

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil



“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS NO LINEAL AL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO INFLUENCIADAS POR FUERZAS SÍMICAS, EN EDIFICACIONES URBANAS”: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA DE LOS AÑOS 2006 - 2019

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería Civil**

**Autor:**

Bermudez Chavez, Luis Anthony

**Asesor:**

Ing. Mg. Vasquez Diaz, Alberto Ruben

Lima - Perú

2020



## DEDICATORIA

Dedico el presente estudio, con el respeto, el valor y la humildad suficientes, a la comunidad estudiantil, particularmente de Ingeniería Civil, para que se incentive por la investigación, y podamos concretar la realización de un mañana mejor para cada uno de nosotros.



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser mi guía y consejero espiritual.

A mis padres por ser la causa de mi crecimiento personal, y motivo de vida.

A mi asesor por ser la guía en la investigación.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>24</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Figura 1: Cuadro de selección de artículos a usar en la investigación, detallando algunos atributos del  
estos..... 12



## ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla 1: Se presentan algunos tipos de investigación, y la cantidad a la que pertenecen los usados en esta investigación. ....	13
Tabla 2: Estudios usados en esta investigación, de acuerdo a los años que se publicaron. ....	13
Tabla 3: Relación de investigaciones usadas en esta investigación, respecto a su país de origen. ....	13
Tabla 4: Investigaciones respecto al espacio virtual de donde fueron encontradas. ....	14
Tabla 5: Agrupamiento de las ideas rescatadas de los artículos científicos de acuerdo a categorías inferidas en el análisis. ....	18



## RESUMEN

Hoy en día, en el que definimos un mundo más especializado surgen nuevas teorías, filosofías o hipótesis que pretenden contrastar la realidad, para entenderla y poder controlarla. En la ingeniería civil en particular, el fin de esta investigación es dar una visión general sobre el análisis no lineal evaluándolo y dando a conocer sus ventajas y limitaciones; resulta muy necesario el poder comprender este ya que es un método planteado en la representación real del comportamiento de una estructura frente a esfuerzos, particularmente sísmicos, lo que a grandes rasgos podría redefinir el contexto de diseño y por ende desarrollo de estructuras de concreto armado. Para la realización de esta investigación se usaron artículos científicos, encontrados y filtrados en diversas fuentes de información Scibd, Redalyc, Scielo, etc. Cada estudio fue cuidadosamente analizado, cabe recalcar que se comprendieron estudios desde 2005 hasta 2019, para extraer información relevante a la investigación. Para la información obtenida se realizó el proceso de clasificación mediante el agrupamiento por categorías, que permitieron definir resultados y luego contrastarlos entre los mismos. Finalmente se presenta de todo lo obtenido conclusiones acordes a la investigación y se hace presente el hecho de la continuación con la investigación para la mejora continua del tema y definir así un mundo más acertado y seguro, en la Ingeniería Civil Estructural.

**PALABRAS CLAVES:** Análisis no lineal, Desempeño sísmico, Estructura de concreto reforzado.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería ha sido desde siempre el engrane que usa la realidad para proyectarse e idear soluciones a problemas recurrentes de la vida diaria, como por ejemplo estructuras para vivir, artículos mecánicos, en las últimas décadas el control de la internet y muchas más. Particularmente en el campo de la ingeniería civil, exactamente en lo referido a edificaciones, se busca determinar el comportamiento de las estructuras expuestas a fenómenos de fuerza, como acciones por gravedad, sísmicas, eólica, y otras; para determinar mejores soluciones. Por lo que es de suma importancia encontrar técnicas que permitan el análisis y la comprensión de estas, con mayor detalle. En los últimos años, se han presentado muchas formas de análisis, y una de ellas en particular es del análisis no lineal, aplicado a estructuras de concreto; entonces, basándonos en lo expuesto es necesario conocer que tan eficiente resulta este análisis y que desventajoso puede ser usarlo.

Como se menciona líneas arriba, uno de los grandes actores de esta investigación son las estructuras de concreto armado. El concreto es un material frágil y poco resistente a la tracción, por lo que se le incorpora un refuerzo de acero para controlar este fenómeno, consolidándolo como uno de los materiales más usado en la infraestructura mundial, según Gómez y Lizarazo (2007). Las estructuras de concreto armado, no son más que la modelización y realización de elementos geométricos que lo conforman, como: losas, vigas, columnas, muros estructurales, cimentaciones y más, fundamentando en lo mencionado adiciona, Ángelo Marinili (2016) que el comportamiento adecuado de la estructura se basa en las características mecánicas que presentan. Uno de los más importantes, son las resistencias que presentan ante determinados esfuerzos; los cuales son, respectivamente para concreto y acero, la resistencia a la compresión, dependerá de la dosificación, y tracción, dependerá de su grado de fluencia. Además, también de propiedades que involucran la geometría de las estructuras, y fundamental para el análisis de acuerdo a la investigación, la cual es la rigidez, parámetro que mide la resistencia a la deformación y la ductilidad agrega Ángelo Marinili (2016).

El análisis no lineal, fue desarrollado en las últimas décadas; de acuerdo a la investigación de Herrera, Vielma, Ugela y Martínez (2012), nos explica que la ingeniería estructural, que usa como aporte de fuerza central el sismo, emplea el análisis lineal (estático y dinámico) y no lineal (estático y dinámico). Antecedente a este se sabe que el comportamiento de las estructuras, se ha considerado de forma lineal (siguiendo la ley de Hooke) para la simplificación de modelos matemáticos, lo que hace impreciso el análisis; sin embargo, menciona Gómez y Lizarazo (2007) que, debido a la aparición de la tecnología computacional, se pudieron desarrollar teorías como la de elementos finitos, que permiten la aplicación del análisis no lineal. El análisis no lineal, presenta un sinnúmero de métodos de aplicación; según Mora, Villalba y Maldonado (2006) el principal aporte de fuerza que generaría fallo y una indeterminación de resultados, son los fenómenos sísmicos; por lo que el modelamiento ante este es muy complejo; algunos de los métodos usados para estos son Método del Empujo (Push Over-MPA), Análisis dinámico cronológico no lineal (NLRHA) y UMRHA, que une los dos métodos antes mencionados.



El análisis no lineal aplicado en estructuras de concreto armado, es la aplicación de algún método no lineal, para medir la respuesta estructural de la edificación sometida a esfuerzos de cualquiera carácter, predominantemente sísmicos, pues como se explica son los que generan comportamientos aleatorios en las edificaciones; y que dependerán de las propiedades mecánicas de los materiales y geometrías de los elementos; por lo que, refiere Mora et al (2006) que la comunidad científica aún no ha definido un único procedimiento para ello; dejando entre ver la brecha de que aún no existen normativas explícitas respecto al análisis no lineal, también agrega que se debe a que el análisis no lineal en estructuras presenta una base física muy compleja. Por otro lado, el análisis no lineal aplicado a estructuras posibilita una puerta hacia un mundo con diseños que consideran comportamientos más allá de lo ya estudiado (rangos elásticos) y que se encuentra en normas; como particularmente el caso de Perú y su reglamento nacional de edificaciones (RNE).

