

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN SÍSMICA DE EDIFICACIONES EN EL PERÚ”

Trabajo de Investigación para optar al grado de:
Bachiller en Ingeniería Civil



Autor:

Richard Guido Ramirez Calixto

Asesor:

Ing. Arturo Davila Obando

Lima - Perú

2019

Tabla de contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Realidad problemática	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Objetivos	4
13.1. Objetivo general	4
13.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Marco Teórico.....	4
14.1. Antecedentes	4
14.2. Bases Teóricas.....	8
1.5. Hipótesis	16
15.1. Hipótesis general	16
15.2. Hipótesis específicas.....	16
15.3. Operacionalización de variables... ..	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	18
2.1. Tipo de investigación	18
2.2. Población y muestra.....	18
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	18
2.4. Procedimientos.....	19
CAPÍTULO III. RESULTADOS	23
DISCUSIÓN.....	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS	65

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La actual situación mundial, nos revela que los sismos siguen incrementándose cada vez con más frecuencias en todo el orbe, con consecuencias desgarradoras debido a que se tratan de pérdidas de vidas humanas, ocasionadas por el colapso de las edificaciones principalmente. Estos sismos mayormente están claramente delimitados, presentándose mayormente en el Cinturón de Fuego del Pacífico producidos por el movimiento de las Placas Tectónicas. Pero ahora en la actualidad se vienen registrando sismos en lugares donde antes no se presentaban, lo que amerita mayor investigación de dichos fenómenos naturales.

En el Perú, territorio que se encuentra en una zona sísmica, los sismos también han cobrado miles de vidas humanas, en diversos años, éstas son mayormente ocasionadas por las fallas en las edificaciones, las cuales terminan desplomándose ocasionando la muerte de miles de personas. Ahora estos sismos se presentan también en la zona de la selva, originando que se tengan que modificar los diseños constructivos en aquellas zonas. El Instituto Geofísico del Perú, lleva un control de los sismos en nuestro país y sus informes registran incrementos con relación al año pasado; es por ello que cobra mayor importancia el estudio del fenómeno sísmico en el Perú, debido a que estamos propensos a sufrir fuertes movimientos telúricos, ante los cuales debemos de estar preparados tanto en el campo científico, en el diseño de construcciones adecuadas que no fallen ante un evento sísmico y posibiliten que las personas puedan evacuar antes que se produzca el desplome de las edificaciones.

En el presente Proyecto de Investigación se pretende realizar una evaluación a las edificaciones en el Perú, para que se pueda implementar lo establecido en la Norma E030 Sismorresistente, para que puedan resistir ante un evento sísmico y no provoquen por su colapso la pérdida de vidas humanas.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo realizar la evaluación sísmica de edificaciones en el Perú?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la Norma Peruana E030-2016, para la evaluación sismorresistente de Edificaciones en el Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Efectuar un diagnóstico de la Edificaciones.
- ✓ Determinar los factores que influyen en el comportamiento sismorresistente de la Edificación.
- ✓ Desarrollar la evaluación sismorresistente aplicando la Norma Peruana E030-2016, en las Edificaciones.

1.4. Marco Teórico

1.4.1 Antecedentes

La presente investigación se realiza teniendo como antecedente la imperiosa necesidad de fomentar las evaluaciones sísmicas para las edificaciones en el Perú, debido a que nos encontramos en una zona altamente sísmica, considerada como el Cinturón de

Fuego y es por ello que debemos estar preparados para poder evitar la pérdida de vidas humanas.

Los resultados obtenidos producto de los movimientos sísmicos nos muestran la necesidad de las evaluaciones sísmica de edificaciones en el Perú a través de diversos métodos de análisis sísmicos y como estos contribuyen a evitar colapsos en las edificaciones ante los eventos sísmicos para evitar pérdidas humanas.

La investigación se centra en conseguir la mayor cantidad posible de estudios realizados por los investigadores relacionados acerca de los eventos sísmicos, para que nos puedan servir como estudio previo para poder hacer una evaluación sísmica correcta, evitando la pérdida de vidas humanas, debido al no cumplimiento de la Norma E030 Diseño Sismorresistente y posteriormente poder identificar cuáles podrían ser aquellos elementos estructurales que podrían ocasionar colapso en la estructura o en su defecto poder concluir que dicha construcción está adecuadamente diseñada y no genera riesgo de vulnerabilidad sísmica para sus ocupantes.

La investigación, nos plantea la siguiente pregunta “¿Cómo una inadecuada aplicación de la Norma E030 para el diseño estructural en una edificación puede ocasionar el colapso ante un evento sísmico?”, asimismo el mismo estudio nos va a dar elementos de juicio necesarios para poder determinar posteriormente que elementos estructurales no estarían cumplimiento los parámetros establecidos en la Norma E030, eso será producto de una evaluación del diseño.

Nos hemos establecido como objetivo, el poder conseguir a través de la Revisión Sistemática, los fundamentos necesarios que demuestren la necesidad de hacer una Evaluación Sísmica de Edificaciones en el Perú, y que éstas a su vez son muy

necesarios para poder determinar la estructura de diseño final de una edificación que sea capaz de soportar adecuadamente un evento sísmico.

Para esa evaluación, éste Trabajo de investigación se basa en el conocimiento previo de la Norma Técnica Peruana E030 “Diseño Sismoresistente” publicada el 2016, la cual nos establece las consideraciones a tener en cuenta de acuerdo a las diferentes áreas geográficas establecidas en el Perú para analizar los eventos sísmicos y las consideraciones sísmicas por área geográficas, asimismo también establece las categorías de la edificaciones así como los diversos sistemas estructurales autorizados, así como el método de análisis estructural, requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad.

Esto es concordante con lo publicado por el IGP en su página web www.igp.gob.pe, a la fecha del presente Trabajo de Investigación ha reportado en lo que va del año un total de 304 sismos, reflejando un aumento significativo con respecto al total de sismos reportados en el 2017 (en todo el año hubieron 397). El último sismo reportado, según el IGP ha sido el 13 de julio del 2018 a las 05:49:57 am, localizado a 22 Km al O de Jumbilla, Bongara-Amazonas, a una profundidad de 25 km con una magnitud de 4.1 ML (Richter).

Asimismo, la Norma Técnica E030, señala “Toda edificación y cada una de sus partes serán diseñadas y construidas para resistir las sollicitaciones sísmicas prescritas con esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados” (SENSICO, 2016). También cuando se refiere a la evaluación sísmica, nos dice, “Deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes: análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, análisis dinámico modal espectral. El análisis se hará

considerando un modelo lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. El procedimiento de análisis dinámico tiempo-historia, podrá usarse con fines de verificación, pero en ningún caso será exigido como sustituto de los procedimientos indicados” (SENSICO, 2016). Asimismo, también nos especifica en la Tabla N° 5, los tipos de edificaciones como, esenciales (en determinado caso establece el uso del aislamiento sísmico), importantes, comunes y temporales.

La evaluación sísmica se basa, según el Ing. Paulo Flores, “En una inspección técnica de la edificación y en cálculos estructurales (comportamiento de la edificación)”. Asimismo, también, “En el Perú la gran mayoría de edificaciones antiguas existentes necesitan adecuarse al código sísmico último, se necesita mejorar el comportamiento de las estructuras”. Acerca del uso de reforzamiento de estructuras plantea, “en el Perú es muy común el uso del sistema de reforzamiento de la estructura mediante muros de corte”.

Acerca de una buena evaluación de diseño sísmico el Doctor Gilmore, plantea, “Debe resistir sin daño niveles menores de movimiento sísmico, resistir sin daño estructural aunque posiblemente con algún tipo de daño no estructural; niveles moderados de movimiento sísmico., debe resistir sin colapso, aunque con algún tipo de daño estructural y no estructural; niveles mayores de movimiento sísmico, el nivel de daño que sufren los elementos estructurales, no estructurales y el contenido dependen de los valores del desplazamiento lateral”. Luego plantea, “Con sistemas estructurales tradicionales es posible controlar la demanda de desplazamiento lateral (rigidez y resistencia), mientras que el control razonable de la velocidad y aceleración solo es posible por medio innovadores (disipación extra de energía, aislamiento sísmico).

Finalmente concluye, “El nivel de daño estructural que sufre un elemento depende de su nivel de deformación plástica”.

Acerca de los métodos de evaluación sísmica, Rafael Salinas Basualdo (Basualdo, 2000), plantea, “Los análisis dinámicos se dividen usualmente en: análisis modal espectral, de uso más común, análisis tiempo historia y análisis en el dominio de las frecuencias. También dice q los análisis pueden realizarse considerando un comportamiento lineal fuerza. desplazamiento del material; eventualmente pueden considerarse comportamientos no lineales para los análisis tiempo-historia”. También sostiene, “Los programas de análisis estructurales más comunes no realizan análisis incluyendo efectos de segundo orden (denominado también no linealidad geométrica), es decir, la consideración de esfuerzos adicionales debidos a la modificación de los ejes causada por las deformaciones”.

Todas las anteriores apreciaciones reflejan la necesidad del presente trabajo de investigación.

1.4.2 Bases Teóricas

Según la Norma Peruana E030 en su Tabla N° 7, establece los Sistemas Estructurales permitidos en el país: Acero; concreto armado; albañilería armada o confinada y madera (por esfuerzos admisibles).

Estructuras de Acero:

Los Sistemas que mencionaremos a continuación son parte del Sistema Estructural Resistente a Sismos.

- Pórticos especiales resistentes a momentos
- Pórticos intermedios resistentes a momentos.

- Pórticos ordinarios resistentes a momentos.
- Pórticos especiales resistentes a momentos.
- Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados.
- Pórticos excéntricamente arriostrados.

Estructuras de concreto armado:

Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21 “Disposiciones especiales para el diseño sísmico de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones (SENSICO, 2016). Tenemos las siguientes estructuras de concreto armado:

- Pórticos.
- Dual.
- Muros estructurales.
- Muros de ductilidad limitada.

Según la Norma Peruana E030 en su Tabla N° 5, establece las **Categorías de las Edificaciones:**

- **Categoría A**, Edificaciones Esenciales, divididos en:

A1, abarca establecimientos de salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, éstas tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3 (EDIFICACIONES, 2017). En las zonas sísmicas 1 y 2, la Entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico.

A2, Edificaciones esenciales cuya función no debería de interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo, tales como los establecimientos de salud no

comprendidos en la categoría A1, también los puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía, así también las instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua (EDIFICACIONES, 2017). Se incluyen todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades; se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos, asimismo también edificios que almacenan archivos e información esencial del Estado (EDIFICACIONES, 2017).

- **Categoría B**

Edificaciones Importantes, son edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cine, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas (EDIFICACIONES, 2017); asimismo también se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento (EDIFICACIONES, 2017).

- **Categoría C**

Edificaciones Comunes, se consideran las edificaciones tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurante, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes (EDIFICACIONES, 2017).

- **Categoría D**

Edificaciones Temporales, son aquellas construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares (EDIFICACIONES, 2017).

Asimismo, también la Norma Peruana E030, en su Tabla N° 6, establece las combinaciones permitidas para las categorías de las edificaciones y los sistemas estructurales permitidos de acuerdo a la zona sísmica localizada (existen 4 zonas sísmicas), así tenemos:

➤ **Para la Categoría A1:**

En las Zonas 4 y 3: las edificaciones deben tener aislamiento sísmico con cualquier sistema estructural.

En las Zonas 2 y 1: están permitidos las estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF; las estructuras de concreto del tipo sistema dual; los muros de concreto armado y la albañilería armada o confinada (EDIFICACIONES, 2017).

