



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS NORMATIVAS DE DISEÑO  
SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA. CASOS DE ESTUDIO:  
COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y CHILE**

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de  
Ingeniero Civil

**Autor:**

Quinatoa Martínez, Jhonny Gabriel

**Tutor:**

Ing. Oscar Cevallos PhD.

**Riobamba, Ecuador. 2022**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo, Jhonny Gabriel Quinatoa Martínez, con cédula de identidad número 060459233-7, autor del proyecto de titulación denominado: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS NORMATIVAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA. CASOS DE ESTUDIO: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y CHILE, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad. Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones. En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Jhonny Gabriel Quinatoa Martínez

C.I.: 060459233-7

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de grado para la evaluación del trabajo de investigación **EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS NORMATIVAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA. CASOS DE ESTUDIO: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y CHILE**, presentado por Jhonny Gabriel Quinatoa Martínez con cedula de identidad 060459233-7. Certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 04 de mayo de 2022.

Ing. Oscar Cevallos, Ph.D.  
**TUTOR**



---

Firma

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS NORMATIVAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA. CASOS DE ESTUDIO: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y CHILE**, presentado por Jhonny Gabriel Quinatoa Martínez con cedula de identidad 060459233-7, bajo la tutoría de Ph.D. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

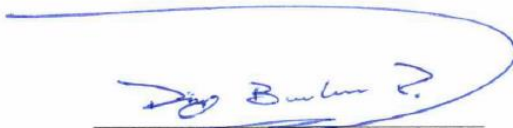
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a 4 de mayo de 2022.

Ing. Jorge Núñez, Mgs  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE  
GRADO – DELEGADO DEL  
DECANO**



Firma

Ing. Diego Barahona, Mgs  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**



Firma

Ing. Diego Hidalgo, Mgs  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **QUINATOA MARTÍNEZ JHONNY GABRIEL** con CC: **060459233-7**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS NORMATIVAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA. CASOS DE ESTUDIO: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y CHILE"**, que corresponde al dominio científico **Desarrollo territorial – productivo y hábitat sustentable para mejorar la calidad de vida** y alineado a la línea de investigación **Ingeniería, construcción, Industria y producción**, cumple con el 0%, reportado en el sistema Anti plagio Urkund del sistema, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 31 de marzo de 2022



El presente certificado es emitido por:  
**OSCAR ALFREDO  
CEVALLOS  
VELASQUEZ**

Ing. Oscar Cevallos, PhD.  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto está dedicado a Dios, quien ha sido mi fortaleza y guía hasta el día de hoy. A mis padres Gabriel y Mariana quienes, con su paciencia, dedicación, amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, les agradezco por inculcar en mí el ejemplo de la perseverancia, valentía y esfuerzo, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo. A mis hermanos William y Mayra por su comprensión, cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso. A toda mi familia porque con sus consejos, oraciones y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona. Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis amigos incondicionales que me acompañaron durante esta travesía, especialmente a Fernando, Santiago, José, Bryan, Darío, Cristhian, Carlita, Karen, Cristina, Yadira y muchos más que siempre creyeron en mi persona.

*Jhonny Gabriel Quinatoa Martínez*

## **AGRADECIMIENTO**

Mi profundo agradecimiento a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida. A toda mi familia por estar siempre presentes y apoyarme en todo momento. Quiero expresar mi gratitud a cada uno de los docentes que con su ejemplo y enseñanzas me han permitido formarme académicamente, especialmente al Ing. Oscar Cevallos por permitirme aprender de sus valiosos conocimientos que me hicieron crecer día a día como profesional, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y su amistad. Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todos mis amigos que me ayudaron y apoyaron en todas mis decisiones e hicieron de mi vida universitaria la mejor etapa de mi vida.

*Jhonny Gabriel Quinatoa Martínez*

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	II
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR.....	III
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL.....	IV
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
CAPÍTULO I.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
CAPÍTULO II.....	15
3. MARCO TEÓRICO .....	15
3.1. RIESGO SÍSMICO EN AMÉRICA DEL SUR .....	15
3.2. FUNCIÓN DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE .....	16
3.3. CÓDIGOS SÍSMICOS EN ESTADOS UNIDOS.....	16
3.4. CÓDIGOS SÍSMICOS VIGENTES EN AMÉRICA DEL SUR .....	17
CAPÍTULO III .....	19
4. METODOLOGÍA.....	19