Establecidos los actores del presente trabajo, podemos llegar a una establecer, que existen distintos tipos de metodologías de análisis no lineal que podemos aplicar a las estructuras, específicamente de concreto armado, las cuales son desarrolladas en las urbes (pórticos de concreto armado, muros de ductilidad limitada, muros estructurales, etc) y tomando en cuenta que los métodos de análisis no lineal aún se encuentran siendo desarrollados, por algunos países; como lo es el caso de Perú; nos planteamos lo siguiente; Si aplicamos el análisis no lineal a una estructura o edificación, en la urbe, la cual es afectada por fuerzas sísmicas (ya definimos que son las de mayor impacto), sobre los resultados: ¿Qué aportes al desarrollo de las estructuras tendremos, así mismo, que limitantes existen en el uso del análisis no lineal para la comprensión del comportamiento de una estructura de concreto armado?. Es por ello que el principal objetivo de este trabajo es recopilar información respecto a estudios hechos donde se aplica el análisis no lineal y analizar los resultados para obtener los aportes y además las limitantes que se tuvieron en el uso del mismo.

Como bien se conoce, el análisis no lineal aplicado en estructuras es aún una rama no conocida totalmente por la ingeniería, por ello es de suma importancia poder definir las contribuciones que hace, imperativamente cuando hablamos de acciones sísmicas, por lo que nos dice Mora et al. (2006) que la forma de representar la respuesta de la estructura, frente a sismos, puede ser de dos formas como eventos de naturaleza dinámica y la segunda como una acción estática repetitiva e iterativa. Lo que refuerza el uso de análisis no lineal; mas, La norma técnica peruana E0.30. (2018) en 4.7. nos dice que el análisis dinámico tiempo – historia (Tipo de análisis no lineal), puede o no puede emplearse como procedimientos complementarios. También la norma técnica peruana E0.60 (2018) en 8.3.1. explica que el análisis estructural para diseño de estructuras de concreto armado serán suponiendo respuestas lineales y elásticas en la estructura. Entonces inferimos que el procedimiento que plantea dichas normas se debe a lo ya mencionado párrafos atrás, que el análisis no lineal aún no está totalmente estudiado; sin embargo, autores como López y Ruiz (2008) nos menciona que la determinación precisa de la respuesta de las estructuras frente a acciones sísmicas requiere de técnicas de análisis no lineal dinámico para incorporar la variación de propiedades de los elementos en el tiempo. Concluyendo con todo lo referido, es de total importancia la evaluación de estos métodos para contribuir al avance ingenieril en el sector estructural y poder así realizar estructuras de mejor calidad y que brinden seguridad a la población.



## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se está haciendo uso de la metodología *Prisma*, la cual contempla la búsqueda de información, respecto a ciertos parámetros de inclusión. Para el desarrollo del presente trabajo se tomaron los siguientes criterios de inclusión. Inicialmente, todo lo referente a análisis no lineal en estructuras de concreto armado, tanto estudios teóricos como prácticos. La revisión literaria desde un primer punto se estableció en la última década, es decir, desde 2009 a 2019; sin embargo, debido a la escasa información aportante a la investigación se amplió el tiempo, desde 2005 hasta 2019; la información necesariamente no debió de ser redactada en español, pero de ser encontrada así era lo más conveniente. Respecto al estado publicación, se seleccionaron solamente artículos científicos, publicados en revistas y congresos.

Como se menciona en el párrafo anterior, la información era un poco escaza, por lo que para la recopilación de la misma se hizo uso de varias plataformas virtuales; como Scielo, Redalyc, Ebsco, Science Direct, Scribd y metas buscadores como Google Académico y Biblioteca UPN. De lo cual la información en muchos casos era repetitiva y en otros, de temas alejados al de este trabajo. La recopilación total fue de treinta (30) artículos científicos, de los cuales, tras el análisis que se detallara líneas abajo, solamente se seleccionaron veinte (20) artículos.

Respecto al estilo de búsqueda de información, se realizó una búsqueda inicial, usando solamente las palabras *Análisis no lineal*, lo que permitió tener un primer plano de cuanta información podríamos conseguir, debido a que este análisis también es usado en otras áreas, se debió filtrar la información y simplemente se usó *Análisis no lineal concreto*, debido a que en muchos lugares al concreto armado se le denomina también concreto reforzado y para no limitar la cantidad de información debido al uso de una palabra más. Dispuesto esto se procedió a la lectura y selección de información. Como se hizo referencia en el primer párrafo, no se filtró los artículos por el tiempo ni el idioma, debido a su escasez.

Seleccionada la información, concretamente se realizó el desecho de aquellas que no se referían a la variable o no estaban dentro del rubro. De lo cual se menciona explícitamente, respecto a los treinta (30) artículos científicos, los usados en esta investigación resultaron ser veinte (20); debido a que en los diez (10) artículos eliminados, se encontraron discordancias con el tema estudiado: Específicamente algunos de estos artículos se referían a un sistema estructural que no era total de concreto armado (siendo esta nuestra variable de estudio), que el análisis no lineal, solo se mencionaba como un pasaje y no era de interés principal en la investigación, la estructura analizada era para un rubro rural y en otros solo se hacía análisis de concreto, mas no concreto armado.

Con la información obtenida, se realizó un matriz de convalidación de información. Se hizo la revisión y análisis de los artículos, haciendo uso del subrayado en información relevante a la investigación; esta información fue transcrita a la matriz de convalidación, en la cual también se colocaba: los autores, los años



“Evaluación de la aplicación del análisis no lineal al desarrollo de estructuras de concreto armado influenciadas por fuerzas sísmicas, en edificaciones urbanas” de publicación, donde fue publicada (solo en algunos casos) y además de un código especial con el cual se almaceno la información. Cabe mencionar, que la información transcrita, se clasifico respecto al uso tendría en la redacción de la presente investigación, se consideraron tres características principales como son: introducción (información referida a las variables de forma general) resultados (información que presenta los resultados de algunos análisis no lineales hechos a estructuras) y delimitación de conceptos (información referida a definiciones, tipos o características específicas de las variables).

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### A. Selección de Estudios:

Para la selección de los estudios, se elaboró un cuadro resumen, en el cual se fundamentan, los atributos principales de las investigaciones.

