3 criterios fundamentales a considerar como son: niveles de desempeño, demanda sísmica y objetivos de desempeño. (Medina & Music, 2018) Así mismo, se puede utilizar los desplazamientos laterales como índice de desempeño. (Lopez & Zyala, 2013) En síntesis, este método sirve para evaluar

los daños estructurales y no estructurales; al igual que, la seguridad ante el derrumbe, de igual forma, cabe acotar que, el punto de desempeño es la intersección entre la curva de capacidad y la demanda sísmica.

Las estructuras de concreto reforzado son diseñadas para comportarse adecuadamente ante un evento sísmico, esto se debe a las propiedades mecánicas de los materiales estructurales (Marinilli, 2009) (Lopez & Zyala, 2013). Hay que mencionar, además que las formas de diseño y análisis con el paso del tiempo han ido progresando; a causa de esto, el análisis probabilístico es una herramienta que permite estimar la variabilidad del comportamiento sísmico de las estructuras (Marinilli, 2009) (Lopez & Zyala, 2013). Así mismo, el surgimiento de programas de análisis estructural beneficia mediante la obtención de resultados puntuales y rápidos (Bojórquez, y otros, 2018). Por otra parte, las dimensiones y los materiales que forman parte de las componentes tanto verticales como horizontales, proporcionan rigidez y resistencia respectivamente. Sin embargo, el concreto es un material frágil no flexible, es decir que presenta fisuras antes de que llegue a su resistencia máxima (Bojórquez, y otros, 2018). Es por esto que, se analizan los pórticos de concreto armado, cuando son sometidos ante una carga en su etapa lineal como no lineal.

La ingeniería sismorresistente, analiza la respuesta de la estructura ante una carga dinámica (Marinilli, 2009) (Lopez & Zyala, 2013) , con la finalidad de que, no se produzca el efecto de resonancia, debido a que esto genera los desplazamientos máximos en las estructuras (Wilmer & León, 2009). Es por lo que la metodología de diseño por desempeño busca que los daños producidos por las acciones sísmicas estén dentro de los márgenes predeterminados de diseño y así, poder asegurar la vida de los ocupantes y el no colapso de las edificaciones (Medina & Music, 2018). Finalmente, para garantizar el comportamiento

sísmico en las estructuras de concreto armado, se debe tener en cuenta el control de los materiales, la simetría y la correcta distribución de los elementos estructurales; puesto que, tanto la masa, como la rigidez y la altura de las edificaciones influyen en el periodo natural de los mismos.

Por lo manifestado líneas arriba, nace la interrogante de investigación ¿Cuál es el comportamiento sísmico en las estructuras de concreto reforzado para edificaciones urbanas entre los años 2009- 2019? Así mismo, el objetivo principal que se planteó es conocer el comportamiento sísmico en la estructura de concreto reforzado para edificaciones urbanas, a partir del análisis de artículos de investigación.

El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de estudiar el comportamiento sísmico en las edificaciones de concreto armado en zonas urbanas, este tema es de interés global, debido a que los eventos naturales han ocasionado cuantiosas pérdidas de vidas humanas como económicas, así mismo se pretende conocer las diversas metodologías que evalúan el desempeño de las edificaciones, así también saber los diversos softwares que se utilizan para la determinación los desplazamientos laterales como la distorsión de pisos y derivas. Finalmente se busca comprender el comportamiento de los materiales que aportan en la rigidez de los elementos verticales al incursionar dentro del rango elástico como inelástico.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación es una revisión sistemática de literatura científica, por lo que se llevó a cabo un proceso metodológico, en el cual se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es el comportamiento sísmico en las estructuras de concreto reforzado para edificaciones urbanas en los últimos 10 años? Por ello detallamos los siguientes criterios:

Criterios de inclusión

Los criterios tomados en cuenta fueron: el primero, buscar artículos que contengan nuestras dos variables, en estos encontramos un sinnúmero, por ello adicionamos que sean de países latinoamericanos, además usamos los operadores lógicos and y or. Como segundo criterio que cuenten con la estructura IMRD y que sean artículos científicos, en el tercero tuvimos en cuenta el rango de 10 años de antigüedad para poder obtener un campo amplio de información sobre nuestras variables. Y por último consideramos que nuestros artículos se encuentren en bases de datos confiables como Scielo, Redalyc, ProQuest, entre otras.