➤ **Para la Categoría A2:**

En las Zonas 4,3 y 2: están permitidas las estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF; estructuras de concreto del tipo sistema dual; muros de concreto armado y albañilería armada o confinada.

En la Zona 1: está permitido cualquier sistema estructural.

➤ **Para la Categoría B:**

En las Zonas 4, 3 y 2: están permitidas las estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF; estructuras de concreto armado tipo Pórticos, Sistema Dual, Muros de concreto armado; albañilería armada o confinada estructuras de madera (EDIFICACIONES, 2017).

En la Zona 1: se puede usar cualquier sistema estructural.

➤ **Para la Categoría C**

En las Zonas 1, 2, 3 y 4 se pueden usar cualquier sistema estructural.

La Norma Peruana E030, para el análisis estructural hace diversas consideraciones, que, para estructuras regulares, el análisis podrá hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales predominantes, para estructuras irregulares deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño (SENSICO, 2016).

Las solicitaciones sísmicas verticales se considerarán en el diseño de los elementos verticales, en elementos horizontales de gran luz, en elementos post y pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio, se considera que la fuerza sísmica vertical actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis, para propósito de esta norma las estructuras de concreto armado y albañilería podrán ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo, para los edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación, en tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes y el modelo estructural deberá incluir la tabiquería que no esté debidamente aislada. El peso se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje

de la carga viva o sobrecarga que se determinará de acuerdo al tipo de edificación (SENSICO, 2016).

Para el análisis sísmico, deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes: análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, análisis dinámico modal espectral. El análisis se hará considerando un modelo lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. El procedimiento de análisis dinámico tiempo-historia, podrá usarse con fines de verificación, pero en ningún caso será exigido como sustituto de los procedimientos indicados.

Análisis estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes, “Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación. Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares según el numeral 3.5 de no más de 30m de altura y las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15m de altura, aun cuando sean irregulares”.

Análisis Dinámico modal espectral, “Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral, los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas en cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis (Normalización, 2010).

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares, si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberá escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos, la incertidumbre en localizar los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, en cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable (Normalización, 2010).

Análisis Dinámico Tiempo-Historia, “Podrá emplearse como un procedimiento complementario a lo especificados en el numeral 4.5 y 4.6 en este tipo de análisis deberá utilizarse un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio, para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales, cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales, las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado, cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se

podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido (Normalización, 2010).

En el Libro “Análisis de Edificios” de Ángel San Bartolomé (1998), nos plantea las nociones generales para la estructuración de un edificio:

Estructuración por Carga Vertical

Al estructurar un edificio por carga vertical, debe pensarse que la carga gravitacional actuante en un nivel del edificio se transmite a través de la losa del techo hacia los denominados ejes portantes (antiguamente se les llamaba ejes principales) y de aquí, hacia el suelo de cimentación, adicionalmente, como vivimos en un país sísmico, en este acápite no puede dejar de mencionarse los problemas que producen los terremotos y en el texto de San Bartolomé, nos plantean que debemos de tener en cuenta: los techos aligerados, los ductos y diafragmas flexibles, los sistemas de techados para grandes luces y las escaleras .

Estructuración por Carga Sísmica

Las fuerzas sísmicas son fuerzas de inercia producidas por el hecho que los niveles tienen masas sujetas a aceleraciones, la mayor parte de esta masa se encuentra localizada a la altura de los niveles (losa, vigas, acabados, sobrecarga, tabiques, etc.), mientras que la masa actuante en el entrepiso (columnas, placas, etc.) es más pequeña; por lo que para un análisis sísmico traslacional, puede suponerse que la masa se encuentra concentrada a la altura de los niveles (Bartolome, 1995).

Cimentaciones

La estructuración que debe darse a la cimentación de un edificio, depende del tipo de suelo sobre el cual éste se ubique para el caso que se cimiente sobre suelo duro, las

zapatas pueden ser superficiales, aisladas y no necesitan vigas que las enlacen, ya que al ser rígido el suelo, ellas vibrarán en fase ante los sismos sin embargo, los problemas surgen cuando esas zapatas están ubicadas en el límite de propiedad, en cuyo caso, la carga axial puede caer fuera del núcleo central de la zapata, generándose tracciones en el suelo, por lo que la distribución de presiones será del tipo triangular, en este caso, si el esfuerzo máximo en el suelo supera al admisible, deberá emplearse otras soluciones como son las zapatas combinadas o las conectadas con una viga de cimentación (Bartolome, 1995).

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de la Norma Peruana E030-2016, permitirá la evaluación sismorresistente de las Edificaciones en el Perú.

1.5.2. Hipótesis específicas

- ✓ El diagnóstico de la Edificación permitirá su evaluación sismorresistente.
- ✓ La determinación de los factores que influyen en el comportamiento sismorresistente permitirá la evaluación sísmica de la Edificación.
- ✓ La aplicación de la Norma Peruana E030-2016, permitirá la evaluación de las Edificaciones.

1.5.3. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	OPERACIONALIZACION		
		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
EVALUACIÓN SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES	Conocer el tipo de diseños estructurales de las edificaciones	Niveles de colapso	Datos obtenidos de la Revisión Sistemática	Software ETABS

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

En el presente Trabajo de Investigación se ha utilizado el tipo de investigación no experimental. En la medida que nos hemos basado en las investigaciones previas realizadas por otros investigadores para poder llegar a conclusiones y recomendaciones a ser utilizados para realizar una adecuada evaluación sísmica en las edificaciones en el Perú.

2.2. Población y muestra

Población: Todas las edificaciones en general.

Muestra: Edificaciones en el Perú.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnicas

- ✓ Revisión Sistemática

2.3.2 Instrumentos

Los instrumentos que se usaron son:

- ✓ Norma sismorresistente Peruana E030-2016.
- ✓ Software ETABS.
- ✓ PC Intel Core i5-3230M CPU 2.60 GHz.
- ✓ Mapa sísmico del Perú (Instituto Geofísico del Perú)

2.2.3 Análisis de datos

Para poder realizar la evaluación sísmica, hemos utilizado lo establecido en la Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente, usando el Método de análisis estático y luego el Método de análisis dinámico modal espectral, considerando un modelo de

comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

2.4. Procedimientos

El procedimiento aplicado en el presente Trabajo de Investigación ha tenido como horizonte poder realizar una adecuada recolección de información, con el objetivo de poder darle el sustento necesario a nuestra investigación, referido a la “EVALUACIÓN SÍSMICA DE EDIFICACIONES EN EL PERÚ”.

Esta metodología parte del estudio de las pruebas disponibles sobre un determinado tema, con el objeto de responder en base a esos antecedentes previos a cuestiones concretas, siguiendo una metodología explícita y rigurosa, en sí son trabajos originales que se revisan para en base a ellos obtener nuevos resultados.

En la revisión sistemática presentada en este Trabajo de Investigación, se analizaron y se condensaron lo encontrado en torno a la evaluación sísmica de edificaciones.

A través de esta metodología se va a responder a la pregunta planteada para este Trabajo de Investigación, ¿Cómo una inadecuada evaluación sísmica para el diseño estructural en una edificación puede ocasionar el colapso ante un evento sísmico?

Para los estudios previos a considerar serán aquellos que tengan relación con el análisis sísmico para el diseño estructural; en lo que se refiere a revistas o artículos se considerarán en un rango máximo de 10 años; para Libros se considerará un rango máximo de 30 años; también se considerará como herramienta o instrumento de evaluación al Programa ETABS versión 2016 y por último la Norma Peruana E030 del 2016 y la Norma Chilena NCH 433.

Las revistas, artículos y libros serán las catalogadas como científicas, cuyas publicaciones se refieran a zonas sísmicas geográficas similares al Perú y en idioma castellano.

La fuente de información ha sido la Base de datos de las bibliotecas virtuales SCIELO y REDALYC, las cuales contienen información de publicaciones científicas de investigaciones realizadas en el área de análisis de diseño estructural en eventos sísmicos; artículos científicos del CISMID, artículos científicos del IGP, asimismo también Libros de reconocido prestigio, Programa de software estructural ETABS versión 2016 y Norma técnica sísmica actualizada E030 y Norma Sísmica Chilena NCH 433.

La estrategia de búsqueda realizada para poder conseguir información de investigaciones relacionadas al presente estudio, ha sido la búsqueda a través de las palabras clave “evaluación sísmica”; “análisis sísmico”; “aislamiento sísmico”.

Los criterios de descarte de información, ha sido aquella información sísmica fuera del alcance de zona sísmica geográfica diferentes al Perú, por ese motivo se descartaron varias búsquedas obtenidas, asimismo también se descartó aquellas que no se referían a análisis de diseño estructural de edificaciones.

Luego de la selección de la información se procedió a organizarla. El método de extracción de datos de las investigaciones consideradas ha sido el de recopilación a través de Tablas con los siguientes campos: fuente, país de origen de la información y resumen de la investigación.

Tabla N°1:

Investigaciones incluidas en la revisión según las palabras claves usadas.

FUENTE	PAÍS ORIGEN	RESUMEN INVESTIGACION
SCIELO/ Revista Ingeniería Sísmica 2012/ Oscar Zúñiga Cuevas y Amador Terán Gilmore	México	Se evalúa la respuesta sísmica con aislamiento sísmico de base.
Libro/ “Diseño Sísmico de Edificios” / Enrique Bazán y Roberto Meli / 1999	México	Aborda sobre los métodos de análisis estático y dinámico y los requisitos de dimensionamiento y detallado.
Libro/ “Análisis Sísmico de Edificios” 1991/ J. Pique Del Pozo y H. Scaletti Farina	Perú	Se enfoca en la vibración de sistemas de varios grados de libertad y análisis sísmico por superposición modal espectral.
Libro/ “Análisis de Edificios” / 1998/ Ángel San Bartolomé	Perú	Analiza estructuras planas, usa varios métodos: Métodos aproximados y Métodos "exactos".
ETABS/ Versión 2016	Mundial	Permite hacer evaluaciones de análisis sísmico y dinámico.
Norma Técnica E030/ “Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones” / 2016	Perú	Define las categorías de las edificaciones, las edificaciones esenciales y aislamiento sísmico, los sistemas estructurales, el análisis estático y análisis dinámico, entre otros.
REDALYC/ Revista de Ingeniería Sísmica 2002/. A. Gustavo Ayala; Elías A. Tavera y Mauricio Ayala.	México	Presenta un método para la evaluación del comportamiento sísmico de edificios asimétricos, en un análisis no-lineal de empujón.
REDALYC/ Revista de Arquitectura Ingeniería 2011/ Arnulfo Luévanos Rojas	Cuba	Propone un modelo por el método dinámico para el diseño sísmico de edificios que considera las deformaciones por cortante
CISMID/ 2007/ Ing. Paulo Flores Reforzamiento Sísmico de estructuras de concreto armado	Perú	Evalúa una edificación de sistema estructural apertado, con una evaluación de edificaciones de concreto armado desarrollado en Japón.