FIGURA 1. MATRIZ DE REGISTRO DE ARTICULOS				
N°	Base de datos	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	scielo	Marinilli, Angelo	2016	ANÁLISIS PROBABILÍSTICO SIMPLIFICADO DE PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO ANTE ACCIONES SÍSMICAS
2	redalyc	Jaramillo, N.; Uzcátegui, M.; Vera, B. & Flórez, J.	2009	ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO A TRAVÉS DE UN PORTAL DE CÁLCULO
3	redalyc	Godínez D., Eber A. & Tena C., Arturo.	2011	COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE MARCOS DÚCTILES DE CONCRETO REFORZADO CON CONTRAVENTE METÁLICO CHEVRÓN. PROPUESTA DE DISEÑO
4	scribd	Rodríguez Infanzón, Olides	2012	DISEÑO POR DESEMPEÑO DE EDIFICIOS ALTOS DE HORMIGÓN ARMADO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS NO LINEAL DE HISTORIA EN EL TIEMPO
5	google academico	López, N., Ugel, R. & Herrera, Reyes I.	2019	ANÁLISIS DE UNA PLACA BASE DE UNIÓN ENTRE COLUMNA DE CONCRETO-COLUMNA DE ACERO EN EL RANGO NO LINEAL
6	google academico	Martínez, W.A. & Gutiérrez, O.J.	2010	COMPORTAMIENTO LINEAL Y NO LINEAL DE LAS DEFLEXIONES EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO
7	scielo	López, Oscar A. & Ruiz, G.	2008	EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL PARA DETERMINAR LA DEMANDA SÍSMICA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO
8	google academico	Vielma P., Juan C.; Barbat, Alex H. & Oller, S.	2007	CURVAS DE FRAGILIDAD Y MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON DUCTILIDAD LIMITADA
9	scielo	Teran, Amador	2008	CARACTERÍSTICAS MECANICAS Y DESEMPEÑO SISMICO DE MARCOS DUCTILES DE CONCRETO REFORZADO
10	redalyc	Varela R., J. L., Bagundo T., M. R. & Fernández B., L. E.	2007	COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO CELULAR DE AUTOCLAVE DISEÑADAS CON DIFERENTES FACTORES DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS
11	google academico	Vielma, Juan C.; Anny B. Alfaro & Angely V. Barrios	2014	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL GOLPETEO DE EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE ANÁLISIS NO LINEAL
12	scielo	Vielma, Juan C.; Barbat, Alex H. & Oller, S.	2007	RESPUESTA NO LINEAL DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO DISEÑADOS PARA BAJA DUCTILIDAD.
13	redalyc	Mora, M. Alexander, Villalba, Jesús D. & Maldonado, E.	2006	DEFICIENCIAS, LIMITACIONES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS SÍSMICO NO LINEAL
14	google academico	Álvarez D., Eduardo R.; Ruiz R., José M. & Martínez, Eydol A.	2016	ANÁLISIS NO LINEAL PUSH-OVER DE UN EDIFICIO PÚBLICO DE 5 PISOS RIGIDIZADO MEDIANTE PÓRTICOS ESPACIALES DÚCTILES DE HORMIGÓN ARMADO
15	redalyc	Herrera, Reyes I.; Vielma, Juan C.; Ugel, R. & Martínez, Y.	2012	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE Y DISEÑO ÓPTIMO DE UN EDIFICIO EXISTENTE DE CONCRETO ARMADO DE BAJA ALTURA
16	scielo	Godínez D., Eber A.	2014	INFLUENCIA DE CONTRAVENTEOS CONCÉNTRICOS EN CRUZ O CHEVRÓN EN EL COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE MARCOS DÚCTILES DE CONCRETO REFORZADO
17	redalyc	Vielma, Juan C.; Lobo Q., William & Rivero R., Pedro	2005	FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA POR DUCTILIDAD DE ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO NO LINEAL
18	redalyc	Gómez C., Alexander & Lizarazo M., Juan M.	2007	INFLUENCIA DE LA NO LINEALIDAD DE MATERIAL EN LAS DEFLEXIONES INMEDIATAS DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO
19	google academico	Idrees R., Ahmad, Torres, R. & Nuñez, E.	2017	EVALUACIÓN DE PATRONES DE CARGA DE ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO INCREMENTAL EN PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO DE ESTRUCTURAS REGULARES DE BAJA Y MEDIANA ALTURA
20	redalyc	Herrera G., Reyes I.	2016	ESTUDIO DE LA RESPUESTA SÍSMICA Y DAÑO GLOBAL DE DOS EDIFICIOS IRREGULARES DE CONCRETO ARMADO

Figura 1: Cuadro de selección de artículos a usar en la investigación, detallando algunos atributos de estos.

### B. Características de los Estudios:

Definidos los estudios, se realizó el agrupamiento de los mismos de acuerdo a características en común: Tipo de investigación, año de publicación, país de publicación y base de datos de donde fue obtenida la información. Las características de los estudios presentadas son solo lagunas, debido a que se quiere hacer una mención simple, pero no desmerecida de los trabajos investigados.



TABLA 1. CARACT.DE ESTUDIOS SEGUN TIPO INVESTIGACION.

<b>TIPO DE INVSTIGACION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
ARTICULOS CIENTIFICOS	20	100.0%
TESIS	0	0.0%
TESINAS	0	0.0%
MONOGRAFIAS	0	0.0%
ENSAYOS	0	0.0%
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	

Tabla 1: Se presentan algunos tipos de investigación, y la cantidad a la que pertenecen los usados en esta investigación.

TABLA 2. CARACT.DE ESTUDIOS SEGUN AÑO DE PUBLICACION.

<b>AÑO DE PUBLICACION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
2005	1	5.0%
2006	1	5.0%
2007	4	20.0%
2008	2	10.0%
2009	1	5.0%
2010	1	5.0%
2011	1	5.0%
2012	2	10.0%
2014	2	10.0%
2016	3	15.0%
2017	1	5.0%
2019	1	5.0%
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	

Tabla 2: Estudios usados en esta investigación, de acuerdo a los años que se publicaron.

TABLA 3. CARACT.DE ESTUDIOS SEGUN PAIS DE PUBLICACION

<b>PAIS DE PUBLICACION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
COLOMBIA	3	15.0%
CUBA	2	10.0%
ESPAÑA	1	5.0%
MEXICO	4	20.0%
URUGUAY	1	5.0%
VENEZUELA	9	45.0%
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	

Tabla 3: Relación de investigaciones usadas en esta investigación, respecto a su país de origen.



TABLA 4. CARACT.DE ESTUDIOS SEGUN BASE DE DATOS

<i>Base de Datos</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>%</i>
Scielo	5	25%
Redalyc	8	40%
Scribd	1	5%
Google Academic	6	30%
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	

Tabla 4: Investigaciones respecto al espacio virtual de donde fueron encontradas.

### C. Análisis Global de los Estudios:

La información obtenida, tras el análisis, de cada investigación fue agrupada respecto a una referencia común, la cual denominamos categoría. Para la determinación de las categorías se realizó mucho análisis crítico, teniendo como resultado la formación de siete (7) categorías. La primera categoría es *Conceptos Previos*, en la cual se enuncia información relevante para entender el análisis no lineal; la siguiente es *Filosofía Para la Aplicación del Análisis No Lineal*, que nos explica algunas teorías y fundamentos del mismo; como es de suponer, la categoría siguiente es la *Tipos de Análisis no Lineal*, en la que se explica los diversos tipos de analizar las estructuras mediante este. La siguiente categoría es *Características del Análisis No Lineal*, luego se definen los beneficios, ventajas o aportes del mismo, y se agrupo de acuerdo a estudios específicos y estudios generales, digámoslo así, por ellos tenemos las categorías *Aportes en el Diseño de Estructuras* y *Aportes en la Aplicación*. Finalmente se delimita la categoría, *Limitaciones* con la cual se cierra el proceso de análisis y evaluación de nuestras variables, con todas estas consideraciones damos respuesta a nuestra pregunta de investigación.