Recursos de información

Las bases de datos consultadas fueron: Scielo, ProQuest, Redalyc, ScienceDirect, Dialnet y Google académico. En la base de datos Scielo encontramos 17 artículos científicos con las dos variables y autores de universidades reconocidas. Nuestra segunda búsqueda la realizamos en ProQuest, dando como resultado 65 textos científicos, de las cuales hicimos una indagación profunda seleccionando a nuestros criterios de año y países quedando en 25 artículos. La tercera base que buscamos fue Dialnet, en esta obtuvimos 30 resultados de los

cuales algunos de ellos no mantenían la estructura IMRD, seguimos en nuestra búsqueda en ScienceDirect, aquí si encontramos solo 10 artículos con nuestras 2 variables y la estructura requerida. Luego, usamos la base de datos Redalyc en la cual obtuvimos 30 artículos que cumplían con la estructura IMRD la cual requerimos para nuestra revisión sistemática. Por ultimo buscamos de Google Académico, de la cual obtuvimos 5 artículos que cumplen con los criterios establecidos.

Búsqueda

Para obtener resultados en nuestra búsqueda primero ingresamos nuestras variables colocando filtros de 10 años de antigüedad en la cual nos salieron demasiados resultados entonces optamos por colocar palabras claves como desempeño sísmico, comportamiento sísmico, estructuras de concreto reforzado como se muestra en la Tabla 1. También usamos palabras en inglés usando los operadores lógicos seismic analysis and structural análisis, entre otras, la última estrategia de búsqueda que consideramos fue que sean artículos científicos.

Tabla 1

Cantidad de artículos de investigación por palabras claves.

Nº	Palabra clave	Redalyc	Scielo	Dialnet	ScienceDirect	Google A.	ProQuest
1	Desempeño sísmico en edificios	10	14	10	7	9	2
2	Comportamiento sísmico	14	18	10	10	5	30
3	Seismic analysis and structural análisis	25	30	15	15	10	20
4	Estructuras de concreto	20	30	12	18	6	10

Nota: En la tabla mostramos los resultados que obtuvimos al realizar nuestra búsqueda en las diferentes bases de datos.

Descarte

Al encontrar diversa información en nuestra búsqueda empezamos a descartar, 2 artículos porque no tenían la estructura IMRD, además realizando una lectura profunda 1 de éstos no contenía ambas variables, la mayoría tenía una variable referente al tema y otra que no era de nuestro interés. Aplicamos el criterio rango de tiempo, para nuestro tema solo serán 10 años de antigüedad, e hicimos el descarte de 2 artículos como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Cantidad de artículos incluidos y excluidos

Nº	Selección final	Total
1	Artículos incluidos	20
2	Artículos excluidos	5

Nota: En esta tabla observamos el total de artículos incluidos que usamos para nuestra revisión sistemática, al igual que los de descarte.

Selección de datos

El método utilizado para la extracción de datos usado fue la matriz de base de datos que tiene como campos el tipo de artículos, para nuestro caso fueron científicos, el siguiente campo corresponde a la universidad, como tercer campo tenemos que cuenten con la estructura IMRD, en el cuarto campo nombre del autor, quinto campo el año de publicación, sexto campo concepto 1 y 2, séptimo campo palabras claves u operador, octavo campo descarte e inclusión, noveno campo objetivo, décimo campo método utilizado, onceavo campo resultados, doceavo campo instrumentos de medición y como último campo conclusión.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

La Revisión Sistemática es una herramienta basada en el análisis crítico de diversas investigaciones primarias con relación a un determinado tema. Estas simplifican de manera clara y estructurada la información relevante para responder una pregunta específica. (Moreno, Muñoz, Cuellar, Domancic, & Villanueva, 2018)

Selección de estudios

Al aplicar la metodología de revisión sistemática de literatura científica descrita en la sección Metodología se encontraron cerca de 25 artículos, excluyendo 5 de estos porque no mantenían la estructura IMRD, el intervalo de año de publicación no estaba en el rango estipulado, no contenían las dos variables en un mismo artículo. En la tabla 3 se presenta el reporte de los artículos excluidos en nuestra revisión sistemática.