CISMID/ 2007/ Reforzamientos de Construcciones existentes/ Dr. Amador Terán Gilmore	Perú	Propone una evaluación estructural basada en desplazamientos
CISMID/ 2015/ Fundamentos del análisis dinámico de estructuras/Ing., Rafael Salinas Basualdo	Perú	El enfoque de esta investigación está relacionada al caso de análisis dinámico de edificaciones ante acciones laterales, sean fuerzas externas o movimientos en la base.
CISMID/ 2015/ Análisis Dinámico y Técnicas de Reforzamiento en Estructuras de Infraestructura Educativa/ J. Olarte; R. Proaño; R. Torres; V. Rojas/	Perú	Muestra el análisis dinámico de un modelo pseudo-tridimensional de bloque cortante con diafragmas rígidos y otro modelo tridimensional considerando losas flexibles.
IGP/ Geofísica/ Artículo: Fuentes Sismogénicas y tipos de sismos en Perú7 Dr. Hernando Tavera Huarache	Perú	Trata acerca del porqué ocurren con tanta frecuencia sismos en el Perú
IGP/ Geofísica/ La sismicidad en el mundo/ / Dr. Hernando Tavera Huarache	Perú	Trata de la sismicidad a nivel mundial
INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU/ IGP	Perú	Estudia todos los fenómenos relacionados con las estructuras, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra.
www.igp.gob.pe	Chile	
NORMA CHILENA OFICIAL		Norma Técnica Chilena para la construcción de edificaciones.
NCH 433/ Diseño Sísmico de Edificios /2009		

Fuente: Elaboración propia

Para analizar la producción científica en relación a la Evaluación Sísmica de Edificaciones, se han agrupado los diversos trabajos seleccionados en tres áreas de interés para nuestro estudio: 1) Sistemas estructurales permitidos en el Perú; 2) Normatividad y Sistemas Estructurales permitidos en países con actividad sísmica similar al Perú; 3) Métodos de Evaluación Sísmica.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se encontraron 16 investigaciones en total , un (01) Artículo científico de la Base de Datos SCIELO, dos (02) de la Base de Datos REDALYC, tres (03) Libros relacionados a sismos, un (01) Software para estructuras ETABS Versión 2016, dos (02) Normas Técnicas sísmicas E030 (Perú) y NCH433 (Chile), cuatro (04) Artículos científicos del CISMID, dos (02) Artículos científicos del IGP y la página web www.igp.gob.pe, que cumplían con los criterios de selección planteados para el presente Trabajo de Investigación.

Los resultados se expondrán de acuerdo a los criterios de clasificación especificados en la metodología.

SOBRE SISTEMAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES PERMITIDOS EN EL PERÚ

Según la Norma Peruana E030 en su Tabla N° 7, establece los Sistemas Estructurales permitidos en el país: Acero; concreto armado; albañilería armada o confinada y madera (por esfuerzos admisibles).

Estructuras de Acero:

Los Sistemas que mencionaremos a continuación son parte del Sistema Estructural Resistente a Sismos.

- Pórticos especiales resistentes a momentos
- Pórticos intermedios resistentes a momentos.
- Pórticos ordinarios resistentes a momentos.
- Pórticos especiales resistentes a momentos.
- Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados.

- Pórticos excéntricamente arriostrados.

Estructuras de concreto armado:

Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21 “Disposiciones especiales para el diseño sísmico de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones (SENSICO, 2016). Tenemos las siguientes estructuras de concreto armado:

- Pórticos.
 - Dual.
 - Muros estructurales.
- Muros de ductilidad limitada.

Según la Norma Peruana E030 en su Tabla N° 5, establece las **Categorías de las Edificaciones:**

- **Categoría A**, Edificaciones Esenciales, divididos en:

A1, abarca establecimientos de salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, éstas tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3 (EDIFICACIONES, 2017). En las zonas sísmicas 1 y 2, la Entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico.

A2, Edificaciones esenciales cuya función no debería de interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo, tales como los establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1, también los puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía, así también las instalaciones de generación y transformación

de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua (EDIFICACIONES, 2017). Se incluyen todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades; se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos, asimismo también edificios que almacenan archivos e información esencial del Estado (EDIFICACIONES, 2017).

- **Categoría B**

Edificaciones Importantes, son edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cine, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas (EDIFICACIONES, 2017); asimismo también se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento (EDIFICACIONES, 2017).

- **Categoría C**

Edificaciones Comunes, se consideran las edificaciones tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurante, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes (EDIFICACIONES, 2017).

- **Categoría D**

Edificaciones Temporales, son aquellas construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares (EDIFICACIONES, 2017).

Asimismo, también la Norma Peruana E030, en su Tabla N° 6, establece las combinaciones permitidas para las categorías de las edificaciones y los sistemas estructurales permitidos de acuerdo a la zona sísmica localizada (existen 4 zonas sísmicas), así tenemos:

➤ **Para la Categoría A1:**

En las Zonas 4 y 3: las edificaciones deben tener aislamiento sísmico con cualquier sistema estructural.

En las Zonas 2 y 1: están permitidos las estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF; las estructuras de concreto del tipo sistema dual; los muros de concreto armado y la albañilería armada o confinada (EDIFICACIONES, 2017).

➤ **Para la Categoría A2:**

En las Zonas 4,3 y 2: están permitidas las estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF; estructuras de concreto del tipo sistema dual; muros de concreto armado y albañilería armada o confinada.

En la Zona 1: está permitido cualquier sistema estructural.

➤ **Para la Categoría B:**

En las Zonas 4, 3 y 2: están permitidas las estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF; estructuras de concreto armado tipo Pórticos, Sistema Dual, Muros de concreto armado; albañilería armada o confinada estructuras de madera (EDIFICACIONES, 2017).

En la Zona 1: se puede usar cualquier sistema estructural.

➤ **Para la Categoría C**

En las Zonas 1, 2, 3 y 4 se pueden usar cualquier sistema estructural.

SOBRE NORMATIVIDAD Y SISTEMAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES PERMITIDOS EN PAÍSES CON ACTIVIDAD SÍSMICA SIMILAR AL PERÚ

Según la Norma Sísmica Chilena de Edificaciones NCH433, en Disposiciones generales sobre diseño y métodos de análisis establece los Sistemas estructurales permitidos:

SISTEMAS ESTRUCTURALES:

La transmisión de las fuerzas desde su punto de aplicación a los elementos resistentes y al suelo de fundación, se debe hacer en la forma más directa posible a través de elementos dotados de la resistencia y la rigidez adecuadas (Normalización, 2010).

- **Sistemas de muros y otros sistemas arriostrados**, las acciones gravitacionales y sísmicas son resistidas por muros, o bien por pórticos arriostrados que resisten las acciones sísmicas mediante elementos que trabajan principalmente por esfuerzo axial (Normalización, 2010).
- **Sistemas de pórticos**, las acciones gravitacionales y las sísmicas en ambas direcciones de análisis, son resistidas por pórticos (Normalización, 2010).
- **Sistemas mixtos**, las cargas gravitacionales y sísmicas son resistidas por una combinación de los sistemas anteriores (Normalización, 2010).

Según la Norma Sísmica Chilena de Edificaciones NCH433, en lo que se refiere a las Categoría de las edificaciones, en su punto 4.3 establece **la Clasificación de ocupación** y otras estructuras de acuerdo a su importancia, uso y riesgo de falla, considerándose lo siguiente:

Categoría I, están incluidos edificios y otras estructuras aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en las Categorías de Ocupación II, III y IV, que representan un bajo riesgo para la vida humana en caso de falla, como las instalaciones agrícolas, ciertas instalaciones provisionales e instalaciones menores de almacenaje (Normalización, 2010).

Categoría II, son todos los edificios y otras estructuras destinadas a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a las Categorías de ocupación I, III y IV y edificios u otras estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las Categorías de Ocupación I, III y IV (Normalización, 2010).

Categoría III, incluyen edificios y otras estructuras cuyo contenido es de gran valor, como bibliotecas y museos; edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, estadios y graderías al aire libre, escuelas, parvularios y recintos universitarios, cárceles y lugares de detención, locales comerciales, centros comerciales; asimismo también edificios y otras estructuras no incluidas en las Categoría de Ocupación IV, como instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos (Normalización, 2010).

Categoría IV, están incluidos los edificios y otras estructuras clasificadas como edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública, tales como cuarteles, centrales eléctricas y telefónicas, correos y telégrafos, radioemisoras, canales de televisión, plantas de agua potable y de bombeo; asimismo también edificios y otras estructuras clasificadas como instalaciones esenciales cuyo

uso es de especial importancia en caso de catástrofe , tales como hospitales, postas de primeros auxilios, cuarteles de bomberos, garajes para vehículos de emergencia, estaciones terminales, refugios de emergencia, torres de control de aviación, torres de control de tráfico aéreo, edificios y otras estructuras que tengan funciones críticas para la defensa nacional (Normalización, 2010).

En Chile sólo existen tres Zonas Sísmicas.

En el Libro “Análisis Sísmico de Edificios” de los autores J. Pique Del Pozo y H. Scaletti Farina (1990-1991) (Pozo, 1990), se enfoca en la vibración de sistemas de varios grados de libertad y asimismo también en el análisis sísmico por superposición modal espectral.

Plantea que cuando se trata con **sistemas estructurales reales** es necesario, en general, considerar varios grados de libertad, cada uno correspondiente a una coordenada independiente (Pozo, 1990). Plantean que en general podría pensarse que una estructura real tiene infinitos grados de libertad, sin embargo, es posible reducir su número a uno finito considerando el hecho que los desplazamientos intermedios de los elementos pueden ser expresados en función de los desplazamientos de los nudos extremos (Pozo, 1990).

También mencionan que el número de grados de libertad debería ser igual al número de componentes de desplazamiento necesario para definir **adecuadamente** la deformada del sistema bajo el tipo de excitación de interés, y como consecuencia poder determinar las fuerzas internas de manera suficientemente aproximada (Pozo, 1990).

Asimismo, plantean que, en el caso de **los edificios sometidos a cargas sísmicas**, la excitación principal son aceleraciones horizontales (y una vertical que es poco

importante en general) (Pozo, 1990). Esto se traduce en fuerzas de inercia horizontales que imprimen a la estructura una deformación lateral y cuyos grados de libertad independientes importantes son los desplazamientos horizontales de los nudos (Pozo, 1990).

Señalan que existen otras consideraciones adicionales aplicables a este caso, como el hecho que la masa está principalmente concentrada en el nivel de cada entrepiso y por consiguiente las fuerzas de inercia son fuerzas horizontales aplicadas al nivel de cada entrepiso (Pozo, 1990). Esto sugiere que los grados de libertad dinámicos independientes son aquellos asociados con la dirección de las fuerzas, lo cierto es que **un edificio sometido a la acción de un sismo** es un sistema de varios grados de libertad por lo que es importante analizar teóricamente el tratamiento de dichos sistemas (Pozo, 1990).

Asimismo también plantean que el modelo más simple de un sistema de varios grados de libertad corresponde a una serie de masas interconectadas por resortes sin peso, conocido como **modelo de acoplamiento cercano**, la cual sólo es estrictamente aplicable a las vibraciones laterales de un pórtico con vigas infinitamente rígidas y despreciando las deformaciones axiales de las columnas (Pozo, 1990). Sin embargo, en una estructura real las masas están conectadas por elementos flexibles. El modelo real sería una en que las masas se encuentran todas interconectadas, dando origen a lo que se conoce **como modelo de acoplamiento lejano** (Pozo, 1990).

Por otro lado, señalan también, que las edificaciones en realidad tienen diferentes mecanismos de disipación de energía mientras vibran bajo la acción de un sismo (Pozo, 1990). Las pérdidas de energía (y por consiguiente el amortiguamiento) ocurrirá debido

a la fricción interna de las uniones, o entre los muros y pórticos y si las deformaciones son grandes debido a deformaciones plásticas (Pozo, 1990).