CAPÍTULO IV .....	21
5. RESULTADOS .....	21
5.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA .....	21
5.1.1. Colombia.....	21
5.1.1.1. <i>Requisitos Sísmicos para Edificios. AIS-100-81</i> .....	21
5.1.1.2. <i>Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. CCCSR-1984</i> .....	22
5.1.1.3. <i>Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98</i> .....	23
5.1.1.4. <i>Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-10</i> .....	25
5.1.2. Ecuador .....	27
5.1.2.1. <i>Código Nacional de Construcciones de 1951</i> .....	27
5.1.2.2. <i>Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC-1977</i> .....	28
5.1.2.3. <i>Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC-2001</i> .....	31
5.1.2.4. <i>Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-2015</i> .....	33
5.1.3. Perú .....	35
5.1.3.1. <i>Reglamento Nacional de Construcciones. RNC-1970</i> .....	35
5.1.3.2. <i>Reglamento Nacional de Construcciones. RNC-1977</i> .....	37
5.1.3.3. <i>Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-1997</i> .....	39
5.1.3.4. <i>Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2003</i> .....	41
5.1.3.5. <i>Actualización al código de diseño sísmico vigente: NTE E.030-2018</i> .....	42
5.1.4. Chile .....	44
5.1.4.1. <i>Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. 1928</i> .....	44
5.1.4.2. <i>Norma Chilena NCh 433 Of.72: Cálculo antisísmico de edificios.</i> 45	
5.1.4.3. <i>Norma Chilena NCh 433 Of.93: Diseño sísmico de edificios</i> .....	46
5.1.4.4. <i>Norma Chilena NCh 433 Of.96: Diseño sísmico de Edificios</i> .....	47
5.1.4.5. <i>NCh 433 Of.96 Modificada en 2009: Diseño sísmico de Edificios</i> 48	
5.1.4.6. <i>NCh 433 Of.96 Modificada en 2012: Diseño sísmico de Edificios</i> 49	
5.2. Instituciones encargadas de desarrollar, actualizar y aprobar los códigos sismo resistentes. ....	50
5.3. Matriz de principales motivos para la creación o actualización de códigos. ....	51
5.4. Número de actualizaciones de códigos sismo resistentes. ....	54

5.5. Evolución de fórmula de la aplicación de una fuerza en la base de la estructura....	56
5.6. Principales retos y actualización que deberían abordar las normativas sismo resistentes de Colombia, Ecuador, Perú y Chile. ....	58
CAPÍTULO V .....	60
6. Conclusiones.....	60
7. Recomendaciones .....	61
8. Bibliografía.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Riesgo sísmico en América del Sur (Izq.) Colombia, Ecuador y Perú (Der.) ....	15
<b>Figura 2:</b> Mapa conceptual de metodología usada en investigación.....	20
<b>Figura 3:</b> Portadas de los códigos de construcción de 1984 y 1998.....	23
<b>Figura 4:</b> Portada de la NSR-10 y su mapa de zonificación sísmica.....	26
<b>Figura 5:</b> Portada de Códigos de Construcción de 1951 .....	28
<b>Figura 6:</b> Portada de Códigos de Construcción de 1976 y 1978 .....	30
<b>Figura 7:</b> Mapa de zonificación sísmica del CEC 2001 .....	32
<b>Figura 8:</b> Mapa de zonificación sísmica del CEC 2001 y NEC-SE-DS 2015.....	35
<b>Figura 9:</b> Mapa de regionalización sísmica 1970, mapa de zonificación sísmica de 1977 y de 1997.....	40
<b>Figura 10:</b> Mapa de zonificación sísmica 2003(2006), 2014 y 2016 (2018) .....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Códigos de diseño sismo resistente vigentes en países de estudio.....	50
<b>Tabla 2:</b> Principales motivos para la creación y actualización de normativas sismo resistentes .....	51
<b>Tabla 3:</b> Motivos de actualización de códigos sismo resistentes. ....	54
<b>Tabla 4:</b> Creación y actualización de códigos sismo resistentes por año. ....	55
<b>Tabla 5:</b> Evolución de diferentes parámetros para el cálculo sismo resistente dispuesto en las normativas.....	56
<b>Tabla 6:</b> Estado de actualización de capítulos de la NEC .....	58

## **RESUMEN**

Colombia, Ecuador, Perú y Chile se encuentran ubicados en el Cinturón de Fuego del Pacífico. Dicha ubicación los convierte en países con un nivel de amenaza sísmica alta. A mediados del siglo XX, la respuesta de estos países a dichos eventos naturales fue la creación de normas de construcción para el diseño sísmo resistente de las estructuras. Los códigos de peligro sísmico se basaban principalmente en la aplicación de una fuerza en la base de la estructura para simular el sismo de diseño. Dicha hipótesis fue planteada en diversos códigos internacionales y adaptada a la necesidad de cada territorio. El presente documento muestra la evolución histórica de las normas referentes al peligro sísmico, diseño sísmo resistente, de Colombia, Ecuador, Perú y Chile, analizando el motivo de su creación, actualización y cuáles fueron las principales variables al momento de calcular la fuerza ejercida sobre las estructuras. Dicho objetivo se logró mediante la búsqueda de información en documentos oficiales, artículos científicos, entre otros, para posteriormente crear una matriz cronológica de acontecimientos históricos y cambios que atravesó cada reforma. Como resultado de la investigación, se obtiene el número de actualizaciones de cada normativa, el motivo de la reforma y la evolución del proceso de cálculo del cortante basal, carga reactiva y derivas de piso. Además, se presentan los principales retos y actualizaciones que se deberían enfrentar e implementar para la creación de los nuevos códigos.