Tabla 3

Matriz de registro de artículos excluidos

Nº	BASE DE DATOS	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Scielo	Gerardo Díaz Martínez, Amador Terán Gilmore y Carlos Reyes Salinas	2013	Diseño basado en desplazamientos de estructuras esenciales
2	Google académico	Ricardo González Alcorta y Luis Manuel Aranda Máltez	2002	Análisis de la vibración de una losa de concreto ocasionada por la operación de una maquinaria
3	ProQuest	Martha Liliana Carreño Tibaduiza, Nieves Lantada Zarzosa, Janira Irizarry, Jairo A. Valcárcel, Alex H. Barbat y Xavier Goula Suriñach	2012	Comportamiento Sísmico de los Edificios de Lorca
4	Redalyc	Julián Carrillo	2007	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño

5	Scielo	Eric Fernando Espinosa Cazarín , Amador Terán Gilmore , Oscar Zúñiga Cuevas y Raúl Jean Perilliat	2014	Consideraciones para el diseño sísmico de edificios altos de mampostería confinada ubicados en zonas sísmicas
---	--------	---	------	---

Nota: Obtuvimos 5 artículos descartados, el motivo fue porque no cumplían con la estructura IMRD, las dos variables o los intervalos de tiempo establecidos, es decir 2009-2019.

Después del descarte nos quedamos con 20 artículos que cumplían los criterios de inclusión y están más cerca de la temática “Comportamiento sísmico en las estructuras de concreto reforzado para edificaciones urbanas”, y con el periodo requerido para esta revisión sistemática el cual fue 2009-2019 como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Matriz de registro de artículos de inclusión

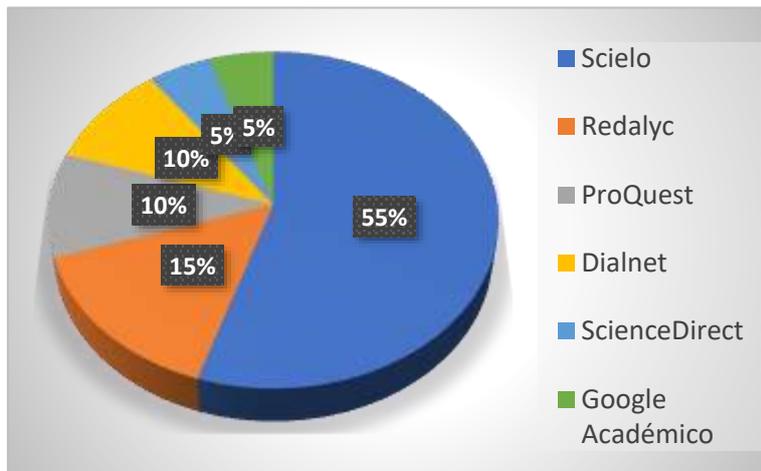
Nº	BASE DE DATOS	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Scielo	Wilmer Julián, Carrillo León	2009	Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto.
2	Scielo	Ricardo Medina y Juan Music	2018	Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena
3	Scielo	Edén Bojórquez Mora , Herian Leyva Madrigal , Alfredo Reyes Salazar , Eduardo Fernández González , Juan Bojórquez Mora , Jesús Leal Graciano y Juan Serrano Corona	2018	Diseño óptimo multi-objetivo de edificios de concreto reforzado usando algoritmos genéticos
4	Scielo	José E. Barradas Hernández y Gustavo Ayala Milián	2015	Sitios del valle de México en los que se debe diseñar para un Q menor al estipulado para estructuras dúctiles