Asimismo plantean que los **sistemas estructurales reales** son en realidad sistemas continuos con su masa y rigidez distribuida a lo largo de los elementos, algunas estructuras como los pórticos, poseen características de comportamiento ante las cargas sísmicas que justifican la reducción del número de grados de libertad, **La viga de corte** es un elemento ideal que se utiliza para representar sistemas físicos que se caracterizan por comportarse presentando una deformación lateral similar a la deformación por corte, o sea únicamente una distorsión lateral (Pozo, 1990). Esta deformación de todo el pórtico es similar a la de una viga de corte. Los estratos de suelos sometidos a sismos que experimentan solamente deformaciones laterales son a veces representados por vigas de corte (Pozo, 1990).

En general plantea que el análisis estructural consiste en la determinación de los efectos que la sollicitación aplicada demande de la estructura.

En el Libro “Análisis de Edificios” de Ángel San Bartolomé (1998), nos plantea las nociones generales para la estructuración de un edificio:

Estructuración por Carga Vertical

Al estructurar un edificio por carga vertical, debe pensarse que la carga gravitacional actuante en un nivel del edificio se transmite a través de la losa del techo hacia los denominados ejes portantes (antiguamente se les llamaba ejes principales) y de aquí, hacia el suelo de cimentación, adicionalmente, como vivimos en un país sísmico, en este acápite no puede dejar de mencionarse los problemas que producen los terremotos y en el texto de San Bartoleme, nos plantean que debemos de tener en cuenta: los techos

aligerados, los ductos y diafragmas flexibles, los sistemas de techados para grandes luces y las escaleras.

Estructuración por Carga Sísmica

Las fuerzas sísmicas son fuerzas de inercia producidas por el hecho que los niveles tienen masas sujetas a aceleraciones, la mayor parte de esta masa se encuentra localizada a la altura de los niveles (losa, vigas, acabados, sobrecarga, tabiques, etc.), mientras que la masa actuante en el entrepiso (columnas, placas, etc.) es más pequeña; por lo que para un análisis sísmico traslacional, puede suponerse que la masa se encuentra concentrada a la altura de los niveles (Bartolome, 1995).

Cimentaciones

La estructuración que debe darse a la cimentación de un edificio, depende del tipo de suelo sobre el cual éste se ubique para el caso que se cimente sobre suelo duro, las zapatas pueden ser superficiales, aisladas y no necesitan vigas que las enlacen, ya que al ser rígido el suelo, ellas vibrarán en fase ante los sismos sin embargo, los problemas surgen cuando esas zapatas están ubicadas en el límite de propiedad, en cuyo caso, la carga axial puede caer fuera del núcleo central de la zapata, generándose tracciones en el suelo, por lo que la distribución de presiones será del tipo triangular, en este caso, si el esfuerzo máximo en el suelo supera al admisible, deberá emplearse otras soluciones como son las zapatas combinadas o las conectadas con una viga de cimentación (Bartolome, 1995).

Por otro lado, el artículo “Control de aceleraciones de entrepiso **para sistemas estructurales** con aislamiento sísmico de base” de los autores Olga Zuñiga Cuevas y Amador Terán Gilmore (2012), evalúa la respuesta sísmica de una serie de sistemas

simples con aislamiento sísmico de base para entender el efecto que las propiedades estructurales de dichos sistemas y de su super estructura tienen en las demandas de aceleración de entrepiso y se supuso que los sistemas estructurales permanecen elásticos y que la disipación de energía en el sistema de aislamiento puede modelarse como amortiguamiento viscoso (Zúñiga Cuevas, 2012).

La diferencia entre los niveles de amortiguamiento de la superestructura y el sistema de aislamiento fue tomada en cuenta a través de un enfoque de amortiguamiento no-clásico y una vez identificadas las propiedades estructurales que permiten el control de las demandas de aceleración de entrepiso, se discute el uso de un sistema equivalente de un grado de libertad para el diseño de sistemas estructurales de no más de cuatro niveles con aislamiento sísmico de base (Zúñiga Cuevas, 2012).

Plantean , que dentro de un contexto donde el desempeño de los nuevos edificios debe satisfacer las múltiples y complejas necesidades de las sociedades modernas, se han planteado nuevos procedimientos de diseño con la aspiración de dar lugar a sistemas estructurales que sean capaces de controlar adecuadamente su nivel de daño cuando se les sujeta a excitaciones sísmicas con diferente intensidad, considerando que **el costo de los contenidos de estructuras altamente especializadas**, como las que alojan hospitales, museos, centros de operación y otras estructuras esenciales, pueden llegar a ser muy altos, se requieren enfoques de diseño que explícitamente consideren el control de las demandas de aceleración en los diferentes entrepisos de un sistema estructural (Zúñiga Cuevas, 2012).

El enfoque de diseño por desempeño ha aportado un marco para el planteamiento de metodologías de diseño innovadoras, dentro de este contexto, el parámetro más

utilizado para plantear el control de daño por sismo ha sido la demanda máximo de desplazamiento lateral (Bertero y Bertero 1992, Moehle 1992, Montiel-Ortega y Terán-Gilmore 2011, Priestley et al., 2007) sin embargo, el control del desplazamiento lateral sólo puede aspirar a controlar el daño en los sistemas estructural y no estructural, y en algunos tipos de contenidos bajo ciertas circunstancias, la falta control de otros parámetros de respuesta, tal como la velocidad y la aceleración absoluta, puede resultar en daño severo en los contenidos y por tanto, en pérdidas considerables (Chaudhuri y Hutchinson 2004, Medina et al. 2006, Poland y Hom 1997, Taghavi y Miranda 2003, Takahashi y Shiohara 2004, Villaverde 1997) (Zúñiga Cuevas, 2012). Por tanto, sólo a partir del control de la aceleración y velocidad de entrepiso podrá promoverse un desempeño adecuado para muchas estructuras esenciales, en términos de definición se entiende por contenidos a aquellos elementos que no forma parte del sistema estructural principal; pero que pueden estar sujetos a fuerzas sísmicas importantes y dependen de sus características físicas para resistirlas y respecto a lo anterior, Villaverde (1997) clasifica los contenidos en: 1) Componentes arquitectónicos; 2) Equipo mecánico y eléctrico; 3) Contenidos típicos de los edificios (mobiliario) (Zúñiga Cuevas, 2012). Mencionan que, a la fecha y a pesar de los esfuerzos prácticos y académicos por no dejar un vacío en cuanto al control del daño en contenidos, lo cierto es que la sobresimplificación implícita en las metodologías actuales de diseño, y el hecho de que este diseño no forma parte explícita del proceso del diseño sísmico, resulta en muchos casos en contenidos altamente vulnerables que son expuestos a altas demandas de aceleración, por ello plantean, que es urgente desarrollar metodologías de diseño sísmico que dentro de un marco de diseño por desempeño den lugar a sistemas

estructurales que sean capaces de controlar el daño en sus contenidos a través del control explícito de la aceleración de entrepiso (Zúñiga Cuevas, 2012).

Este artículo analiza el uso de sistemas de aislamiento de base para controlar las demandas de aceleración de entrepisos de sistemas estructurales de baja altura, se estudia el efecto que en dichas demandas tienen la rigidez lateral y capacidad de disipación de energía del sistema de aislamiento, y la rigidez lateral de la superestructura, mediante la integración de los resultados presentados, se discute el uso de un modelo equivalente de un grado de libertad para la concepción y diseño basada en aceleración de las propiedades estructurales del sistema aislado, el estudio se limita a super-estructuras de baja altura cuyo sistema de aislamiento exhibe comportamiento lineal y amortiguamiento de tipo viscoso (Zúñiga Cuevas, 2012).

En ese mismo orden de ideas, el Doctor Gilmore, en el I Cuso Alemania-México-Perú, “Reforzamiento de Construcciones Existentes” CISMID-FIC-UNI (c) 2007, plantea sobre las edificaciones, “Debe resistir sin daño niveles menores de movimiento sísmico, resistir sin daño estructural aunque posiblemente con algún tipo de daño no estructural; niveles moderados de movimiento sísmico., debe resistir sin colapso, aunque con algún tipo de daño estructural y no estructural; niveles mayores de movimiento sísmico, el nivel de daño que sufren los elementos estructurales, no estructurales y el contenido dependen de los valores del desplazamiento lateral”. Luego plantea, “**Con sistemas estructurales tradicionales** es posible controlar la demanda de desplazamiento lateral (rigidez y resistencia), mientras que el control razonable de la velocidad y aceleración solo es posible por medio innovadores (disipación extra de energía, aislamiento sísmico). Acerca del daño estructural plantea, que el nivel de daño

estructural que sufre un elemento depende de su nivel de deformación plástica, que conforme mayor sea la demanda de deformación plástica, mayor será el nivel de daño. Menciona que un elemento estructural que fluye no es capaz de acomodar un mayor nivel de carga y que si los elementos que fluyen son capaces de deformarse en el rango plástico de comportamiento, los elementos que permanecen elásticos contribuyen al incremento de la capacidad resistente de la estructura.

También sostiene, que el comportamiento plástico en nuestras estructuras estructuradas con base en marcos momento-resistentes suele concentrarse como rotaciones plásticas que tienden a concentrarse sus extremos. Para evaluar el daño bajo estas circunstancias, suele emplearse el concepto de articulación plástica y de capacidad rotacional.

Acerca de la evaluación estructural basada en desplazamientos para edificaciones sismorresistentes plantea, realizar un análisis estático no lineal de la estructura, estimar la máxima demanda de desplazamiento (mediante un análisis dinámico) que en estructura induce la excitación sísmica de interés y luego en función del valor estimado revisar si el estado de daño en los elementos estructurales es consistente con sus objetivos de diseño, si eso no ocurre la edificación deberá rehabilitarse.

SOBRE MÉTODOS DE EVALUACIÓN SÍSMICA

La Norma Peruana E030, para el análisis estructural hace diversas consideraciones, que, para estructuras regulares, el análisis podrá hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales predominantes, para estructuras irregulares deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño (SENSICO, 2016).

Las solicitaciones sísmicas verticales se considerarán en el diseño de los elementos verticales, en elementos horizontales de gran luz, en elementos post y pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio, se considera que la fuerza sísmica vertical actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis, para propósito de esta norma las estructuras de concreto armado y albañilería podrán ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo, para los edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación, en tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes y el modelo estructural deberá incluir la tabiquería que no esté debidamente aislada. El peso se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de acuerdo al tipo de edificación (SENSICO, 2016).

Para el análisis sísmico, deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes: análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, análisis dinámico modal espectral. El análisis se hará considerando un modelo lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. El procedimiento de análisis dinámico tiempo-historia, podrá usarse con fines de verificación, pero en ningún caso será exigido como sustituto de los procedimientos indicados.

Análisis estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes, “Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación. Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares según el numeral 3.5 de no más de 30m de altura y las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15m de altura, aun cuando sean irregulares”.

Análisis Dinámico modal espectral, “Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral, los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas en cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis (Normalización, 2010).

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entepiso del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares, si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberá escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos, la incertidumbre en localizar los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección

perpendicular a la dirección de análisis, en cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable (Normalización, 2010).

Análisis Dinámico Tiempo-Historia, “Podrá emplearse como un procedimiento complementario a lo especificados en el numeral 4.5 y 4.6 en este tipo de análisis deberá utilizarse un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio, para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales, cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales, las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado, cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido (Normalización, 2010).

Por otro lado, Norma Chilena NCH433, establece con respecto al análisis sísmico para las evaluaciones, “Cualquiera sea el método de análisis usado, se debe considerar un modelo de la estructura con un mínimo de tres grados de libertad por piso: dos desplazamientos horizontales y la rotación del piso en torno a la vertical. Se pueden despreciar los efectos de la torsión accidental en el diseño de los elementos estructurales”.