TABLA 5. INDUCCION DE CATEGORIAS

<i>CATEGORIAS</i>	<i>APORTES</i>
CONCEPTOS PREVIOS	<p>El comportamiento de las estructuras bajo análisis no lineal es contrastado con la realidad.(Marinilli, 2016)</p> <p>El análisis no lineal debe está basado en métodos de simulación de elementos finitos, y puede englobar factores como adherencia entre el concreto y el acero y efectos cortantes y torsionales, los cuales pueden equiparse.(Martínez &amp; Guitierrez, 2010)</p> <p>El diseño estructural de las edificaciones de concreto reforzado, debe englobar más que el cálculo de las cuantías; como el real desempeño frente a sismos y la capacidad que este tendrá. (Álvarez, Ruiz y Martínez , 2016)</p> <p>Para determinar la respuesta sísmica, existen distintos tipos de análisis como estáticos y dinámicos estos dados en planos de dos y tres dimensiones (Herrera, Vielma, Ugela y Martínez, 2012).</p> <p>Las normativas que funcionan para aumentar la seguridad de desempeño de las estructuras, deben considerar técnicas de análisis no lineal para su mejor explicación y funcionamiento (Idrees, Torres y Núñez, 2017).</p>



<b>FILOSOFIA PARA LA APLICACIÓN DE ANALISIS NO LINEAL</b>	<p>Para realizar el análisis no lineal de concreto, se usa la teoría del daño, el cual asocia la pérdida de sección resistente por fisuramiento del mismo (Vielma, Barbat y Oller , 2007).</p> <p>Para el desarrollo del análisis no lineal existen distintas filosofías que existen como la <i>teoría del daño concentrado</i>, la cual simula el proceso de deterioro y colapso estructural. (Jaramillo, Uzcátegui, Vera y Flórez, 2009)</p> <p>Existen además como teorías de daño distribuido. (Vielma, Alfaro y Barrios, 2014)</p>
<b>TIPOS</b>	<p>El Análisis dinámico no lineal (NLRHA) es el más exacto con respecto al comportamiento de las estructuras frente a esfuerzos sísmicos. (Mora, Villalba y Maldonado, 2006)</p> <p>El método dinámico no lineal, evalúa el cambio de algunos factores afectados por fuerzas sísmicas como funciones del tiempo(Rodríguez, 2012)</p> <p>El Análisis Push Over Tradicional, es un análisis simple no lineal, en el que solo se cuenta el primer modo de vibración y se estudia el comportamiento de la parte más alta de la edificación. Nos arroja la curva de capacidad de la edificación.(Mora et al, 2006)</p> <p>Análisis no lineal modal, está basado en la respuesta sísmica obtenida a partir de un análisis simple no lineal, y luego separando cada elemento para someterlo a acciones sísmicas y evaluar, nuevamente, su comportamiento total al unir cada resultado obtenido de los elementos.(Mora et al, 2006)</p> <p>Análisis modal desacoplado de la historia de respuesta (UMRHA, Uncoupled Modal Response History Analysis), toma en consideración la frecuencia natural y modos de vibración de la estructura linealmente. Luego para el i-esimo nodo se elabora la curva de capacidad no lineal.(Mora et al, 2006)</p> <p>El análisis incremental dinámico (también conocido como AID) sirve para definir una curva entre la relación del nivel de intensidad con la respuesta sísmica máxima de la estructura. Para usar este tipo de análisis es necesario usar un programa de elementos finitos para análisis no lineal, tener acelerogramas y definir parámetros de intensidad y daño en edificaciones. (Vielma, Alfaro et al, 2014)</p>
<b>CARACTERISTICAS DEL ESTUDIO</b>	<p>Los resultados del análisis se representan mediante gráficas de variable contra variable, variables contra tiempo y mapas de distribución de años en cualquier instante del análisis. Tras realizar el análisis no lineal, dependiendo del método se presentan los datos mediante gráficas. (Jaramillo et al, 2009)</p> <p>El análisis no lineal presenta datos como pérdidas de resistencia y rigidez, fatiga de bajo ciclaje, flexión con fuerzas axiales variables, secciones transversales asimétricas. Además de que puede y se usa en su mayoría para rehabilitaciones o rediseños. (Jaramillo et al, 2009)</p> <p>El análisis no lineal se emplea principalmente para determinar la demanda generada por las fuerzas sísmicas en la estructura.(López &amp; Ruiz, 2008)</p> <p>Permite que la distribución del daño en la estructura sea semejante a la inducida por el terremoto.(Vielma et al, 2007)</p>



<b>CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO</b>	<p>El análisis no lineal tiene como finalidad la evaluación más ajustada a la realidad de la respuesta de los edificios proyectados.(Vielma, Barbat et al, 2007)</p> <p>El análisis simple no lineal o Push Over se caracteriza por presentar la curva de capacidad de la estructura y la curva de demanda del movimiento del suelo.(Álvarez et al, 2016)</p>
<b>APORTES EN APLICACIÓN</b>	<p>El método de análisis dinámicos no lineales permite que se obtenga una respuesta real de la estructura, al incursionar la misma en el rango inelástico.(Rodríguez, 2012)</p> <p>El análisis no lineal brinda resultados lógicos, no muy diferidos de los reales, siendo particularmente muy útil y seguro para diseñar.(Martínez &amp; Guitierrez, 2010)</p> <p>El análisis modal no lineal resulta ser más eficiente en los resultados de demanda sísmica. Y el análisis no lineal dinámico resulta ser bueno pero no tan preciso.(López &amp; Ruiz, 2008)</p> <p>El análisis no lineal, aporta el cálculo de la ductilidad y sobre resistencia de estructuras, además a partir de los mismos se pueden calcular los desplazamientos(Vielma, Barbat et al, 2007)</p> <p>El análisis estático no lineal con control de fuerzas determina el umbral de colapso de la estructura, en un punto donde se establece el índice de daño.(Vielma, Barbat et al, 2007)</p> <p>La respuesta no lineal corresponde al comportamiento más real de la estructura y no obvia características como en análisis más simples.(Vielma, Barbat et al, 2007)</p> <p>Análisis Push Over para muchos estudiosos es uno de los más aceptables.(Mora et al, 2006)</p> <p>Respecto al análisis de rotulas plásticas en el análisis no lineal, se definen los niveles de rotación.(Idrees et al, 2017)</p> <p>Es posible obtener el daño global de la estructura, con la ayuda de curvas de fragilidad y definir algunos posibles estados de daño como: No daño, Leve, Moderado, Severo y Completo. Cada una condicionada por la acción de fuerzas sísmicas.(Herrera, 2016)</p>
<b>APORTE EN DISEÑO DE ESTRUCTURAS</b>	<p>Tras someterse a análisis no lineales y cargas monótonas se pudieron encontrar nuevos parámetros de diseño.(Godínez &amp; Tena, 2011)</p> <p>Se encontró la distorsión última, en base a la rotación máxima de elementos, y además se obtuvieron factores de reducción por sobrerresistencia, factores de reducción para fuerzas sísmicas, capacidad de deformación, distorsiones entre piso y máximas.(Godínez &amp; Tena, 2011)</p> <p>Se realizó en base al análisis no lineal, curvas normalizadas cortante-distorsión para cada uno de los entresijos y mapeo de rotaciones plásticas acumuladas asociadas al colapso teórico de la estructura.(Godínez &amp; Tena, 2011)</p> <p>Por lo mismo se realiza aportes para las distorsiones de fluencia, distorsiones para el estado colapso, factores de reducción por sobrerresistencia, aporte mínimo de las columnas al cortante del sistema resistente ante carga lateral, así como observaciones y recomendaciones de diseño a nivel elemento.(Godínez &amp; Tena, 2011)</p>