5	Redalyc	Saúl López y A. Gustavo Ayala	2013	Método de diseño sísmico basado en desplazamientos para marcos de concreto reforzado
6	Scielo	Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer	2011	Comportamiento a cortante de muros de concreto para vivienda
7	Scielo	Angelo Marinilli	2009	Análisis probabilístico simplificado de pórticos de concreto reforzado ante acciones sísmicas
8	Scielo	Jaime Retama Velasco, A. Gustavo Ayala Milián y J. Jesús Gutiérrez Trejo1	2014	Modelado numérico del daño en estructuras de concreto reforzado
9	ProQuest	Jorge Arcila Zea1, Carlos Alberto Riveros Jerez, Javier Enrique Rivero Jerez	2014	Optimización de secciones de vigas y columnas para el cumplimiento de la deriva en edificaciones de concreto reforzado mediante Redes Neuronales Artificiales
10	ProQuest	Andrés Duque, Ingrid Amazo, Daniel Ruiz	2010	Ensayos de resistencia de pórticos de concreto a escala, reforzados con CFRP en los nudos
11	Redalyc	Reyes Indira Herrera, Juan Carlos Vielmaa , Ronald Ugela, Yolsanie Martinez	2012	Evaluación del comportamiento sismorresistente y diseño óptimo de un edificio existente de concreto armado de baja altura.
12	Dialnet	Hermenegildo Rodríguez Gómez	2014	Comportamiento sísmico de pórticos de concreto armado bajo la influencia de la porción fuerte en un suelo blando
13	ScienceDirect	M.A. Salgado-Gálvez, M.L. Carreño, A.H. Barbat y O.D. Cardona	2014	Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenario
14	Dialnet	Alberto Vásquez Martínez. Romel Jsesús Gallardo Amaya.	2018	Respuesta no lineal de estructuras con muros de concreto reforzado
15	Scielo	Marianela Blanco	2012	Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente
16	Scielo	S. Diaz 1, L. Pujades, L. Pinzón, Y. Vargas	2018	Un enfoque alternativo para tomar en cuenta el efecto de la direccionalidad sísmica
17	Scielo	Mabel Mendoza Pérez y A. Gustavo Ayala Milián	2012	Procedimiento de evaluación de edificios de concreto reforzado basado en desempeño: Desarrollo y Validación
18	Scielo	J. L. Félix Hernández, R. Alvarado-Corona , C. I. Mota-Hernández & L. Esteva M.	2018	Análisis estructural de integridad en puente por carga lateral sísmica
19	Google Académico	Marco A. Escamilla y Gustavo Ayala	2014	Aplicación de los procedimientos simplificados de análisis sísmico no lineal a edificios asimétricos

20	Redalyc	Gerardo Aguilar, Eduardo Reinoso, Mauro Niño	2018	Comportamiento sísmico de fachadas prefabricadas de concreto del tipo “piso a piso”
----	---------	--	------	---

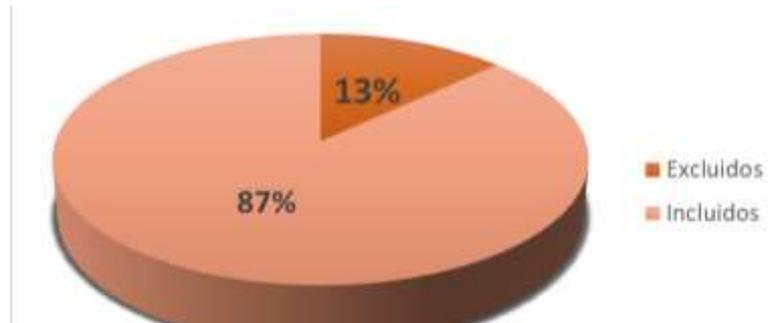
Nota: Se seleccionaron 20 artículos los cuales tenían la estructura IMRD y estaban en el tiempo establecido 2009-2019

Las 20 publicaciones estudiadas pertenecen a distintas bases de datos confiables como Scielo, Redalyc, ProQuest, Dialnet, ScienceDirect. Según el número de artículos encontrados en cada una de estas obtuvimos los siguientes resultados como se muestran en la gráfica 1. De la cual el 55% fueron artículos publicados en la base de datos Scielo, esta proporcionó mayores estudios para la revisión sistemática y las bases de datos con menor resultado fueron ScienceDirect y Google Académico con un 5% cada una.



Gráfica 1: Artículos encontrados según bases de datos

De la totalidad de artículos la gráfica 2 nos indica el porcentaje de los artículos incluidos y excluidos analizados para la revisión sistemática.



Gráfica 2: Total de estudios incluidos y excluidos.

Características de los estudios

Dentro de esta categoría podemos visualizar el número de artículos que se clasificaron por año de investigación como se aprecia en la tabla 5, en dónde se muestra que en el año 2018 se consiguieron la mayor cantidad de artículos que aportan para la investigación “Comportamiento Sísmico en las estructuras de concreto reforzado para edificaciones urbanas”.