**Palabras claves:** evolución, sismo, normas, actualización, estructuras, construcción.

## ABSTRACT

Colombia, Ecuador, Peru and Chile are located in the Pacific Ring of Fire. This location makes them countries with a high level of seismic hazard. In the mid-twentieth century, the response of these countries to these natural events was the creation of construction standards for the earthquake-resistant design of structures. Seismic hazard codes were primarily based on the application of a force at the base of the structure to simulate the design earthquake. This hypothesis was raised in various international codes and adapted to the needs of each territory. This document shows the historical evolution of the regulations referring to seismic hazard, earthquake resistant design, of Colombia, Ecuador, Peru and Chile, analyzing the reason for its creation, updating and what were the main variables when calculating the force exerted on it. the structures. This objective was achieved by searching for information in official documents, scientific articles, among others, to later create a chronological matrix of historical events and changes that each reform went through. As a result of the investigation, the number of updates of each regulation, the reason for the reform and the evolution of the calculation process of the base shear, reactive load and floor drifts are obtained. In addition, the main challenges and updates that should be faced and implemented for the creation of the new codes are presented.

**Keywords:** evolution, earthquake, standards, updating, structures, construction.



Firmado electrónicamente por:  
**ANA ELIZABETH  
MALDONADO LEON**

Reviewed by:

Ms.C. Ana Maldonado León

ENGLISH PROFESSOR

C.I.060197598

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

El origen de los terremotos ha sido asignado a causas muy diferentes a lo largo de la historia. En muchos casos, estas explicaciones han estado estrechamente vinculadas a las costumbres o las creencias religiosas de los diferentes pueblos y han sido atribuidas a la acción de los dioses (como, por ejemplo, a Poseidón en la Teogonía griega), o a la lucha entre deidades maléficas y protectoras. Tampoco han faltado intentos de explicación más científica como los debidos a algunos filósofos presocráticos (S. V a.C.) y a Aristóteles (S. IV a.C.), quien consideraba que los terremotos eran producidos por masas de aire caliente que intentaban escapar del interior de la Tierra (Herraiz, 1997).

El cinturón Circumpacífico, es un conjunto de fronteras de placas tectónicas ubicado en el Pacífico. Además, la zona concentra actividad volcánica constante. En esta zona, las placas de la corteza terrestre se hunden a gran velocidad (varios centímetros por año) y a la vez acumulan enormes tensiones que deben liberarse en forma de sismos. El recorrido del temido "Cinturón de Fuego del Pacífico" comprende a Chile, Perú, Ecuador, Colombia, entre otros. Los mayores sismos registrados en toda la historia escrita de la humanidad tuvieron su origen precisamente en algún lugar de su recorrido (Martínez, 2015).

Es por ello por lo que las normas sísmicas tienen el objetivo de proporcionar recomendaciones y lineamientos para el diseño de edificaciones seguras ante la ocurrencia de dichos eventos. Las normas constituyen una manera de sistematizar la incorporación del conocimiento en la práctica ingenieril. Es una vía esquemática de plasmar los avances del conocimiento en temas relacionados con la amenaza sísmica, la respuesta y vulnerabilidad estructural, en una compilación de reglas. A medida que el conocimiento va avanzando, las normas requieren revisión, actualización y renovación periódica, a fin de mantener su aplicabilidad (Lafuente et al., 2014).

En América Latina, ya desde los años 40 del siglo XX, se pusieron en práctica ciertas previsiones para el diseño sísmico. Para los años 50, ya se elaboraban mapas con datos de sismicidad histórica en algunos países de la región. A finales de la década de los 80, la mayoría de los países de la región contaban con normas o requisitos formales de diseño sismorresistente de edificaciones. Actualmente, la revisión y actualización de las normas vigentes es una tarea continua que deben realizar los distintos países de la región. Sin embargo, las fortalezas institucionales, el desarrollo de las normas y la efectividad con que se aplican, difieren de un país a otro. La situación es muy variable en la región, y en numerosos países, todavía la información disponible para determinar la amenaza sísmica es escasa y/o poco confiable (Lafuente, 2014).