APORTE EN DISEÑO  
DE ESTRUCTURAS

En un análisis, respecto a estructuras de concreto reforzado, se demostró específicamente la importancia de la adherencia de los materiales para su buen funcionamiento, debido a que se pudo digitalizar el comportamiento de la estructura. (López, Ugel y Herrera ,2019)

En un estudio específico, se puede aplicar un análisis a estructuras poco dúctiles para la corrección de su diseño. (Vielma, Barbat y Oller, 2007)

Mediante este, se puede resolver para estas estructuras el problema de la singularidad en el umbral de colapso, referenciados en el umbras de daño que nos brinda el análisis no lineal.(Vielma et al, 2007)

En un estudio especializado se pudo realizar la comparativa de las características mecánicas final de los elementos, y los establecidos por métodos más sencillos. (Terán, 2008)

Comparando así la nueva visión del análisis dinámico no lineal y la filosofía existente de diseño sismorresistente.(Terán, 2008)

En un estudio en México, se pudo calcular el factor de comportamiento sísmico y de amplificación de desplazamientos para estructuras sujetas a fuerzas sísmicas. (Varela, Bagundo y Fernández, 2007)

Basados en análisis no lineal para obtener las máximas demandas de ductilidad, de desplazamiento y de desplazamiento relativo de la estructura (Varela et al, 2007).

Los resultados del análisis no lineal permiten calcular derivas globales para un estado de daño específico.(Vielma, Alfaro et al, 2014)

Concluyentemente al análisis se pudo determinar la separación entre edificaciones.(Vielma, Alfaro et al, 2014)

Además es posible definir acelerogramas que producirán determinados desplazamientos y por tanto determinados niveles de daño(Vielma, Alfaro et al, 2014)

Tras un análisis no lineal se pudo definir, la ductilidad y sobrerresistencia.(Vielma, Barbat et al, 2007)

El análisis estático no lineal permite ajustar el diseño estructural y llegar a respuestas más precisas respecto a la respuesta sísmica de las estructuras, conduciendo a recomendaciones relacionadas a su construcción.(Álvarez et al, 2016)

Determinación precisa del punto de desempeño tras análisis no lineal(Herrera et al, 2012)

En base a los esperado se pudo optar por un rediseño de la estructura.(Herrera et al, 2012)

Particularmente para marcos de concreto, se aplicó análisis no lineal, no solo a reconstrucción, sino a diseño.(Godínez, 2014)

Fundamentando el diseño en las curvas normalizadas cortante-distorsión globales (cortante basal vs distorsión de azotea) y de entrepisos(Godínez, 2014)

Finalmente podemos proponer un reajuste en los factores de reducción para el cálculo de diseño estructural sísmico.(Vielma & Rivero, 2005)

LIMITACION

Es necesario centros de cómputo para la elaboración facultativa del análisis no lineal. (Jaramillo et al, 2009)

Para algunos métodos específicos de aplicación de análisis no lineal es necesario contar con una base de datos digitalizada que contemple los factores más importantes del sismo(Rodríguez, 2012)

**LIMITACION**

Es alternativamente y a la vez necesario el uso de la tecnología computacional pues, son cálculos complejos y largos.(Mora et al, 2006)

Al usar fuerzas distribuidas para el análisis no lineal, en contraste con la realidad se generan errores más grandes.(Mora et al, 2006)

Algunos métodos presentan errores debido a la no especialización del análisis no lineal en el rango inelástico,(Mora et al, 2006)

Por contradictorio que parezca, el método más simple de análisis no lineal genera menos errores que los ms sofisticados, debido a la poca refinación de los métodos.(Mora et al, 2006)

En algunos casos específicos las respuestas pueden ser poco eficientes y nada conservadoras, quedando a criterio del proyectista. (Terán, 2008)

Puede generar un problema el análisis en dos dimensiones que, en tres, puesto que este último presenta más derivas. (Herrera et al, 2012)

El análisis no lineal, no concluyente, presenta en errores relativos de sus resultados con la realidad en los desplazamientos de 17.5% para el centro de los elementos y del 25.44% para zonas en los cuartos de los elementos.(Gómez & Lizarazo, 2007)

*Tabla 5: Agrupamiento de las ideas rescatadas de los artículos científicos de acuerdo a categorías inferidas en el análisis.*

#### **D. Análisis Global de los Estudios:**

El análisis estructural, particularmente aplicado a las estructuras de concreto reforzado o armado puede hacerse de muchas maneras e imperativamente considerando las propiedades del material; además de los patrones de cargas a las que está expuesta la misma, sin embargo, explícitamente refiriéndonos a fuerzas sísmicas no menciona Herrera et al (2012), para determinar la respuesta sísmica, existen distintos tipos de análisis como estáticos y dinámicos estos dados en planos de dos y tres dimensiones, considerando esto y particularmente para el diseño de estructuras nos menciona Álvarez et al (2016) el diseño estructural de las edificaciones de concreto reforzado, debe englobar más que el cálculo de las cuantías; como el real desempeño frente a sismos y la capacidad que este tendrá. Basados en esto surge la necesidad de poder definir un tipo de análisis que englobe de cierta manera lo antes mencionado, por ello se define el análisis no lineal que según Martínez y Gutiérrez (2010) el análisis no lineal debe estar basado en métodos de simulación de elementos finitos, y puede englobar factores como adherencia entre el concreto y el acero y efectos cortantes y torsionales, los cuales pueden equiparse. Ahora bien, sabemos que todos los análisis y diseños hay reglamentos es por ellos que Idrees et al (2017) nos menciona las normativas que funcionan para aumentar la seguridad de desempeño de las estructuras, deben considerar técnicas de análisis no lineal para su mejor explicación y funcionamiento. Definido en cierta proporción el análisis no lineal; nos aclara, para su mayor validación Marinilli (2016) en una de sus investigaciones que el comportamiento de las estructuras bajo análisis no lineal es contrastado con la realidad y medir su efectividad.

Definidos algunos conceptos de autores para una idea globalizada del análisis no lineal, podemos ahora bien ya centrarnos netamente la aplicación de este, a las estructuras de concreto armado; por lo que para su aplicación encontramos diversas filosofías de diseño; para realizar el análisis no lineal de concreto, se usa la



teoría del daño, el cual asocia la pérdida de sección resistente por fisuramiento del mismo (Barbat et al, 2007) y esta a su vez puede ser para el desarrollo del análisis no lineal existen distintas filosofías que existen como la teoría del daño concentrado, la cual simula el proceso de deterioro y colapso estructural (Jaramillo et al, 2009), además existen variaciones como teorías de daño distribuido (Vielma, Alfaro et al, 2014).