“El método de análisis estático se puede usar en el análisis sísmico de las siguientes estructuras resistentes: todas las estructuras de las categorías I y II ubicadas en la zona sísmica 1; todas las estructuras de no más de 5 pisos y de altura no mayor que 20 m, las estructuras de 6 a 15 pisos cuando satisfagan determinadas condiciones.

“Análisis por torsión accidental, los resultados del análisis hecho para las fuerzas estáticas aplicadas en cada una de las direcciones de acción sísmica se deben combinar con los del análisis por torsión accidental. Para tal efecto se deben aplicar momentos de torsión en cada nivel, calculado como el producto de las fuerzas estáticas que actúan en ese nivel por una excentricidad accidental. Se debe tomar igual signo para las excentricidades en cada nivel, de modo que en general, es necesario considerar dos casos para cada dirección de análisis”.

“El análisis modal espectral, se puede aplicar a las estructuras que presenten modos normales de vibración clásicos, con amortiguamientos modales del orden de 5% del amortiguamiento crítico, se debe de incluir en el análisis todos los modos normales ordenados según valores crecientes de las frecuencias propias, que sean necesarios para que la suma de las masas equivalentes para cada una de las dos acciones sísmicas sea mayor o igual a un 90% de la masa total y los desplazamientos y rotaciones de los diafragmas horizontales y las solicitaciones de cada elemento estructural se deben calcular para cada una de las direcciones de acción sísmica, superponiendo las contribuciones de cada uno de los modos de vibrar, en el diseño de los elementos estructurales se debe de considerar que los esfuerzos internos y los desplazamientos no satisfacen las condiciones de equilibrio y de compatibilidad, cuando ellos se obtienen usando el Método de Análisis Modal Espectral y así el proyectista debe considerar este

hecho en el diseño sismorresistente, de modo de asegurar que el diseño quede por el lado de la seguridad (Normalización, 2010).

En el Artículo “Análisis Dinámico y Técnicas de Reforzamiento en estructuras de infraestructura educativa” de las edificaciones esenciales, con respecto a su diseño estructural, los investigadores J. Olarte¹, R. Proaño¹, R. Torres¹, V. Rojas, dicen que en el caso de los colegios, “La infraestructura educativa en el Perú ha tenido importantes cambios en sus concepción sismoresistente. La Norma Peruana de diseño sismoresistente NTE E.030 cataloga a los Centros Educativos como Edificaciones esenciales, cuya función no debe interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo.” Asimismo, sostienen, “La configuración estructural debe ser regular, no deben tener discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración sismorresistente a cargas laterales y debe evitarse irregularidades de rigidez (piso blando), de masa, de geometría vertical y de discontinuidad de los sistemas resistentes. Además, debe evitarse irregularidad torsional, esquinas entrantes y discontinuidad del diafragma (CISMID, 1997, 1999-a, 1999-b).”

Muestran el análisis dinámico de un modelo pseudo-tridimensional de bloque cortante con diafragmas rígidos y otro modelo tridimensional considerando losas flexibles. Para verificar los periodos de la edificación, se ha recogido información in situ, mediante ensayos de microtrepidaciones, Las acciones correctivas en el proceso de reforzamiento, se orientan a independizar los dos módulos de la edificación existente he incluir elementos de muros de cortante para rigidizar la estructura en la dirección más débil (Olarte, 2001).

El objetivo de este estudio es realizar un análisis dinámico de estructuras mixtas (albañilería confinada y pórticos de concreto armado) de edificaciones de infraestructura educativa en el Perú. Se emplean dos modelos matemáticos, el primer modelo considera las losas de la edificación infinitamente rígidas y el segundo modelo considera las losas flexibles. La determinación de los esfuerzos y desplazamientos en la edificación así como a distribución de los esfuerzos en las losas permiten apreciar los posibles daños, el comportamiento dinámico de la edificación es evaluado in situ mediante ensayos de microtrepidaciones y así determinar las frecuencias naturales de vibración de la estructura existente, las técnicas de reforzamiento aplicadas para este caso son usualmente utilizadas mediante la inclusión de nuevos elementos estructurales para dotar a la edificación de la seguridad sísmica necesaria de acuerdo a la norma actual (Olarte J.).

Los investigadores utilizaron para su análisis una estructura que corresponde a una edificación de tres niveles conformada por dos módulos, rectangular y octogonal, estos módulos están conectados en los dos primeros niveles por losas mientras en el tercer nivel están desconectados entre sí el acceso a los niveles superiores es a través de una escalera adyacente al módulo octogonal la estructura está compuesta por pórticos de concreto armado en la dirección X y muros de albañilería confinada en la dirección Y, se distingue el módulo octogonal y el módulo rectangular que se encuentran unidos formando un sistema único, el entrepiso descansa sobre los pórticos de concreto armado y muros de albañilería orientados en la dirección Y, y la estructura puede ser catalogada como irregular tanto en planta como en elevación, para verificar la calidad del concreto se realizaron ensayos de compresión con muestras de broca diamantina

extraídas en campo, todos los elementos estructurales cumplen lo especificado en el proyecto original (Olarate J.).

Se han utilizado dos modelos para el análisis dinámico, el primero es un modelo pseudo-tridimensional de bloque cortante considerando las losas rígidas. La estructura se comporta como un sistema de 12 grados de libertad en el segundo modelo considera las losas flexibles este modelo se realiza a fin de estimar los esfuerzos actuantes en las losas debido a la irregularidad de rigideces tanto en planta como en elevación, la idealización de vigas y columnas se realiza mediante elementos tipo frame, y las losas y muros de corte mediante elementos tipo Shell (Olarate J.).

Para el cálculo dinámico se utilizó el programa ETABS versión 6.21 y el SAP-2000 versión 6.11 (Computers and Structures, 1997-a, 1997-b) (Olarate J.).

La distribución de esfuerzos cortantes en la losa se concentra en la zona que conecta el módulo octogonal y el módulo rectangular, el análisis dinámico muestra que debido a la asimetría estructural se generan concentraciones de esfuerzos cortantes que eventualmente producirán agrietamientos de la losa, las acciones correctivas en el proceso de reforzamiento se orientan a independizar los dos módulos de la edificación existente, además para reducir las distorsiones se propone rigidizar el módulo rectangular mediante la inclusión de elementos de muros de cortante de concreto armado en la dirección más débil (Olarate J.).

La independización de la edificación conlleva a separar los dos módulos de la estructura y a realizar los análisis correspondientes a cada módulo por separado. Los resultados del módulo octogonal cumplen la norma vigente, en cambio el módulo rectangular independizado presenta distorsión del orden de 10/1000 en la dirección X,

siendo la máxima permitida según norma peruana 7/1000 (pórticos de concreto armado). En la dirección Y, las distorsiones máximas son del orden de 3/1000, menores a las permitidas de 5/1000 (muros de albañilería confinada). Los desplazamientos máximos obtenidos son de 1.35 cm en la dirección Y, y de 7.80 cm en la dirección X, una vez independizado y para reforzar y poder satisfacer los requerimientos de la norma se requiere incluir muros de corte e concreto armado. Las distorsiones máximas obtenidas del análisis en la dirección X son del orden de 3/1000, lo cual cumple los valores máximos permisibles de 7/1000 (pórticos de concreto armado), los desplazamientos máximos obtenidos son de 1.30 cm en la dirección Y, y de 2.75 cm en la dirección X, el proceso de reforzamiento de la estructura requiere aislar el módulo octogonal del módulo rectangular. Se han incluido 4 muros de corte (placas) de concreto armado embebidas dentro de los pórticos existentes creando un sistema único y las técnicas de inclusión de los muros cortantes se realizan mediante abrazaderas con el fin de conectar las columnas existentes, y mediante dowels para conectar las vigas existentes (Olarte J.).

Finalmente concluye que, para mejorar el comportamiento sismorresistente de este tipo de edificaciones, se requiere independizar el módulo octogonal del módulo rectangular, que soluciona el problema de irregularidad en planta y reduce el efecto de torsión, además se requiere rigidizar el módulo rectangular en la dirección más débil mediante la inclusión de muros de corte que reduzcan las distorsiones de entrepiso (Olarte, 2001). En el Libro “Análisis Sísmico de Edificios” de los autores J. Pique Del Pozo y H. Scaletti Farina (1990-1991), se enfoca en el análisis sísmico por superposición modal espectral.

En ese sentido señalan que para lograr el objetivo del diseño estructural asísmico o antisísmico es indispensable atravesar la etapa del análisis. En general, **el análisis estructural consiste en la determinación de los efectos que la solicitación aplicada demande de la estructura.** En el caso de los sismos, hablamos del análisis sísmico. En este caso la solicitación o carga sísmica está caracterizada por la norma local correspondiente y viene expresada en términos de un espectro de diseño, los efectos que se desean determinar consisten en las fuerzas y deformaciones resultantes de la carga sísmica, por fuerzas se entiende de modo general, tanto fuerzas de distinto tipo: axiales, cortantes, como también momentos flectores por deformaciones, se entiende principalmente desplazamientos y rotaciones de los entrepisos así como distorsiones relativas entre piso y piso (Pozo, 1990).

Asimismo también plantean, que la práctica actual mundialmente aceptada del diseño antisísmico considera que las solicitaciones sísmicas sobre la estructura se determinan por medio de **un análisis elástico**, si bien la tendencia moderna incorpora criterios de comportamiento inelástico como herramientas de disipación de energía, el análisis se hace sobre la base de que la estructura y sus elementos no excedan su resistencia y mantienen su forma inicial, hipótesis implícitas en el análisis estructural en el rango elástico, desde este punto de vista entonces, se cuenta con dos caminos contemplados en los códigos de diseño: **análisis estático o análisis dinámico** (Pozo, 1990).

El análisis estático reduce las acciones sísmicas a fuerzas estáticas equivalentes y todo el análisis se hace considerando un solo juego de fuerzas aplicado a la estructura estáticamente, por otro lado el análisis dinámico considera las características o propiedades dinámicas de la estructura en la determinación de las fuerzas sísmicas y

en cada efecto particular que desee calcularse y en el análisis modal, que es un método de análisis dinámico, la solución en cada modo puede nuevamente llevarse nuevamente en el dominio del tiempo o en el de las frecuencias y las soluciones en el campo de frecuencias están siempre limitadas a sistemas lineales pero tienen la ventaja que permiten considerar propiedades dependientes de la frecuencia (una condición deseable en el caso de los suelos), **el procedimiento modal** es de lejos el procedimiento más usado en dinámica estructural (Pozo, 1990).

En el Libro “Análisis de Edificios” de Ángel San Bartolomé (1998), nos plantea **un Análisis sísmico aproximado de Edificios**, tales como:

Método del Portal, Voladizo, Muto y Ozawa:

Trata sobre el estudio de cuatro métodos que permiten resolver en forma aproximada a los pórticos de edificios sujetos a carga lateral (sismo o viento), los métodos del Portal. Voladizo y de Muto se utilizan principalmente para resolver pórticos compuestos por vigas y columnas ortogonales, mientras que el método de Ozawa se emplea para solucionar pórticos mixtos conformados por placas, vigas y columnas e incluso para el análisis sísmico traslacional de edificios y los métodos del Portal y Voladizo tan solo proporcionan como resultados los esfuerzos, y ambos deben ser utilizados estrictamente con fines de predimensionamiento o de verificación de esfuerzos por tanto, el método del Portal proporciona mejores resultados que el método del Voladizo cuando el pórtico es achatado, y en ambos métodos debe estimarse primeramente la posición del punto de inflexión en las columnas (Bartolome, 1995).