Hoy en día, las universidades encargadas de formar Ingenieros Civiles brindan dentro de su malla curricular cátedras relacionadas al estudio, entendimiento y aplicación de las normas de diseño sismo resistente vigentes en su país, pero poco o nada se enseña acerca de

los orígenes de dichos códigos. Para citar un ejemplo, hasta la fecha de publicación de este proyecto, la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC – 15 lleva vigente siete años, es decir, no ha existido ninguna actualización desde el año 2015 y tampoco se ha informado el porqué de la falta de renovación del código. Es por ello que se creó un documento en el cual se aborda de manera cronológica los diferentes acontecimientos históricos que han causado la creación y/o actualización de las normas de diseño sismo resistente en países como Colombia, Ecuador, Perú y Chile; además incluye detalles sobre las instituciones encargadas de la renovación y aprobación de dichos códigos, con la finalidad de responder al lector diferentes incertidumbres acerca del porqué no se reforma el código, bajo que parámetros suelen renovarse y que debe suceder para que las autoridades pertinentes decidan realizar la actualización. Además de que se pretende contribuir en el tema de la revisión histórica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la evolución histórica de las normativas de diseño sismo resistente en América Latina mediante la investigación de los principales eventos ocurridos en Colombia, Ecuador, Perú y Chile para conocer los cambios que atravesaron los códigos de diseño desde su creación hasta la fecha actual.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

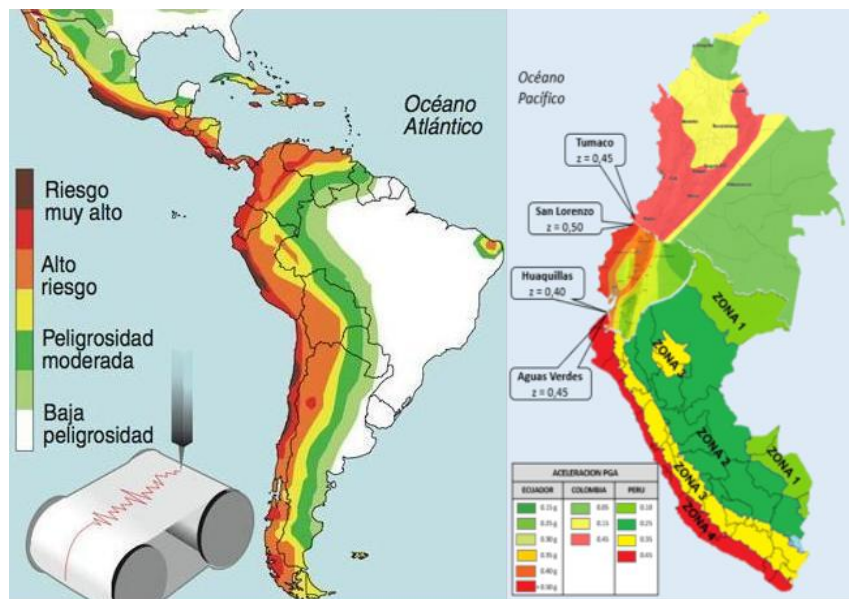
- Buscar cuales son las instituciones encargadas de desarrollar, aprobar, expedir y actualizar las normas de diseño sismo resistente en Colombia, Ecuador, Perú y Chile.
- Investigar que acontecimientos tuvieron lugar en los territorios de estudio mediante una minuciosa revisión en documentos oficiales para elaborar una cronología de eventos y su relación con las diferentes actualizaciones que han atravesado los códigos de diseño sismo resistente en cada país.
- Comparar las principales consideraciones de diseño sismo resistente reformadas en cada actualización para conocer cuál fue su proceso de evolución en los países de estudio.

## CAPÍTULO II

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. RIESGO SÍSMICO EN AMÉRICA DEL SUR

La costa oeste de América del Sur es un límite importante de placas tectónicas que convergen produciendo un fenómeno de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana. La geometría del contacto entre las placas varía a lo largo de la costa occidental provocando una tasa de convergencia variable en cada país, por ejemplo, el desplazamiento aproximado de la placa es 60 mm al año en el centro de Perú mientras que al norte de Chile su desplazamiento es de 70-80 mm al año (Candia et al., 2018). Esta acumulación de energía tiene el potencial para producir grandes terremotos. Evidencia de ello son los terremotos del siglo pasado que han causado daños importantes y la pérdida de vidas humanas, especialmente los terremotos de 1906 de  $M_w = 8.4$  en Ecuador, el terremoto de Chile de  $M_w = 9.5$  en 1960, el terremoto de Perú de  $M_w = 7.9$  en 1970, el terremoto de Colombia de  $M_w = 7.1$  en 1987, entre otros (Petersen et al., 2018). El riesgo sísmico en América Latina se identifica bajo diversos niveles de amenaza sísmica tal y como se muestra en la **Figura 1**.