El análisis no lineal, resulta ser un campo tan amplio y de distinta interpretación es por ello que se encuentran diferentes tipos de la aplicación del mismo; uno de ellos es El Análisis dinámico no lineal (NLRHA) es el más exacto con respecto al comportamiento de las estructuras frente a esfuerzos sísmicos (Mora et al, 2006) además el método dinámico no lineal, evalúa el cambio de algunos factores afectados por fuerzas sísmicas como funciones del tiempo (Rodríguez, 2012). También existe El Análisis Push Over Tradicional, el cual es un análisis simple no lineal, en el que solo se cuenta el primer modo de vibración y se estudia el comportamiento de la parte más alta de la edificación. Nos arroja la curva de capacidad de la edificación (Mora et al, 2006), respecto a este último hay variaciones uno de ellos es el Análisis no lineal modal, está basado en la respuesta sísmica obtenida a partir de un análisis simple no lineal, y luego separando cada elemento para someterlo a acciones sísmicas y evaluar, nuevamente, su comportamiento total al unir cada resultado obtenido de los elementos. (Mora et al, 2006) Resaltando la complejidad para poder encontrar resultados más precisos también encontramos Análisis modal desacoplado de la historia de respuesta (UMRHA, Uncoupled Modal Response History Analysis), toma en consideración la frecuencia natural y modos de vibración de la estructura linealmente. Luego para el *i*-ésimo nodo se elabora la curva de capacidad no lineal (Mora et al, 2006) y finalmente pero no menos importante El análisis incremental dinámico (también conocido como AID) sirve para definir una curva entre la relación del nivel de intensidad con la respuesta sísmica máxima de la estructura. Para usar este tipo de análisis es necesario usar un programa de elementos finitos, tener acelerogramas y definir parámetros de intensidad y daño en edificaciones (Vielma, Alfaro et al, 2014).

Si bien es cierto, indirectamente en los anteriores párrafos se da un concepto que indirectamente responde la pregunta de investigación, ahora nos centraremos en las características que tienen estos análisis, Uno de las principales características en los resultados es que estos se representan mediante gráficas de variable contra variable, variables contra tiempo y mapas de distribución de años en cualquier instante del análisis. Tras realizar el análisis no lineal, dependiendo del método se presentan los datos mediante gráficas (Jaramillo et al, 2009), también se da que el análisis no lineal presenta datos como pérdidas de resistencia y rigidez, fatiga de bajo ciclaje, flexión con fuerzas axiales variables, secciones transversales asimétricas. Además de que puede y se usa en su mayoría para rehabilitaciones o rediseños (Jaramillo et al, 2009), ahora bien, desde un punto de vista más general El análisis no lineal se emplea principalmente para determinar la demanda generada por las fuerzas sísmicas en la estructura. (López & Ruiz, 2008) desde el enfoque de comportamiento de fuerzas permite que la distribución del daño en la estructura sea semejante a la inducida por el terremoto (Vielma et al, 2007), finalmente podemos caracterizar este análisis por su finalidad que es la evaluación más ajustada a la realidad de la respuesta de los edificios proyectados (Vielma, Barbat et al, 2007), como un adicional y siendo específico, respecto al tipo de análisis usado, referimos que El análisis simple no lineal o Push Over se caracteriza por



presentar la curva de capacidad de la estructura y la curva de demanda del movimiento del suelo (Álvarez et al, 2016).

Como se detalla en los párrafos anteriores, definimos la información en función a la pregunta de investigación; empero, respecto a aportes específicamente, denominados como tal, encontramos aquellos que son los que de manera general disponemos en el uso de este método, uno de ellos es que el método de análisis dinámicos no lineales que permite que se obtenga una respuesta real de la estructura, al incursionar la misma en el rango inelástico (Rodríguez, 2012) también, el análisis no lineal brinda resultados lógicos, no muy diferidos de los reales, siendo particularmente muy útil y seguro para diseñar (Martínez & Guitierrez, 2010), también que La respuesta no lineal corresponde al comportamiento más real de la estructura y no obvia características como en análisis más simples (Vielma, Barbat et al, 2007), es importante resaltar que es posible obtener el daño global de la estructura, con la ayuda de curvas de fragilidad y definir algunos posibles estados de daño como: No daño, Leve, Moderado, Severo y Completo. Cada una condicionada por la acción de fuerzas sísmicas (Herrera, 2016), respecto a uno de los tipos del tema investigado estos aportes son referente al análisis modal no lineal resulta ser más eficiente en los resultados de demanda sísmica. Y el análisis no lineal dinámico resulta ser bueno, pero no tan preciso (López & Ruiz, 2008), también aporta el cálculo de la ductilidad y sobrerresistencia de estructuras, además a partir de los mismos se pueden calcular los desplazamientos (Vielma, Barbat et al, 2007), agrega también que El análisis estático no lineal con control de fuerzas determina el umbral de colapso de la estructura, en un punto donde se establece el índice de daño (Vielma, Barbat et al, 2007) y para Análisis Push Over para muchos estudiosos es uno de los más aceptables (Mora et al, 2006), finalmente en un estudio con resultados más específicos se adiciona que respecto al análisis de rotulas plásticas en el análisis no lineal, se definen los niveles de rotación (Idrees et al, 2017).

El estudio de análisis no lineal, es muy complejo y como se definió en líneas más arriba aplicarlo resulta distintas respuestas para la interpretación y uso lógico, por ello algunos aportes de este se han dado para solicitudes específicas; en el estudio de Vielma y Rivero (2005) concluyeron que se pudo proponer un reajuste en los factores de reducción para el cálculo de diseño estructural sísmico, por otro lado, en el estudio de Vielma et al (2007) menciona, en un estudio específico, se puede aplicar un análisis a estructuras poco dúctiles para la corrección de su diseño; mediante este, se puede resolver para estas estructuras el problema de la singularidad en el umbral de colapso, referenciados en el umbras de daño que nos brinda el análisis no lineal. Además, en una investigación en México, (Varela et al, 2007) se pudo calcular el factor de comportamiento sísmico y de amplificación de desplazamientos para estructuras sujetas a fuerzas sísmicas. Basados en análisis no lineal para obtener las máximas demandas de ductilidad, de desplazamiento y de desplazamiento relativo de la estructura. Adicionalmente en el mismo año, se concluyó que, tras un análisis no lineal se pudo definir, la ductilidad y sobrerresistencia (Vielma, Barbat et al, 2007). En estudios posteriores como el de Terán (2008), enuncia que en un estudio especializado se pudo realizar la comparativa de las características mecánicas finales de los elementos, y los establecidos por métodos más sencillos, comparando así la nueva visión del análisis dinámico no lineal y la filosofía existente de diseño sismorresistente. También, Godínez y Tena (2011) explica que tras someterse a análisis no lineales y cargas monótonas se pudieron encontrar nuevos parámetros de



diseño, además de que se encontró la distorsión última, en base a la rotación máxima de elementos, y además se obtuvieron factores de reducción por sobrerresistencia, factores de reducción para fuerzas sísmicas, capacidad de deformación, distorsiones entre piso y máximas. Todo esto sostiene, basado en el análisis no lineal del cual obtuvieron curvas normalizadas cortante-distorsión para cada uno de los entrepisos y mapeo de rotaciones plásticas acumuladas asociadas al colapso teórico de la estructura, concluyendo que a partir del método empleado se realiza aportes para las distorsiones de fluencia, distorsiones para el estado colapso, factores de reducción por sobrerresistencia, aporte mínimo de las columnas al cortante del sistema resistente ante carga lateral, así como observaciones y recomendaciones de diseño a nivel elemento. Continuando con los aportes obtenidos esta, Herrera et al (2012) donde su estudio realiza la determinación precisa del punto de desempeño tras análisis no lineal, concluyendo que en base a lo esperado se pudo optar por un rediseño de la estructura, también en un trabajo posterior de Vielma, Alfaro et al (2014) se encontró que los resultados del análisis no lineal permiten calcular derivas globales para un estado de daño específico, por lo que concluyentemente al análisis se pudo determinar la separación entre edificaciones, además agregar que es posible definir acelerogramas que producirán determinados desplazamientos y por tanto determinados niveles de daño. Es importante mencionar también como una investigación más específica a Godínez (2014) que aporta particularmente para marcos de concreto, el análisis no lineal se aplicó no solo a reconstrucción, sino a diseño, fundamentando el diseño en las curvas normalizadas cortante-distorsión globales (cortante basal vs distorsión de azotea) y de entrepisos. Posteriormente en el trabajo de Álvarez et al (2016) se agrega que el análisis estático no lineal permite ajustar el diseño estructural y llegar a respuestas más precisas respecto a la respuesta sísmica de las estructuras, conduciendo a recomendaciones relacionadas a su construcción. Finalmente, en el estudio de López et al (2019) menciona a favor del análisis no lineal, respecto a estructuras de concreto reforzado, se demostró específicamente la importancia de la adherencia de los materiales para su buen funcionamiento, debido a que se pudo digitalizar el comportamiento de la estructura.