En cambio, el método de Muto contempla en cierta forma la deformación por flexión de las barras, lográndose mejores resultados que los proporcionados por los métodos

del Portal o Voladizo, pudiéndose incluso obtener los desplazamientos laterales; por lo cual, sus resultados pueden ser empleados para el diseño de los edificios de mediana altura, donde los efectos de la deformación axial son despreciables y en el método de Ozawa se hace uso de fórmulas muy sencillas de programar en calculadoras de bolsillo y puede aplicarse no solo al caso de los edificios de concreto armado, sino también de albañilería, este método no contempla las deformaciones axiales de las barras (sólo flexión y corte), por lo que sus resultados (esfuerzos y desplazamientos) deben emplearse sólo para el diseño de edificaciones de mediana altura (máximo 10 pisos) (Bartolome, 1995).

Análisis Sísmico Traslacional de Edificios Aporticados:

Las fuerzas sísmicas son fuerzas de inercia producidas por el hecho de que los niveles tienen masas, que se ven sujetas a aceleraciones ante la acción de un sismo, cuando el edificio presenta simetría en forma, toda la losa y, por lo tanto, cada diferencial de masa existente en el nivel respectivo, está sujeta a la misma aceleración, debido a que se supone que la losa se traslada una única cantidad, ya que ella se comporta como una plancha axialmente rígida ("Diafragma Rígido") que trata de compatibilizar o uniformizar el desplazamiento lateral de los pórticos orientados en la dirección del movimiento (Bartolome, 1995).

Interacción Pórtico-Placa:

En el Análisis Sísmico Traslacional Manual las dificultades se presentan cuando existen placas cuyas rigideces de entrepiso dependen de la distribución que adoptan las fuerzas laterales, cosa que no ocurre cuando se trabaja matricialmente, en vista que la matriz de flexibilidad lateral de la placa se calcula aplicando cargas unitarias en cada

nivel (distribución única de fuerzas para cada estado de carga), en cambio, como ya se ha mencionado, la rigidez lateral de una columna resulta ser prácticamente independiente de la distribución que adoptan las cargas laterales, por lo que mientras no se conozca la rigidez lateral de la placa no se podrá determinar la fuerza cortante que ella absorbe y viceversa, mientras no se conozca la fuerza cortante que absorbe la placa, no se podrá calcular su rigidez lateral, creándose de esta manera un problema iterativo (Bartolome, 1995).

Corrección por Torsión en un Entrepiso de un Edificio:

Cuando los elementos estructurales de un edificio no están dispuestos simétricamente en planta, o cuando los centros de masas e los distintos niveles no están contenidos en el mismo eje vertical, existirá rotación de la losa del techo, torsionándose el edificio cuando actúe un sismo, es más, en la Norma Sismo-resistente E-030 se especifica que incluso en edificios simétricos cabe la posibilidad de que se presente torsión de carácter accidental, porque los defectos constructivos (cangrejas, por ejemplo) y las variaciones en la posición de la sobrecarga, pueden causar una modificación de la rigidez lateral teórica o un corrimiento del centro de masas, respectivamente, estos problemas se contemplan utilizando una excentricidad accidental, manualmente, la corrección por torsión se realiza analizando cada entrepiso y cada dirección en forma independiente, como si el 100% del sismo actuase en la dirección X-X y 0% en Y-Y y viceversa (Bartolome, 1995).

En el Libro “Diseño Sísmico de Edificios” de los autores Enrique Bazán y Roberto Meli (1999), plantean una explicación de conjunto de la problemática de los efectos sísmicos en los edificios y la manera de diseñarlos para resistir. Trata de los principios

que conducen a definir el sistema estructural idóneo para los edificios y para identificar los aspectos que pueden ocasionar un mal comportamiento sísmico. **Aborda sobre los métodos de análisis estático y dinámico y los requisitos de dimensionamiento y detallado** para que las estructuras tengan el comportamiento sísmico adecuado.

Sostienen que el diseño sísmico de edificios debe seguir las prescripciones del reglamento o código de construcciones de la localidad que los alberga, el primer paso del diseño es el análisis sísmico que permite determinar qué fuerzas representan la acción sísmica sobre el edificio y qué elementos mecánicos (fuerzas normales y cortantes y momentos flexionantes) producen dichas fuerzas en cada miembro estructural del edificio, para este fin, los reglamentos aceptan que las estructuras tienen comportamiento elástico lineal y que podrá emplearse el método dinámico modal de análisis sísmico, que requiere el cálculo de periodos y modos de vibrar, con ciertas limitaciones, se puede emplear el método estático de análisis sísmico que obvia la necesidad de calcular modos de vibración, cualquiera que sea el método de análisis, los reglamentos especifican espectros o coeficientes para diseño sísmico que constituyen la base del cálculo de fuerzas sísmicas (MENDOZA, 16).

Estos investigadores nos presentarán los métodos estático y dinámico dentro del contexto del Reglamento en el Distrito Federal de México, aunque la mayoría de los conceptos son independientes de las disposiciones reglamentarias y pueden emplearse con otros reglamentos de construcción, con variantes menores que reflejan los requisitos correspondientes de tales documentos, principalmente los espectros o coeficientes sísmicos estipulados para cada lugar (MENDOZA, 16).

Análisis sísmico estático:

Sostienen que cualquier estructura podrá analizarse con el método dinámico, pero también está la opción de emplear el método estático para estructuras que no pasen los 60 m de alto. En términos generales su aplicación requiere los siguientes pasos:

- a) Se representa la acción del sismo por fuerzas horizontales que actúan en los centros de masa de los pisos, en dos direcciones ortogonales (MENDOZA, 16).
- b) Estas fuerzas se distribuyen entre los sistemas resistentes a carga lateral que tiene el edificio (muros y/o marcos) (MENDOZA, 16).
- c) Se efectúa el análisis estructural de cada sistema resistente ante las cargas laterales que le correspondan (MENDOZA, 16).

Señalan que las fuerzas cortantes sísmicas en los diferentes niveles de una estructura pueden evaluarse suponiendo un conjunto de fuerzas horizontales que obran sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. En este paso del análisis sísmico hay que tener en cuenta que debido a los efectos dinámicos de la vibración, el momento torsionante que actúa en cada entrepiso se ve en general amplificado y la excentricidad efectiva puede ser mayor que la calculada estáticamente, por otra parte, la determinación del centro de torsión sólo puede efectuarse con pobre aproximación ya que la rigidez de cada elemento particular se altera por agrietamientos locales, fluencias o por la contribución de elementos no estructurales, por las dos razones expuestas, los reglamentos de construcción modernos especifican excentricidades de diseño que, según lo que sea más desfavorable, amplifican o reducen la excentricidad directa para incorporar la naturaleza dinámica de las torsiones sísmicas en cálculos estáticos, además se añade o substraen una excentricidad accidental que considera principalmente incertidumbres en la estimación de masas y rigideces y las componentes

rotacionales de los temblores ignoradas en el análisis y también debemos tener presente que los dos componentes horizontales ortogonales del movimiento del terreno ocurren simultáneamente, aunque es muy improbable que ambos tengan a la vez su máxima intensidad (Pablo, 2010).

Análisis sísmico dinámico:

Este método además de considerar las características de rigidez que se emplean en un análisis estático, incluyen las propiedades inerciales y de amortiguamiento, desde este punto de vista, el análisis dinámico es más preciso porque incorpora explícitamente información ignorada, o a lo más indirectamente considerada, en el análisis estático (Pablo, 2010).

El artículo “Análisis de dos modelos por el método dinámico para el diseño sísmico de edificios” de Arnulfo Luévanos Rojas (2011), nos plantea que para el análisis sísmico de estructuras de edificios se puede recurrir a tres tipos de análisis: método simplificado, método estático y método dinámico, el método simplificado es aplicable a estructuras regulares con altura no mayor a 13 m, que cumplan con los requisitos que indican los reglamentos, el método estático es aplicable a edificios sea menor o igual que 30 m y estructuras irregulares con altura no mayor de 20 m. En terreno rocoso, estos límites se incrementan a 40 y 30 m, respectivamente, el método dinámico consta de los mismos pasos básicos que el estático, con la salvedad de que las fuerzas laterales aplicables en los centros de masas de los pisos se determinan a partir de la respuesta dinámica de la estructuras, pueden emplearse como métodos dinámicos el análisis modal espectral y el análisis paso a paso o cálculo de respuestas ante registros de aceleración específicos (Luévanos Rojas, 2011).

El objetivo de este estudio es presentar un modelo que tome en cuenta las deformaciones por cortante, haciendo una comparación con el modelo tradicional que no considera las deformaciones por cortante, ambos modelos consideran una masa concentrada por cada nivel y un grado de libertad por piso (desplazamiento horizontal por piso) (Luévanos Rojas, 2011).

Propone un modelo por el método dinámico para el diseño sísmico de edificios, el cual considera las deformaciones por cortante, que es una innovación al método tradicional, el cual se utiliza para analizar toda clase de estructuras que están sujetas a movimientos del suelo, esta metodología toma en cuenta las deformaciones por cortante y se hace una comparación con el método tradicional, el análisis se desarrolló para un edificio de cuatro niveles con estructura de acero, el modelo 1, desprecia las deformaciones por cortante y el modelo 2, considera las deformaciones por cortante, en cuanto a los resultados del problema, se observa que el modelo 2 es ligeramente más económico, en cuanto a los elementos mecánicos (Fuerzas axiales, Fuerzas cortantes y Momentos) que actúan sobre cada uno de los miembros de la estructura, por lo tanto, la práctica usual de no tomar en cuenta las deformaciones por cortante, no será una solución recomendable y se propone que se deben de considerar las deformaciones por cortante y además se apega más a las condiciones reales (Luévanos Rojas, 2011).

En ambos modelos se consideran que las vigas son rígidas en comparación a las columnas y por lo tanto no influyen en el análisis por sismo horizontal del edificio, y además considera un grado de libertad por piso que es el desplazamiento horizontal y concluye señalando que se recomienda incluir las deformaciones por cortante en los análisis para diseño sísmico (Luévanos Rojas, 2011).

El artículo “Método simplificado de evaluación sísmica de edificios asimétricos” de los autores A. Gustavo Ayala; Elías A. Tavera y Mauricio Ayala (2002), se presenta un método aproximado de evaluación del comportamiento sísmico de edificios asimétricos.

El método se basa en un análisis no-lineal de empujón, en la reducción de la curva de capacidad a una de comportamiento de un sistema equivalente de un grado de libertad, en el cálculo de su respuesta máxima ante una demanda sísmica considerada y en la transformación de ésta a la correspondiente de la estructura original, en la aplicación del análisis del empujón, la estructura se empuja en dos direcciones ortogonales con fuerzas laterales de distribuciones y proporciones, el potencial del método propuesto para estimar el desempeño sísmico de edificios asimétricos se demuestra al comparar los resultados de dos ejemplos ilustrativos, con los correspondientes a los de análisis dinámicos no lineales paso a paso (Ayala, 2002).

Mencionan, que actualmente para el diseño sísmico se acepta para el análisis el uso de métodos lineales estáticos o dinámicos; sin embargo, estos tipos de análisis pueden ser insuficientes para describir el comportamiento real de estructuras ante fuerzas sísmicas como las producidas por los sismos intensos que definen las acciones de diseño, para lograr lo anterior es necesario usar métodos de análisis dinámico no-lineal paso a paso que, para fines prácticos, no representan la opción más recomendable para el análisis sísmico de estructuras tridimensionales de edificios, ya que son complejos en su concepción y en su uso, este tipo de análisis sólo se justifica para ciertas aplicaciones donde se requieren resultados refinados, como es el caso de investigaciones y/o proyectos especiales (Ayala, 2002).