**Figura 1:** Riesgo sísmico en América del Sur (Izq.) Colombia, Ecuador y Perú (Der.)  
**Fuente:** USGS, NSR-10, NEC-15 y E.030

Eventos sísmicos como los citados previamente han dejado en manifiesto la necesidad de contar con métodos de diseño sismo resistente que, si bien algunas disposiciones comenzaron de manera empírica a mediados del siglo XVIII, actualmente se ha logrado un gran progreso en la mejora de los códigos sísmicos. Durante muchos años, tres hipótesis que se describen más adelante permitieron diseños basados en un análisis estático-lineal con fuerzas reducidas, hoy son reconocidos como racionales y apropiados para la mayoría de los códigos actuales en el mundo y son la base para comprender, predecir

y regular la respuesta estructural. Tal como se describe en el SEAOC (SEAOC Seismology Committee, 2008), estas hipótesis son:

- Esperar un comportamiento no lineal o inelástico, pero los diseños pueden analizarse con procedimientos lineales.
- Esperar una carga cíclica, pero las estructuras pueden diseñarse para cargas monotónicas.
- Las deformaciones reales excederán en gran medida las predichas por el análisis lineal con fuerzas reducidas, pero los valores reales pueden aproximarse como múltiplos de los resultados del análisis lineal.

### **3.2. FUNCIÓN DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE**

Las normas sísmicas proporcionan recomendaciones y requerimientos para la construcción de estructuras seguras ante la ocurrencia de sismos, constituyéndose como una manera de sistematizar la incorporación de los avances del conocimiento en temas adherentes con la amenaza sísmica, su respuesta y vulnerabilidad estructural en la práctica ingenieril. Para mantener su aplicabilidad, estos reglamentos requieren de una revisión, actualización y renovación periódica (Lafuente et al., 2014).

### **3.3. CÓDIGOS SÍSMICOS EN ESTADOS UNIDOS**

Para los ingenieros en California, la historia se remonta al terremoto de San Francisco en 1906, en este año las recomendaciones de diseño sísmico se basaban en aplicar una carga de viento de 30 *psf* a la elevación del edificio para estructuras de más de 100 pies o más de tres veces la longitud mínima del mismo, con el tiempo esta se redujo a 15 *psf*. El Uniform Building Code (UBC) en su primera publicación en 1927 propuso un método en donde la fuerza sísmica se consideraba como un porcentaje de la carga muerta aplicada como carga lateral en sus dos direcciones ortogonales. A mediados de 1940, el porcentaje utilizado varió entre el 2% y el 8%. En 1959, el Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California (SEAOC) publicó por primera vez la “Recommended Lateral Force Requirements”, también conocido como Blue Book. Desde su primera edición hasta los años 70, el Blue Book fue el principal precursor de la UBC. Luego del terremoto de San Francisco en 1971, la SEAOC creó el Applied Technology Council (ATC), su primera publicación conocida como ATC 3-06 la cual fue financiada por la National Science Foundation (NSF) y la National Bureau of Standards (NBS) (ahora NIST), se presentó en 1978 y pasó a formar parte del UBC de 1988 y del Blue Book de 1988. Las disposiciones consideradas en el UBC de 1988, Blue Book y ATC3-06 marcaron una nueva generación de códigos de diseño reconociéndolas como la base de las disposiciones contemporáneas a nivel nacional e internacional (Diebold et al., 2008).

Desde 1985 las disposiciones de la National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) desarrollado por The Building Seismic Safety Council (BSSC) bajo el patrocinio de The Federal Emergency Management Agency (FEMA) son hasta la actualidad los



recursos principales para las disposiciones sísmicas en el país cuyo desarrollo se remonta al documento histórico ATC 3-06 de 1978 (SEAOC Seismology Committee, 2008).

En la actualidad, las diferentes agencias como NEHRP, FEMA, National Institute of Standards and Technology (NIST), NSF, United States Geological Survey (USGS), ATC, BSSC, ASCE, entre otros, continúan trabajando de manera individual o colectiva para mejorar el diseño sismo resistente.

### **3.4. CÓDIGOS SÍSMICOS VIGENTES EN AMÉRICA DEL SUR**

#### **Colombia**

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) es el ente encargado de fomentar, desarrollar y actualizar el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR). La norma es elaborada por un comité técnico especializado del AIS por encargo de la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistente (ente creado en 1997 con fines consultivos para el Gobierno Nacional y adscrita al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). Dicha norma, después de ser aceptada por la Comisión, pasa a discusión pública con la participación de consultores, instituciones y universidades nacionales para finalmente ser oficializada. La AIS se funda el 6 de diciembre de 1974 con el objetivo fomentar y mejorar las ciencias y técnicas relativas a la ingeniería sísmica, velar que el ejercicio profesional se base en el cumplimiento normativo, realizar investigaciones, entre otras funciones. Actualmente rige en el país el *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* que entró en vigor el 15 de julio del 2010 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010).

#### **Ecuador**

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), es el ente rector de hábitat y vivienda a nivel nacional, entre sus funciones tiene la elaboración y actualización de todos los capítulos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), principalmente el eje de Seguridad Estructural (SE). El capítulo “Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente” también conocido como NEC-SE-DS se elabora en conjunto con la Cámara de la Industria de la Construcción, el sector privado y representantes de instituciones académicas. Para la actualización del capítulo, primero se elabora un anteproyecto, este se somete a revisión por un comité técnico especializado para posteriormente, ser aprobado por el Comité Técnico y Ejecutivo previo a la expedición y publicación en el registro oficial (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). El MIDUVI se crea en 10 de agosto de 1992 mediante Decreto Presidencial con el fin de planificar, dirigir y ejecutar programas de vivienda y desarrollo urbano. En la actualidad rige en el país la *NEC-SE-DS Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente*. Su última actualización y posterior publicación en el Registro Oficial se dio el 10 de enero del 2015.