Potencialmente la información presentada líneas arriba, representan aportes del análisis no línea, mas, existen limitaciones, desaciertos o desventajas de la aplicación del análisis no lineal. Se define entonces que es necesario centros de cómputo para la elaboración facultativa del análisis no lineal (Jaramillo et al, 2009), también que para algunos métodos específicos de aplicación de análisis no lineal es necesario contar con una base de datos digitalizada que contemple los factores más importantes del sismo (Rodríguez, 2012), sin embargo, es alternativamente y a la vez necesario el uso de la tecnología computacional pues, son cálculos complejos y largos (Mora et al, 2006). Cabe mencionar también que, al usar fuerzas distribuidas para el análisis no lineal, en contraste con la realidad se generan errores más grandes. (Mora et al, 2006), también que algunos métodos presentan errores debido a la no especialización del análisis no lineal en el rango inelástico, (Mora et al, 2006); y a la vez que por contradictorio que parezca, el método más simple de análisis no lineal genera menos errores que los ms sofisticados, debido a la poca refinación de los métodos (Mora et al, 2006), se señala también que en algunos casos específicos las respuestas pueden ser poco eficientes y nada conservadoras, quedando a criterio del proyectista (Terán, 2008), y adicionalmente puede generar un problema el análisis en dos dimensiones que, en tres, puesto que este último presenta más derivas (Herrera et al, 2012) y



particularmente en la aplicación específica a ciertas estructuras el análisis no lineal, no concluyente, presenta en errores relativos de sus resultados con la realidad en los desplazamientos de 17.5% para el centro de los elementos y del 25.44% para zonas en los cuartos de los elementos (Gómez & Lizarazo, 2007).



## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

El análisis no lineal, sin duda alguna, es uno de los temas más controversiales dentro la aplicación a la ingeniería estructural, pues el mundo del diseño y análisis ya está reglamentado por muchas instituciones privadas como estatales y variando por cada nación, sin embargo tras todos los resultados obtenidos y de cierta forma contrastados, podemos responder nuestra incógnita principal, y definir que el análisis no lineal es una arma para el análisis estructural, aplicado a estructuras de concreto armado bajo condiciones sísmicas, muy poderosa que nos permite representar de forma muy acertada la realidad; es decir, la respuesta casi real de la estructura frente a esfuerzos sísmicos, y por ende poder definir nuevas reglas y condiciones para diseñar estructuras con criterios más específicos, conservadores y exactos. Además de basarse en la aplicación predeterminada de esfuerzos sísmicos reales (sismos registrados en una zona específica) a los que se puede someter, las cuales resultan debido a su base matemática la cual es muy compleja; sin embargo, a causa de esta última también refleja en ella una desventaja, pues si bien es cierto el método es muy eficiente pero no deja de ser matemática que solo responderá a sus reglas, es decir, debe de plantearse con una ideología o filosofía de comportamiento estructural o aplicación de fenómenos (efectos de sismos) muy clara para obtener resultados precisos, pues de lo contrario tendremos simplemente números y características erróneas, además de potencialmente necesitar de tecnologías computacionales para el desarrollo del mismo.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios, brindan muchas ideas de lo que, en sí, podemos conseguir tras la aplicación del análisis no línea. Tras definir cada categoría, podemos ensuciar que el análisis no lineal tiene distintos antecedentes, e incluso se han desarrollado varios tipos de del mismo, cada uno de ellos basados en filosofías cada vez más exactas a la realidad. El análisis no lineal concluyentemente nos brinda características cualitativas y cuantitativas de las estructuras, como ductilidad, sobrerresistencia, curvas de capacidad real de las estructuras, demandas producidas, distorsiones, rotaciones angulares de los elementos y otros; sin embargo, también presenta errores contrastados con el comportamiento real debido a su amplia sollicitación matemática y forma de análisis (dos y tres dimensiones).

Finalmente es necesario poder enunciar que la investigación presente, intenta dar un enfoque general respecto al análisis no lineal aplicado en su utilización, para poder implementarse en el desarrollo de estructuras de concreto armado, particularmente; debido a su gran aproximación de la realidad; sin embargo es necesario ampliar el estudio para para así eliminar las condiciones negativas que presenta y contribuir a la mejora y especialización del análisis de estructuras que son sometidas a esfuerzos por causas sísmicas, logrando así comprender la realidad y mejorar la calidad de las infraestructuras que se brindan al mundo. También es pertinente sugerir, que la investigación respecto a este tema, puede hacerse de manera más específica y basándose en algún tipo de análisis no lineal, para su mejor comprensión y fomento de investigación hacia una mejor realid