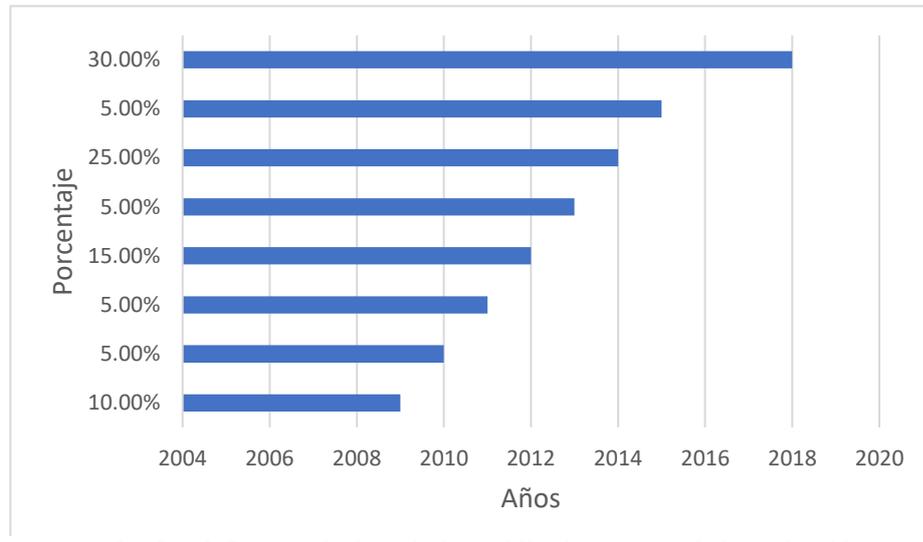
Tabla 5

Estudios clasificados por año.

Año	N° Trabajos	Porcentaje
2009	2	10.00%
2010	1	5.00%
2011	1	5.00%
2012	3	15.00%
2013	1	5.00%
2014	5	25.00%

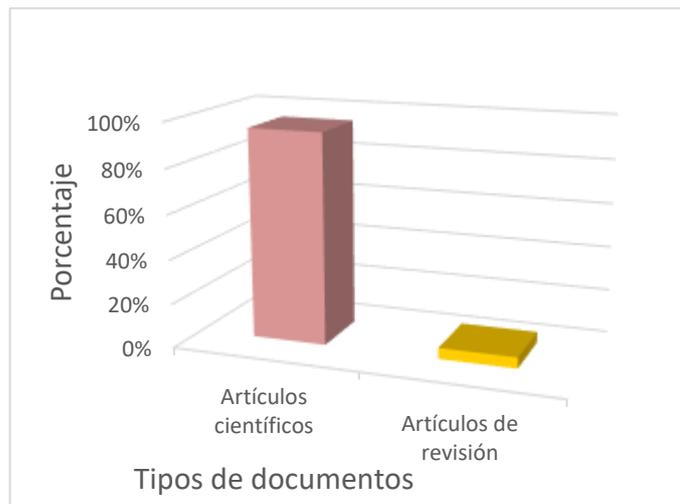
Nota: Los artículos estudiados se clasificaron por año, teniendo un mayor resultado en el 2018.

En la gráfica de barras 3 observamos mejor la tendencia respecto al año 2018 con un porcentaje del 30% respecto a los artículos estudiados y con menores resultados en los años 2010, 2011, 2013, 2015 cada uno de estos con un 5%.



Gráfica 3: Porcentaje de artículos publicados por año de investigación.

Otra característica incluida en la revisión sistemática fue que sean artículos científicos, debido a que cuentan con la estructura IMRD y resultados cuantitativos referentes al tema de investigación. Sin embargo, se consideró un artículo de revisión porque contribuyó a conocer los criterios de diseño sismorresistente. En la gráfica 4 se muestra que el 95% fueron artículos científicos y el 5% artículos de revisión.



Gráfica 4: Artículos por tipo de documento.

Análisis global de los estudios

En la tabla 7 se presenta el reporte de los artículos más relevantes obtenidos en el proceso de revisión sistemática de literatura científica, clasificados por categorías y aportes de los investigadores.