## Perú

El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) es la entidad encargada de la elaboración de las Normas Técnicas de Edificación (NTE) del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Dichas normas se elaboran por comités técnicos especializados conformado por diversos representantes de la industria dando prioridad a universidades, institutos, consultores reconocidos del país, entre otros. Elaborado el proyecto, este es sometido a discusión pública y, finalmente, aprobada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. SENCICO inicia como una institución el 26 de octubre de 1976 con el fin de brindar capacitaciones en diferentes ciudades del país, actualmente es la encargada de la formación de trabajadores en el sector constructivo, la educación superior no universitaria, desarrollo de investigaciones, entre otros. Cuenta con 11 sedes zonales, seis escuelas superiores técnicas y nueve laboratorios de ensayo de materiales (SENCICO, 2016). Actualmente rige en el país la *NTE E.030 Diseño sismo resistente*, aprobada el 22 de octubre del 2018 y la *NTE E.031 Aislamiento sísmico* aprobada por primera vez el 6 de noviembre del 2019.

## Chile

El Instituto Nacional de Normalización (INN) es el organismo técnico encargado de elaborar, revisar, actualizar, republicar y adoptar las distintas Normas Chilenas (NCh). Principalmente, la elaboración o modificación de la norma es asignado a la división de Normas del INN, creándose un Comité constituido por representantes de organizaciones, universidades y personas naturales. Eventualmente es sometida a discusión pública antes de ser aprobada por el Consejo del INN para su posterior oficialización por el Ministerios de Vivienda y Urbanismo (MINVU). El INN es una fundación de derecho privado, sin fines de lucro, creada en 1973 por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) como organismo técnico en materiales de la infraestructura de la calidad. La *Norma Chilena de Diseño Sísmico de Edificios* (NCh 433) es actualmente el documento regulatorio en el país cuya última actualización se dio en el 2012. Chile cuenta además con la norma NCh 2369 o *Norma Chilena para Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales* y la NCh 2745 *Norma Chilena para el Análisis y Diseño Sísmico de Edificios con Aislación sísmica* cuya primera publicación tuvo lugar en el 2003 (Instituto Nacional de Normalización, 2021).

## CAPÍTULO III

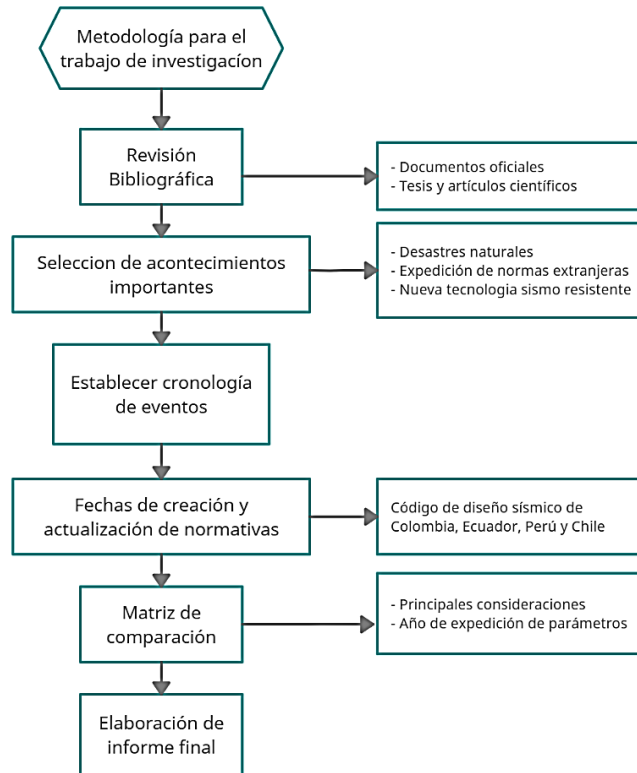
### 4. METODOLOGÍA

El presente tema de estudio utiliza una metodología del tipo explicativo – comparativo puesto que se desea investigar que acontecimientos promovieron los cambios en los códigos de diseño sísmico, además es comparativo ya que se pretende realizar una matriz de comparación donde se tomarán las consideraciones más relevantes identificadas en los códigos de diseño sismo resistente de los países de estudio.

Según su ubicación temporal, el método de investigación es histórico ya que, debido a la poca información disponible sobre acontecimientos que promulgaron la reforma de un código de diseño sísmico, se utilizará fuentes de información primarias y secundarias. Además, el documento posee un enfoque de investigación documental ya que se empleará libros, documentos oficiales y otras fuentes documentales.