Proponen un método simplificado de análisis para evaluar el comportamiento sísmico no-lineal de edificios en 3D de varios niveles, en el cual se incluye de manera explícita el efecto de la torsión producida por asimetrías en la distribución de masas y/ o rigideces en sus pisos, este método tiene algunas diferencias importantes con respecto a los procedimientos existentes, como son el empujar la estructura del edificio simultáneamente en dos direcciones ortogonales en consistencia con la acción sísmica, considerar que las distribuciones de las cargas laterales estáticas equivalentes a las sísmicas son las correspondientes a los modos fundamentales laterales de vibrar instantáneos de la estructura y la de fundamentarse en todo momento en conceptos establecidos en la dinámica estructural que permite reducir a la estructura original a un sistema equivalente de un grado de libertad correspondiente al modo fundamental de la estructura (Ayala, 2002).

Para ilustrar este método se estudiaron dos edificios, uno de cuatro y otro de ocho niveles previamente diseñado, para estos diseños se consideran tres valores distintos de excentricidad distribuidos uniformemente en los pisos, como parámetros de respuesta se consideran los valores máximos de desplazamientos laterales de cada nivel, desplazamientos relativos de entrepiso máximos y las demandas máximas de ductilidad en columnas y trabes en los que se concentra el daño estructural, el primer y segundo parámetros describen la respuesta global de una estructura y los terceros se utilizan como los indicadores del daño estructural para representar la respuesta local de los elementos por tanto un resultado importante del análisis del empujón, requerido por el método, es que la curva de capacidad, propiedad estructural, proporciona información acerca de la rigidez inicial, de la rigidez de post-fluencia, de la resistencia de la

estructura y de la evolución del daño hasta el colapso para niveles crecientes de cortante basal, el método propuesto predijo con excelente aproximación el desplazamiento máximo de los niveles superiores, no siendo así para los niveles inferiores donde los desplazamientos obtenidos del análisis dinámico fueron mayores que los del método propuesto (Ayala, 2002).

Asimismo, **Rafael Salinas Basualdo**, en su artículo “Fundamentos del análisis dinámico de estructuras”, plantea: “Los análisis dinámicos se dividen usualmente en: análisis modal espectral, de uso más común, análisis tiempo historia y análisis en el dominio de las frecuencias. También dice q los análisis pueden realizarse considerando un comportamiento lineal fuerza. desplazamiento del material; eventualmente pueden considerarse comportamientos no lineales para los análisis tiempo-historia”. También sostiene, “Los programas de análisis estructurales más comunes no realizan análisis incluyendo efectos de segundo orden (denominado también no linealidad geométrica), es decir, la consideración de esfuerzos adicionales debidos a la modificación de los ejes causada por las deformaciones”.

Manifiesta que las oscilaciones se producen en los elementos o sistemas estructurales debido a que tienen masas, elasticidad y una capacidad de amortiguamiento manifestado en diversas formas, para realizar un análisis de la respuesta de estos sistemas se parte de algunas simplificaciones, con las que se aborda el problema de manera más sencilla y a menudo suficiente para fines prácticos de ingeniería, sin embargo, deben comprenderse las hipótesis iniciales de cada tipo de análisis, pues en ellas están contenidas sus limitaciones y contribuyen a establecer sus campos de aplicación, durante el movimiento de una edificación por la acción sísmica, las

solicitaciones sobre aquella son realmente de dirección diversa, se ha llegado a considerar que el movimiento del suelo tiene seis componentes de movimiento independientes, tres traslacionales y tres rotacionales, dentro de estos componentes, las traslacionales en las direcciones horizontales suelen ser tomadas en cuenta, en forma independiente, para fines de tener condiciones de carga en los análisis, dado que por lo general son los más importantes (Basualdo R. S., 2001) .

En el caso de un pórtico plano, la sola consideración de un movimiento traslacional de la base implicaría la aparición de acciones de inercia traslacionales y rotacionales, sin embargo, los giros ocasionados son relativamente pequeños, por lo que las acciones rotacionales también lo son y prácticamente no influyen en los efectos finales sobre la estructura, tanto a nivel de desplazamiento como de fuerzas internas, por esta razón, se considera una acción de inercia traslacional, por lo que la “fuerza” sísmica tiene, para fines de análisis, un sentido horizontal, e investigador señala, que este modelo presentado, como en el caso de los modelos de cortante en edificios, éste modelo no sería aplicable en el caso de edificaciones altas y esbeltas, donde sí pueden ser apreciables los efectos de las deformaciones axiales de las columnas y los momentos en dirección ortogonal al momento torsor (Basualdo R. S., 2001).

CONSIDERACIONES ACERCA DEL ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO	
ANÁLISIS ESTÁTICO	ANÁLISIS DINÁMICO
Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.	Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral.
El análisis estático reduce las acciones sísmicas a fuerzas estáticas equivalentes y todo el análisis se hace considerando un solo juego de fuerzas aplicado a la estructura estáticamente.	La fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.
El método estático de análisis sísmico obvia la necesidad de calcular modos de vibración.	Se pueden hacer análisis dinámico de un modelo pseudo-tridimensional de bloque cortante con diafragmas rígidos y otro modelo tridimensional considerando losas flexibles.
Se representa la acción del sismo por fuerzas horizontales que actúan en los centros de masa de los pisos, en dos direcciones ortogonales.	El análisis dinámico muestra que debido a la asimetría estructural se generan concentraciones de esfuerzos cortantes que eventualmente producirán agrietamientos de la losa.
Las fuerzas que se analizan se distribuyen entre los sistemas resistentes a carga lateral que tiene el edificio (muros y/o marcos).	el análisis dinámico considera las características o propiedades dinámicas de la estructura en la determinación de las fuerzas sísmicas y en cada efecto particular que desee calcularse
Se efectúa el análisis estructural de cada sistema resistente ante las cargas laterales que le correspondan.	Este método además de considerar las características de rigidez que se emplean en un análisis estático, incluyen las propiedades inerciales y de amortiguamiento.
Debido a los efectos dinámicos de la vibración, el momento torsionante que actúa en cada entrepiso se ve en general amplificado y la excentricidad efectiva puede ser mayor que la calculada estáticamente.	Las fuerzas cortantes sísmicas en los diferentes niveles de una estructura pueden valuarse suponiendo un conjunto de fuerzas horizontales que obran sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas.
La determinación del centro de torsión sólo puede efectuarse con pobre aproximación ya que la rigidez de cada elemento particular se altera por agrietamientos locales, fluencias o por la contribución de elementos no estructurales.	El método dinámico consta de los mismos pasos básicos que el estático, con la salvedad de que las fuerzas laterales aplicables en los centros de masas de los pisos se determinan a partir de la respuesta dinámica de la estructura.
Este método es aplicable a estructuras regulares con altura no mayor a 13 m.	El análisis dinámico es más preciso porque incorpora explícitamente información ignorada, o a lo más indirectamente considerada, en el análisis estático.

Tabla N° 2. Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

La presente investigación analizó los trabajos previos publicados tanto en la Base de datos SCIELO, REDALYC, Libros especializados, Norma E030 Sismorresistente del Perú, Norma NCH433 de Chile, artículos del CISMID, Artículos del IGP, todas investigaciones enfocadas hacia las evaluaciones sísmicas de las edificaciones, publicadas en un rango máximo de 30 años en lo que se refiere a los Libros especializados y en cuanto a artículos científicos en un rango de los últimos diez años, además se consideraron las últimas Normas vigentes tanto del Perú como de Chile en lo que se refiere a sismos. .

Se encontraron 16 investigaciones en total , un (01) Artículo científico de la Base de Datos SCIELO, dos (02) de la Base de Datos REDALYC, tres (03) Libros relacionados a sismos, un (01) Software para estructuras ETABS Versión 2016, dos (02) Normas Técnicas sísmicas E030 (Perú) y NCH433 (Chile), cuatro (04) Artículos científicos del CISMID, dos (02) Artículos científicos del IGP y la página web www.igp.gob.pe, que cumplían con los criterios de selección planteados para el presente Trabajo de Investigación. El objetivo de la investigación fue el cómo establecer una evaluación sísmica a las edificaciones. A destacamos algunos aspectos de los resultados obtenidos, los cuales consideramos importantes para el presente trabajo.

Fueron identificados 15 estudios que guardaban relación con los criterios previos planteados para la presente investigación. Se observa que ha habido una mayor publicación de artículos, a raíz de los últimos sismos que ocasionaron grandes pérdidas en vidas humanas como el de 1960 en Chile (9.4Mw), el de 1964 en Alaska (9.2Mw),

el de 2004 en Sumatra (9.2Mw) y el de 2001 en Arequipa (2001) el de 2007 en Pisco, en el Perú, ambos de magnitud 8.0Mw.

En ese sentido se puede apreciar como la Norma E030 peruana también ha sido actualizada últimamente lo mismo ha sucedido con la Norma NCH433 chilena, Reglamentos que se actualizan a raíz de las nuevas solicitudes sísmicas y comprobaciones sísmicas producto de los efectos del sismo, que hacen que se modifiquen criterios pre establecidos.

En esta investigación observamos muchos estudios e investigaciones sobre sismos, tanto en su parte de análisis teórico como también experimental, buscándose nuevas alternativas para poder evitar que las edificaciones colapsen ocasionado la pérdida d vidas humanas.

CONCLUSIONES

Es así como se puede apreciar en la revisión sistemática realizada, se plantean diversos tipos de estructuras que puedan soportar el efecto sísmico, basándose principalmente en sistemas de muros, sistemas de pórtico o sistema dual para concreto armado, planteando asimismo categoría a los tipos de edificaciones que puedan soportar los eventos sísmicos. Se plantean que se debe de enfocarse en sistemas estructurales reales con su masa y rigidez distribuidas a lo largo de los elementos y a su vez el tipo de análisis sísmico debería de ser considerándose también las deformaciones por cortante, que es una innovación al método tradicional, este método se basa en análisis no-lineal, los cuales nos llevaría a cálculos más precisos. Se plantean el uso de sistemas de aislamiento sísmico de base para poder mitigar los efectos sísmicos, los cuales también están contemplados en nuestra Norma E030 en forma obligatoria para algunos casos. Todos los artículos y estudios plantean que una edificación debe resistir sin daño niveles menores de movimiento sísmico, ante niveles moderados de sismo a lo mucho debe sufrir algún daño no estructural y ante eventos mayores de niveles sísmicos algún tipo de daño estructural y no estructural pero no debe colapsar. Todas las investigaciones se centran en dos tipos de análisis sísmicos: el análisis estático y el análisis dinámico. Señalando que la primera es para algunos tipos de edificaciones, en tanto que la segunda es para cualquier tipo de edificación y mucho más para edificaciones de muchos más niveles.

Asimismo hay investigaciones que proponen un tipo de análisis dinámico de bloque cortante con diafragmas rígidos y otro modelo considerando losas flexibles para poder determinar los reforzamientos necesarios de las estructuras de la edificaciones,

mencionan también el uso del Programa ETAB para sus cálculos, asimismo también presentan soluciones puntuales como se debe reforzar las edificaciones producto de la verificación sísmica modificando las estructuras iniciales de los elementos estructurales.

Todo lo anterior nos lleva a precisar la necesidad de establecer los análisis respectivos para la verificación sísmica en las edificaciones, estos estudios son cada vez mayores y se buscan cada vez aportar nuevos métodos con estudios experimentales. Pero por otro lado también se observa que realmente tan sólo contamos con cálculos probables que van modificándose cada sismo que se presenta. Nuestra limitación en nuestro estudio ha sido que en el Perú pocas instituciones o organismos se dedican al estudio de los efectos sísmicos, esperamos que los estudios se amplíen para poder tener mayores elementos científicos para poder mejorar nuestra investigación. Es muy importante resaltar los aportes del CISMID con estudios muy precisos sobre cálculos en edificaciones reales y su posterior recomendación para su reforzamiento.