## REFERENCIAS

- Alfaro A. y Barrios A. (2014). *Evaluación De La Vulnerabilidad Y El Golpeteo De Edificio De Concreto Armado Mediante Análisis No Lineal*. Revista Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, pp. 10-14. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/286918825\\_EVALUACION\\_DE\\_LA\\_VULNERABILIDAD\\_Y\\_EL\\_GOLPETEO\\_DE\\_EDIFICIO\\_DE\\_CONCRETO\\_ARMADO\\_MEDIANTE\\_ANALISIS\\_NO\\_LINEAL\\_VULNERABILITY\\_AND\\_POUNDING\\_ASSESSMENT\\_OF\\_A\\_RC\\_BUILDING\\_USING\\_NON-LINEAR\\_ANALYSIS](https://www.researchgate.net/publication/286918825_EVALUACION_DE_LA_VULNERABILIDAD_Y_EL_GOLPETEO_DE_EDIFICIO_DE_CONCRETO_ARMADO_MEDIANTE_ANALISIS_NO_LINEAL_VULNERABILITY_AND_POUNDING_ASSESSMENT_OF_A_RC_BUILDING_USING_NON-LINEAR_ANALYSIS)
- Álvarez D., Eduardo R.; Ruiz R., José M. & Martínez, Eydol A. (2016). *Análisis No Lineal Push Over De Un Edificio Público De 5 Pisos Rigidizado Mediante Pórticos Espaciales Dúctiles De Hormigón Armado*. Revista ROP 3582, pp. 30-37. Recuperado de: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2016/2016\\_diciembre\\_3582\\_04.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2016/2016_diciembre_3582_04.pdf)
- Godínez D., Eber A. & Tena C., Arturo. (2011). *Comportamiento No Lineal De Marcos Dúctiles De Concreto Reforzado Con Contraventeo Metálico Chevrón. Propuesta De Diseño*. Revista de Ingeniería Sísmica, 85 (1) pp. 61-102. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/618/61821488003.pdf>
- Godínez D. & Eber, A. (2014). *Influencia De Contraventeos Concéntricos En Cruz O Chevrón En El Comportamiento No Lineal De Marcos Dúctiles De Concreto Reforzado*. Revista de Ingeniería Sísmica No. 91, pp. 1-30. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0185-092X2014000200001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-092X2014000200001&lng=es&nrm=iso)
- Gómez, A. & Lizarazo, J.M. (2007). *Influencia De La No Linealidad De Material En Las Influencia De La No Linealidad De Material En Las Deflexiones Inmediatas De Vigas De Concreto Reforzado Deflexiones Inmediatas De Vigas De Concreto Reforzado*. REVISTA INGENIERÍA DE INVESTIGACIÓN, 27 (2) pp. 92-99. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327214.pdf>
- Herrera G., Reyes I. (2016). *Estudio De La Respuesta Sísmica Y Daño Global De Dos Edificios Irregulares De Concreto Armado*. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 28(2) pp. 3-15. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4277/427749623010/427749623010.pdf>
- Herrera, R. I.; Vielma, J. C.; y Ugel, R. & Martínez, Y. (2012). *Evaluación Del Comportamiento Sismorresistente Y Diseño Óptimo De Un Edificio Existente De Concreto Armado De Baja Altura*. Revista INGENIERÍA UC, 19 (3) pp. 52-65. [Fecha de consulta 2 de mayo de 2020]. ISSN: 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=707/70732639007>



- Idrees R., Ahmad, Torres, R. & Núñez, E. (2018). *Evaluación De Patrones De Carga De Análisis No Lineal Estático Incremental En Pórticos De Concreto Armado De Estructuras Regulares De Baja Y Mediana Altura*. Revista Jornada de Investigación Encuentro Académico Industrial, pp 3-5. Recuperado de: <http://www.ing.ucv.ve/jifi2018/documentos/ambiente/AIS025.pdf>
- Jaramillo, N., Uzcátegui, M., Vera, B., & Flórez, J. (2009). *Análisis No Lineal De Estructuras De Concreto Armado A Través De Un Portal De Cálculo*. Ciencia e Ingeniería, 30 (2) pp. 137-142. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=5075/507550785006>
- López, N., Ugel, R. & Herrera R., I. (2019). *Análisis De Una Placa Base De Unión Entre Columna De Concreto-Columna De Acero En El Rango No Lineal*. Revista Gaceta Técnica, 20(1) pp. 7-22. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/330738092\\_ANALISIS\\_DE\\_UNA\\_PLACA\\_BASE\\_DE\\_UNION\\_ENTRE\\_COLUMNA\\_DE\\_CONCRETO-COLUMNA\\_DE\\_ACERO\\_EN\\_EL\\_RANGO\\_NO\\_LINEAL\\_ANALYSIS\\_OF\\_A\\_JOINT\\_BASE\\_PLATE\\_BETWEEN\\_CONCRETE\\_COLUMN-STEEL\\_COLUMNS\\_IN\\_THE\\_NON-LINEAR\\_RANGE](https://www.researchgate.net/publication/330738092_ANALISIS_DE_UNA_PLACA_BASE_DE_UNION_ENTRE_COLUMNA_DE_CONCRETO-COLUMNA_DE_ACERO_EN_EL_RANGO_NO_LINEAL_ANALYSIS_OF_A_JOINT_BASE_PLATE_BETWEEN_CONCRETE_COLUMN-STEEL_COLUMNS_IN_THE_NON-LINEAR_RANGE)
- López, O. A. & Ruiz, G. (2008). *Evaluación De Los Métodos De Análisis Estático No lineal Para Determinar La Demanda Sísmica En Estructuras Aporticadas De Concreto Armado*. REVISTA EL BOLETÍN TÉCNICO IMME, 46 (3) pp. 01-28. Recuperado de: en <http://ve.scielo.org/pdf/imme/v46n3/art01.pdf>
- Marinilli, A. (2016). *Análisis Probabilístico Simplificado De Pórticos De Concreto Reforzado Ante Acciones Sísmicas*. La Facultad de Ingeniería U.C.V, 31(1) pp. 16-27. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0376-723X2009000200002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2009000200002)
- Martínez W. & Gutiérrez O. (2010). *Comportamiento Lineal Y No Lineal De Las Deflexiones En Vigas De Concreto Reforzado*. Revista Facultad de Ingeniería, 19 (29) pp. 31-67. Recuperado de: <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1404>
- Mora, M. Alexander, Villalba, Jesús D. & Maldonado, E. (2006). *Deficiencias, Limitaciones, Ventajas Y Desventajas De Las Metodologías De Análisis Sísmico No Lineal*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 5(9) pp. 59-74. Recuperado de: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/234>
- Perú. Ministerio de vivienda y construcción (2017). *Resolución Ministerial N° 005-2014-VIVIENDA. Actualización De Las Normas Técnicas Peruanas Para La Construcción*. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-no-005-2014-minam/>
- Rodríguez, O. (2012). *Diseño Por Desempeño De Edificios Altos De Hormigón Armado A Través Del Análisis No Lineal De Historia En El Tiempo*. Revista Ciencia en su PC, 4(1) pp. 61-72. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/238197997/181325081005-pdf>



- Varela R., J. L., Bagundo T., M. R. & Fernández B., L. E. (2007). *Comportamiento No Lineal De Estructuras De Concreto Celular De Autoclave Diseñadas Con Diferentes Factores De Reducción De Fuerzas Sísmicas*. Revista Varela Rivera, 11(2) pp. 5-12. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46711201.pdf>
- Vielma P., Juan C.; Barbat, Alex H. & Oller, S. (2007). *Curvas De Fragilidad Y Matrices De Probabilidad De Daño De Edificios De Concreto Armado Con Ductilidad Limitada*. Revista Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, 7(2-3) pp. 1-285. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/45490988\\_Curvas\\_de\\_fragilidad\\_y\\_matrices\\_de\\_probabilidad\\_de\\_dano\\_de\\_edificios\\_de\\_concreto\\_armado\\_con\\_ductilidad\\_limitada](https://www.researchgate.net/publication/45490988_Curvas_de_fragilidad_y_matrices_de_probabilidad_de_dano_de_edificios_de_concreto_armado_con_ductilidad_limitada)
- Vielma, J.C.; Barbat, A. H. & Oller, S. (2007). *Respuesta No Lineal De Edificios De Concreto Armado Diseñados Para Baja Ductilidad*. IMME, 45(2) pp. 1-36. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0376-723X2007000200002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2007000200002)
- Vielma, Juan C.; Lobo Q., William & Rivero R., Pedro. (2005). *Factores De Reducción De Respuesta Por Ductilidad De Estructuras Con Comportamiento No Lineal*. REVISTA INGENIERÍA UC., 12 (2) pp. 14-22. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70712203.pdf>
- Terán, A. (2000). *Características Mecánicas Y Desempeño Sísmico De Marcos Dúctiles De Concreto Reforzado*. Revista Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. pp. 564-573. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n78/n78a3.pdf>