Una vez conocida la metodología a usarse en el trabajo, se comienza con la búsqueda de información sobre eventos históricos relevantes en Colombia, Ecuador, Perú y Chile, estos podrían ser desastres naturales o aparición de normas extranjeras cuya influencia generó la iniciativa de tener sus propios documentos legales para la construcción, entre otros. Posteriormente, uno a uno será ordenado de manera cronológica por país de estudio. Luego se procederá a encontrar en documentos oficiales las fechas en las cuales cada país desarrolló, aprobó, expidió y actualizó las diferentes normas de diseño sísmico para establecer una relación en cuanto a la fecha de actualización del código con los acontecimientos históricos previos al mismo.

Finalmente, se realizará una matriz de comparación entre las principales consideraciones y criterios de análisis correspondientes a las normas de diseño sismo resistente utilizadas en la construcción que, en aquella época fueron tomadas y con ello poder evidenciar cronológicamente la evolución de dichos parámetros para entender el motivo de su cambio y contrastar las normas técnicas de estudio vigentes con las anteriores. Dicha metodología se resume en la **Figura 2**.



**Figura 2:** Mapa conceptual de metodología usada en investigación  
**Elaborado por:** Jhonny Quinatoa

Las fuentes bibliográficas tomadas para este proyecto de revisión son principalmente de las páginas oficiales de los ministerios de vivienda de cada país, las diferentes normas técnicas publicadas en sus años de actualización seguido de diferentes artículos científicos, libros y publicaciones de diversos catedráticos reconocidos en su país de origen. Un total de 66 referencias bibliográficas fueron citadas en el documento con la finalidad de entregar al lector un cierto grado de confianza en la investigación presentada.

## CAPÍTULO IV

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE EN AMÉRICA LATINA

##### 5.1.1. Colombia

Formalmente, la sismología contemporánea en Colombia nace con la llegada del padre Jesús Emilio Ramírez en 1940 al finalizar sus estudios de doctorado en la Universidad de Saint Louis en Estados Unidos. Años después fundó el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos adscrito a la Universidad Javeriana. Además, colaboró en diferentes eventos relacionados a la ingeniería sísmica. En 1972 se llevaron a cabo cursos de postgrado en Ingeniería Civil con temas relacionados a la sismología, cuyo inicio de manera formal se dio en 1974. En 1973 se organizaban eventos por parte de la Universidad de los Andes con la presencia de eminencias en el campo de la ingeniería sísmica como el profesor Nathan Newmark de la Universidad de Illinois, Robert Withman del M.I.T., entre otros. Para estos años, Colombia aún no se disponía de un reglamento para el diseño sismo resistente en su territorio.

##### 5.1.1.1. *Requisitos Sísmicos para Edificios. AIS-100-81*

En 1974, tras varios intentos por parte del Ingeniero Alberto Sarria, se funda en la Universidad de los Andes la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) que, en 1975 pasaría a ser un ente externo e independiente. El AIS realizó aportes significativos a la ingeniería sísmica colombiana, como la traducción y distribución en español de códigos sismo resistentes internacionales como es el caso del SEAOC, ATC-3 en 1979, el mismo año coincidió con la ocurrencia del sismo de  $M_W = 7.2$  en el centro del país. Estos trabajos y otros adicionales se consideraron como la base para el inicio del diseño sismo resistente en Colombia (Niglio & Valencia, 2013).

Mediante el estudio del documento ATC-3, se comprendió que era posible adaptarla a la realidad nacional ya que la formulación del riesgo sísmico era transportable a lugares diferentes a California. Posterior a 1980, se publica la primera norma sísmica por parte del AIS titulada “*AIS-100-81. Requisitos Sísmicos para Edificios*”, la cual no fue de uso obligatorio en el país. Dicho documento contó con la colaboración de la Universidad de Illinois (Urbana. Champaign), la Universidad de los Andes (Bogotá) e investigadores estadounidenses que desarrollaron el ATC-3 (AIS, 1998).

Entre los principales aspectos considerados por el AIS 100-81 fue el mapa perfeccionado de zonificación del país, el cual incluyó métodos estadísticos. Dicho mapa se basó en la tesis de pregrado de José Alejandro Atuesta (González Pinzón, 2014). La aceleración máxima del suelo " $A_a$ " era  $0.30 * g$  y la mínima  $0.00 * g$ ; su mapa de

isoaceleraciones se realizó para estructuras con una vida útil de 50 años y una probabilidad de excedencia del 10%.