RECOMENDACIONES

Podemos establecer a la luz de las investigaciones revisadas, que las edificaciones deben estar sujetas a un análisis sísmico para poder garantizar que estas no fallen y colapsen ante un evento sísmico.

Finalmente podemos recomendar que debemos de aplicar correctamente la Norma E030 para poder tener un diseño estructural adecuado que responda a las solicitaciones sísmicas, ya sea través de un análisis sísmico o un análisis dinámico dependiendo del tipo de edificación, para poder evitar que las estructuras puedan fallar y posteriormente colapsen provocando la pérdida de vidas humanas. De esta manera estaremos cumpliendo con evaluar sísmicamente una edificación en el Perú, a través de un método de análisis que conlleva una metodología para un satisfactorio resultado.

REFERENCIAS

- Ayala, A. G. (2002). Método simplificado de evaluación sísmica de edificios asimétricos. . *Revista de Ingeniería Sísmica*, (67), 1-23.
- Bartolome, A. S. (1995). *Análisis de Edificios*. lima: Fondo Editorial.
- Basualdo, R. S. (2000). *Fundamentos del análisis dinámico de Estructuras*. Obtenido de <http://www.cismid-uni.org/publicaciones/download/2-publicaciones/22->: <http://www.cismid-uni.org/publicaciones/download/2-publicaciones/22->
- Basualdo, R. S. (2001). *Fundamentos del análisis dinámico de estructuras . (Doctoral dissertation, Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de http://bvpad. indeci. gob. pe/doc/pdf/esp/doc2177/doc2177-contenido. pdf)*.
- Bazan, E. (1999). *Diseño Sísmico de Edificios*. Distrito Federal,.
- EDIFICACIONES, R. N. (11 de 02 de 2017). *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES*. Obtenido de <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3406>
- Luévanos Rojas, A. (2011). *Análisis de dos modelos por el método dinámico para el diseño sísmico de edificios. Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 5 (3).
- MENDOZA, C. N. (2007 de Noviembre de 16). *NÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO, DE UNA NAVE INDUSTRIAL CON LAS ESPECIFICACIONES A.I.S.C. MÉTODO L.R.F.D.* Mexico, MÉXICO D. F., MÉXICO D. F.
- Normalización, D. d. (2010 de Julio de 2010). <https://edoc.pub/nch-433-diseo-sismico-de-edificiospdf-pdf-free.html>. Recuperado el 2010 de Julio de 09, de <https://edoc.pub/nch-433-diseo-sismico-de-edificiospdf-pdf-free.html>
- Olarte J., P. R. (s.f.). *Análisis dinámico y técnicas de reforzamiento en estructuras de infraestructura educativa*. Obtenido de <http://www.cismid-uni.org/publicaciones/download/2-publicaciones/65-analisis-dinamico-y-tecnicas-de-reforzamiento-enestructuras->
- Olarte, J. P. (2001). *Análisis Dinámico y Técnicas de Reforzamiento en Estructuras de Infraestructura Educativa. In 2do Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, Madrid-España.*
- Pablo, A. G. (08 de Febreo de 2010). <https://es.scribd.com/doc/27348540/Diseno-por-torsion-sismica-en-estructuras-de-mamposteria>. Obtenido de

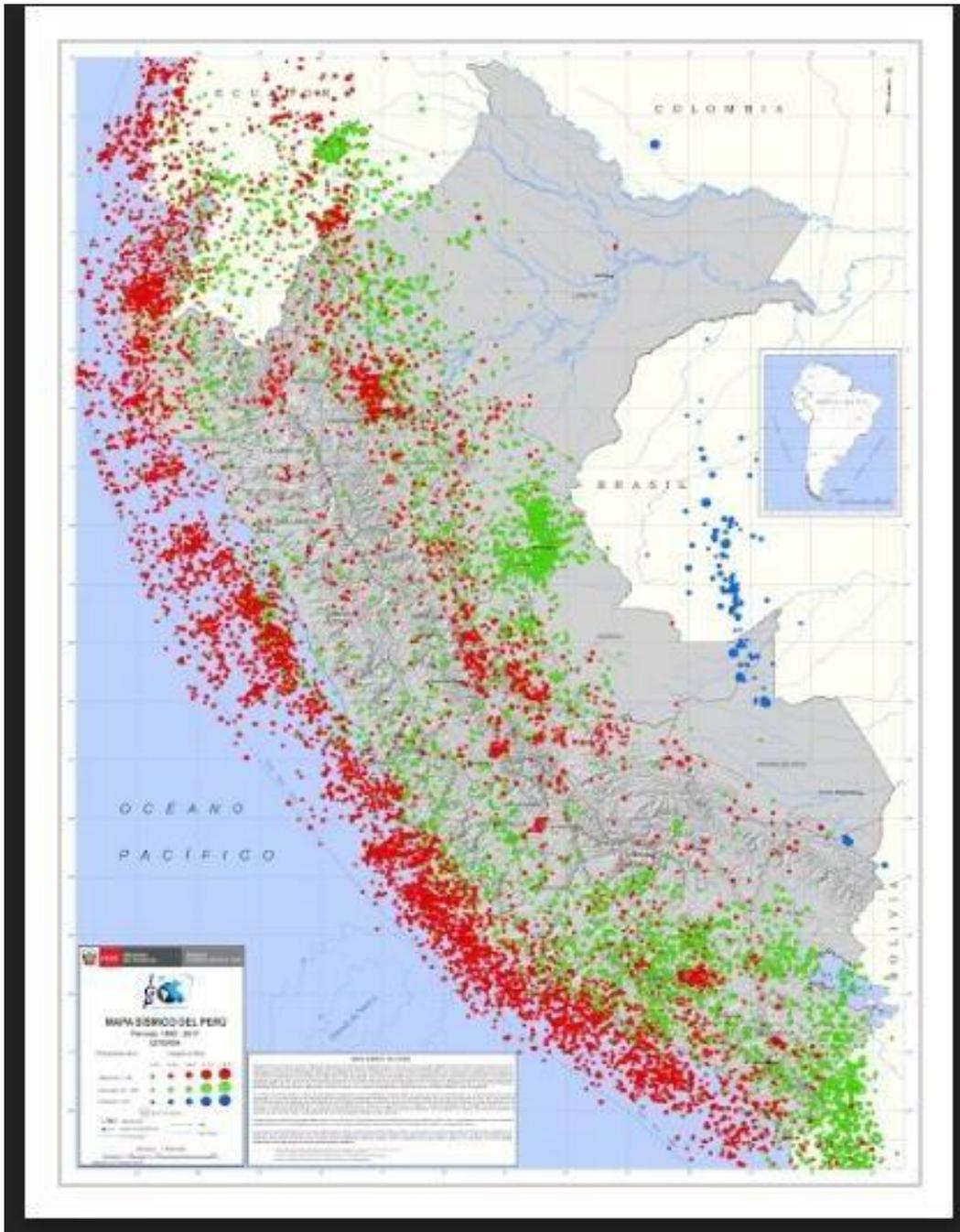
<https://es.scribd.com/doc/27348540/Diseno-por-torsion-sismica-en-estructuras-de-mamposteria>

Pozo, P. d. (1990). Análisis Sísmico de Edificios. En S. Farina, *Análisis Sísmico de Edificios*. Lima: Colección del Ingeniero Civil.

SENSICO. (24 de Enero de 2016). *Diario oficial EL PERUANO*. Recuperado el 24 de enero de 2016, de <https://www.sencico.gob.pe>: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=1930>

Zúñiga Cuevas, O. &. (2012). Control de aceleraciones de entrepiso para sistemas estructurales con aislamiento sísmico de base. *Revista de Ingeniería Sísmica No. 87 25-45* , 25-45.

ANEXOS



Anexo N° 1. Mapa Sísmico del Perú.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Sismos Reportados

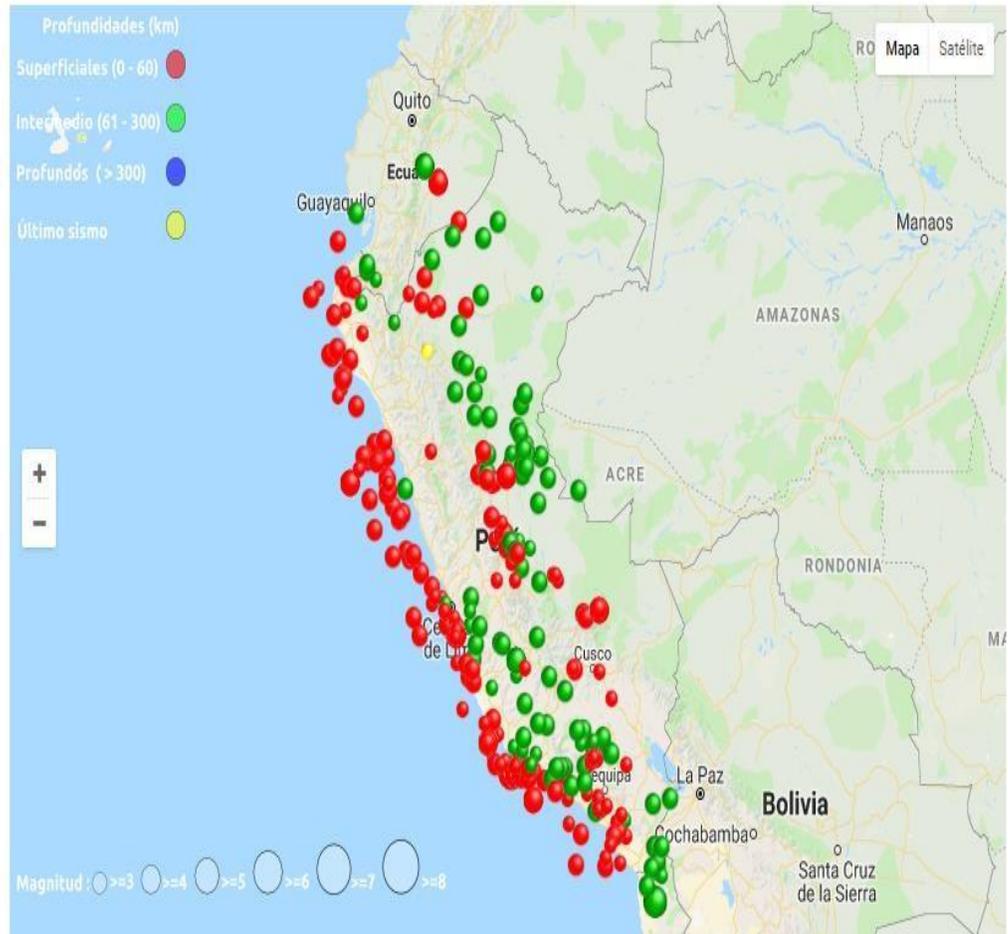
Mapa

Lista

Puede seleccionar a continuación los sismos de los meses que quiere visualizar

Enero	(54)	<input checked="" type="checkbox"/>
Febrero	(36)	<input checked="" type="checkbox"/>
Marzo	(39)	<input checked="" type="checkbox"/>
Abril	(51)	<input checked="" type="checkbox"/>
Mayo	(46)	<input checked="" type="checkbox"/>
Junio	(49)	<input checked="" type="checkbox"/>
Julio	(29)	<input checked="" type="checkbox"/>

 Archivo de mapas con los sismos reportados anualmente



Anexo N° 2. Sismos Reportados en el Perú

Fuente: Instituto Geofísico del Perú