Tabla 6

Inducción de categorías

Categorías	Aportes
Metodologías de evaluación sísmica en estructuras dúctiles.	<p>Metodología Basada en el Desplazamiento (MBD) para marcos rígidos de concreto reforzado, se basa en la definición de una curva bilineal, denominada curva de comportamiento, correspondiente al modo fundamental de un sistema estructural; la cual está asociada a un nivel de desempeño estado límite último o seguridad de vida. (Lopez & Zyala, 2013)</p> <p>Se determinó el nivel de desempeño de un edificio conformado por muros de concreto armado, mediante el Método de Espectro de Capacidad (MEC), éste consiste comparar la capacidad de una estructura para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica, representadas a través de diagramas espectrales. (Medina & Music, 2018)</p> <p>La metodología de Análisis Modales Espectrales Evolutivos (AMEE), permite evaluar de manera directa el desempeño de estructuras a través del cálculo de la curva de capacidad cuando es sometida a demandas sísmicas creciente. (Mendoza & Ayala, 2013)</p>

La metodología basada en Redes Neuronales Artificiales (RNA) busca la optimización de los elementos estructurales con la finalidad de que asegure el cumplimiento de la deriva máxima según la exigencia de la NSR-10. (Arcila, Riveros, & Rivero, 2014)

La metodología basada en Algoritmos Genéticos (AG), es una técnica de optimización que consiste en obtener un conjunto de soluciones que satisfagan diversas funciones, para este caso las funciones objetivo son: distorsión máxima de entre pisos y costo estructural. (Bojórquez, y otros, 2018)

Softwares de análisis sísmico	<p>El procedimiento de diseño se efectuó en el programa SAP, además se necesitaron parámetros como: amortiguamiento tipo Rayleigh, ($\xi = 0.05$) y una rigidez de post fluencia del 5%. (Lopez & Zyala, 2013)</p>
	<p>El comportamiento no lineal del pórtico fue evaluado mediante análisis estáticos no lineales “Pushover” con el programa comercial SAP2000. (Marinilli, 2009)</p>
	<p>Para la determinación de las cargas se utilizó el programa SAP 2000. (Arcila, Riveros, & Rivero, 2014)</p>
	<p>Para realizar los análisis modales espectrales evolutivos se utilizó como herramienta de análisis estructural el programa SAP2000. (Mendoza & Ayala, 2013)</p> <p>Para realizar la modelación elástica con el MCA y el MEF, se utilizó el programa SAP2000. (Wilmer & León, 2009)</p> <p>Los análisis modales espectrales se llevaron a cabo con el programa SAP 2000, en dichos análisis se consideró que todos los modos tienen una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%. (Barradas & Ayala, 2015)</p>

Propiedades y comportamiento de los materiales	<p>La curva de comportamiento permite apreciar la diferencia entre los elementos que presentarán daño de los que responderán elásticamente cuando son sometidos a demandas sísmicas. (Lopez & Zyala, 2013)</p>
	<p>La capacidad del edificio se representa a través de curvas de capacidad que se obtienen de un análisis estático no lineal “Pushover”, además las curvas de tensión – deformación representan el comportamiento no lineal de los materiales. (Medina & Music, 2018)</p>
	<p>El comportamiento sismorresistente de las estructuras se ve afectada por la variabilidad de las propiedades mecánicas de los materiales como la resistencia, ductilidad y capacidad de absorber y disipar energía. Es por esto que se presta especial atención al comportamiento no lineal de pórticos de concreto reforzado cuando son sometidos ante la acción de solicitaciones sísmicas. (Marinilli, 2009)</p> <p>La curva de histéresis (δ vs V_b) es obtenida sometiendo al modelo analítico a una carga pseudoestática y considerando los parámetros no lineales de cada uno de los materiales. (Vásquez & Gallardo, 2018)</p>

En pórticos de concreto armado se estudia el comportamiento en el rango inelástico, evidenciado por el parámetro de daño, representado por rotulas inelásticas en los extremos de cada miembro o elemento. (Rodríguez, 2014)

El comportamiento mecánico del concreto reforzado, visto como un material compuesto, es un problema complejo cuyo modelado numérico aún no está plenamente estudiado. (Retama, Ayala, & Gutiérrez, 2014)

Nota: En esta tabla se muestra los aportes de los artículos científicos más relevantes

En base a los artículos analizados para definir las categorías se puede apreciar que, existen diversas metodologías que nos proporcionan procedimientos para evaluar la respuesta dinámica de las estructuras de concreto reforzado, como por ejemplo el MEC, MBD o AMEE. Estos métodos consiste en someter la estructura a diversas demandas sísmicas con la finalidad de construir la curva de capacidad y así poder determinar el nivel de desempeño de las estructuras (Medina & Music, 2018) (Lopez & Zyala, 2013) (Mendoza & Ayala, 2013). Sin embargo, dichas metodologías se concentran más en el control por sismo que no toman en cuenta el factor económico, por lo que existen métodos basados en inteligencia artificial como es el caso de los métodos de Algoritmos Genéticos y RNA, los cuales buscan la optimización de los elementos estructurales en base a funciones objetivos de distorsión de entrepiso y costo total de los marcos de concreto reforzado. (Arcila, Riveros, & Rivero, 2014) (Bojórquez, y otros, 2018)

Un segundo enfoque fue el uso de herramientas de análisis y diseño estructural, debido a que en la actualidad existen diversos programas que ayudan a obtener resultados de una manera concreta y rápida. La mayoría de investigadores utilizó el programa SAP 2000 para poder analizar el comportamiento de las estructuras de concreto armado, con este programa de cálculo se determinaron las cargas y los espectros modales (Wilmer & León, 2009) (Marinilli, 2009) (Arcila, Riveros, & Rivero, 2014) (Mendoza & Ayala, 2013),

además se tuvo en consideración una fracción de amortiguamiento ($\xi = 0.05$) y una rigidez post fluencia del 5%. (Barradas & Ayala, 2015) (Lopez & Zyala, 2013)

Las variabilidad de las propiedades mecánicas de los materiales como resistencia a la compresión, resistencia a la fluencia del acero, módulo de elasticidad del concreto y acero, entre otras, influyen sobre la respuesta sísmica de las estructuras, además cabe mencionar que las curvas de esfuerzo – deformación permiten apreciar el comportamiento lineal y no lineal de los materiales, así mismo, las curvas de histéresis representan la capacidad que tienen los materiales para absorber y disipar energía sísmica. (Medina & Music, 2018) (Lopez & Zyala, 2013) (Marinilli, 2009) (Vásquez & Gallardo, 2018) (Rodríguez, 2014) Sin embargo, aún no está establecido un modelo numérico que represente el comportamiento del concreto reforzado como un material compuesto. (Retama, Ayala, & Gutiérrez, 2014) Es por ello que, se debe tener cuidado al momento de analizar las estructuras de concreto reforzado, puesto que sus elementos estructurales pueden sufrir daños como rótulas plásticas o responder elásticamente ante las sollicitaciones sísmicas. (Marinilli, 2009)

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Se concluye que, a través de modelos analíticos se puede determinar diagramas espectrales de respuesta (cortante en la base vs desplazamiento), en ellos se puede apreciar el comportamiento de las estructuras de concreto reforzado cuando están sometidas a solicitaciones sísmicas. Debido a esto es que las normativas indican criterios fundamentales de diseño sismorresistente con la finalidad de controlar los desplazamientos laterales de los elementos verticales o distorsiones de piso.

Se escogieron 25 artículos científicos de los cuales se descartaron 5 debido a que no cumplían con la estructura IMRD, con las variables o con el periodo establecido. De los restantes; la base de datos “SciELO” aportó un 55% de artículos; y el 30% de información recolectada fue del año 2018. Por último, se encontraron tendencias referentes a la metodología basada en desempeño, además el programa SAP 2000 fue el más utilizado para el modelamiento de espectros de diseño y que las propiedades mecánicas de los materiales quedan definidas a través de modelos constitutivos esfuerzo – deformación.

Las limitaciones en el proceso de búsqueda fueron la obtención de artículos con la estructura IMRD y que contengan las dos variables. Por otra parte, se recomienda la indagación de artículos con un idioma distinto al español, además ampliar la búsqueda en bases de datos como Alicia, EBSCO, entre otras, y extender el rango de tiempo. Finalmente, la revisión sistemática es una metodología que permite condensar información relevante de diversas investigaciones primarias. Es por esto que las tendencias obtenidas en esta investigación deben ser valoradas debido a que ayudan a contribuir conceptos teóricos sólidos sobre el comportamiento sísmico en las estructuras de concreto reforzado.

REFERENCIAS

- Aguilar, G., Reinoso, E., & Niño, M. (2018). Comportamiento sísmico de fachadas prefabricadas de concreto del tipo “piso a piso”. Recuperado el 12 de Mayo de 2020
- Arcila, J., Riveros, C., & Rivero, J. (23 de Enero de 2014). Optimización de secciones de vigas y columnas para el cumplimiento de la deriva en edificaciones de concreto reforzado mediante Redes Neuronales Artificiales. Recuperado el 10 de Mayo de 2020
- Barradas, J., & Ayala, G. (2015). Sitios del Valle de México en los que se debe diseñar para un Q menor al estipulado para estructuras dúctiles. Recuperado el 02 de Mayo de 2020
- Blanco, M. (2012). Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente. Recuperado el 10 de Mayo de 2020
- Bojórquez, E., Leyval, H., Reyes, A., Fernández, E., Bojórque, J., Leal, J., & Serrano, J. (2018). Diseño óptimo multi-objetivo de edificios de concreto reforzado reforzado usando algoritmos genéticos. Recuperado el 02 de Mayo de 2020
- Carrillo, J., & Alcocer, S. (2011). Comportamiento a cortante de muros de concreto para vivienda. Recuperado el 20 de Mayo de 2020
- Diaz, S., Pujades, L., Pinzón, L., & Vargas, Y. (2018). Un enfoque alternativo para tomar en cuenta el efecto de la direccionalidad sísmica. *Revista Ingeniería de Construcción*. Recuperado el 14 de Mayo de 2020

- Duque, A., Amazo, I., & Ruiz, D. (2010). Ensayos de resistencia de pórticos de concreto a escala, reforzados con CFRP en los nudos. Recuperado el 21 de Mayo de 2020
- Escamilla, M., & Ayala, G. (2014). Aplicación de los procedimientos simplificados de análisis sísmico no lineal a edificios asimétricos. Recuperado el 14 de Mayo de 2020
- Hernández, F., Alvarado, R., Mota, C., & Esteva, L. (2018). Análisis estructural de integridad en puente por carga lateral sísmica. Recuperado el 14 de Mayo de 2020
- Herrera, I., Vielma, J., Ugela, R., & Martinez, Y. (2012). Evaluación del comportamiento sismorresistente y diseño óptimo de un edificio existente de concreto armado de baja altura. Recuperado el 15 de Mayo de 2020
- Lopez, S., & Zyala, G. (2013). Método de Diseño Sísmico basado en desplazamientos para marcos de concreto reforzado. Recuperado el 01 de Mayo de 2020
- M.A Salgado, G. C. (2015). Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. Recuperado el 28 de Abril de 2020
- Marinilli, A. (2009). "Análisis probabilístico simplificado de pórticos de concreto reforzado ante acciones sísmicas". *Scielo*. Recuperado el 25 de Abril de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2009000200002&lang=es
- Medina, R., & Music, J. (16 de Abril de 2018). Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena. Recuperado el 01 de Mayo de 2020

- Mendoza, M., & Ayala, G. (2013). Procedimiento de evaluación de edificios de concreto reforzado basado en desempeño: Desarrollo y validación. *Revista de Ingeniería Sísmica*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (12 de Diciembre de 2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Sicelo*. Recuperado el 10 de Mayo de 2020
- Retama, J., Ayala, G., & Gutiérrez, J. (2014). Modelado Numérico del daño en estructuras de concreto reforzado. Recuperado el 12 de Mayo de 2020
- Rodríguez, H. (2014). Comportamiento Sísmico de pórticos de concreto armado bajo la influencia de la porción fuerte en un suelo blando. Recuperado el 28 de Abril de 2020
- Vásquez, A., & Gallardo, R. (2018). Respuesta no lineal de estructuras con muros de concreto reforzado. *INGE CUC*. Recuperado el 12 de Mayo de 2020
- Wilmer, J., & León, C. (2009). Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto. Recuperado el 25 de Abril de 2020