### 5.1.1.2. *Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. CCCSR-1984*

El 31 de marzo de 1983, un sismo de  $M_w = 5.6$  a una profundidad de 12 kilómetros se produjo en Popayán, departamento del Cauca donde, según el Servicio Geológico Colombiano (SGC) fallecieron aproximadamente 250 personas, 1.500 resultaron heridos, 4.964 viviendas resultaron destruidas y 13.796 con daños muy graves. Las principales consecuencias se presentaron en Popayán al existir daños considerables en estructuras de uno y dos pisos, particularmente en construcciones de mampostería estructural. A raíz de este evento, el Gobierno Colombiano expidió la Ley 1983, la cual establecía las pautas a seguirse en la reconstrucción de esta ciudad y en diferentes sitios afectados por el terremoto. Se introdujo además una ley que autorizaba al Gobierno a emitir disposiciones de construcción “antisísmica” y lo facultaba para que pueda ser aplicada en todo el territorio.

Así, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, con la asesoría de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (Cuerpo Consultivo del Gobierno), encomendó la elaboración del aspecto técnico de la norma a la AIS. La nueva normativa posteriormente pasaría a revisión por diferentes instituciones afines a la rama y a discusión pública donde intervendrían numerosos ingenieros, la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), representantes de las universidades, entre otros. Finalmente, el 7 de junio de 1984 mediante Decreto N. 1400, el presidente adoptaba el nuevo código titulado “*Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes*” y siendo de uso obligatorio en todo el país (AIS, 1998). Dicho documento se basó en la traducción del ACI-318 de 1977.

#### **Principales modificaciones**

El *CCCSR-84* propuso que toda edificación debe resistir una fuerza horizontal en la base de  $V = C_s * W$ , donde  $C_s$  se define como coeficiente de diseño sísmico expresado como  $C_s = \frac{S_a}{R}$ , “ $W$ ” representa el peso total del edificio más un 25% de la carga viva adicional, en el caso de analizarse estructuras destinadas a bodegas o almacenaje.

El coeficiente  $S_a = \frac{1.2 * A_p * S * I}{T^{2/3}}$  representa la máxima aceleración horizontal, como fracción de la gravedad. El país se divide en tres zonas sísmicas: de riesgo alto, riesgo intermedio y un riesgo bajo. La norma de 1984 muestra dos mapas adicionales al igual que el primer código del ATC 3-06, el uno para valores de la aceleración máxima efectiva EPA “ $A_a$ ” y el otro representa los valores de la velocidad máxima efectiva EPV  $A_v$ , los cuales permiten la construcción de un espectro de diseño para cualquier parte del país, dichos valores están definidos para siete zonas, asignando un valor desde  $0.00 * g$  para un nivel de amenaza sísmica baja hasta un valor de  $0.30 * g$  para un nivel de amenaza sísmica alta. Ambos valores definen el sismo de diseño con un 10% de probabilidad de que sea excedido en 50 años.

El coeficiente de sitio "S" se clasifica desde una roca firme con  $S_1 = 1.0$ ,  $S_2 = 1.2$  para suelos intermedios y  $S_3 = 1.4$  para suelos deficientes. Se aplica un factor de amplificación de importancia "I" según el tipo de estructura (I, II o III) asignando un valor de 1.0, 1.1, y 1.2, respectivamente, según el uso de la estructura, entendiéndose como tipo III a una estructura esencial, tipo II a escuelas, colegios, etc. y tipo I a todas las demás. El periodo de la estructura se calcula con la ecuación  $T = 0.08 h_n^{3/4}$  donde  $h_n$  es la altura total del edificio conformado por pórticos de concreto o aceros resistentes a momentos, y para diferentes sistemas se tiene una fórmula en particular. El código cuya portada se muestra en la **Figura 3**, reconoce tres sistemas estructurales resistentes a la fuerza lateral: pórticos especiales, muros estructurales y sistemas duales. Para cada sistema, la norma asigna un factor de reducción "R" y un factor de amplificación al desplazamiento lateral " $C_d$ " dependiendo de la zona de riesgo sísmico y el material constructivo. La deriva de piso se calcula multiplicando los desplazamientos elásticos por el factor de amplificación " $C_d$ ", es decir  $\delta_i = C_d * \delta_{se}$ . Al tratarse de estructuras de concreto reforzado evaluadas con su inercia agrietada, debe multiplicarse por 0.70 al valor  $C_d$ , dicho producto no puede ser menor a 2. La deriva máxima de piso no puede exceder el 1.5% (Paz, 1994, Chapter 12).



**Figura 3:** Portadas de los códigos de construcción de 1984 y 1998

Fuente: CCCSR-84 y NSR-98

### 5.1.1.3. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98

En junio de 1997, el CCCSR-84 cumplió 13 años regulando las construcciones en el país, cuya aceptación y cumplimiento ha sido positivo. Sin embargo, la normativa requería de su actualización debido a varias razones, entre ellas, los códigos que sirvieron de base a la norma de 1984 sufrieron cambios como el AISC y el ACI 318 (en 1989 y 1995). A esto se añade nuevas investigaciones, la inclusión de consideraciones y criterios importantes que en aquella época aún no se encontraba bien fundamentada. A partir de estos antecedentes se vio la necesidad de actualizar la normativa (Gómez Cano & Farbiarz Farbiarz, 2005).

Diferentes características sobre los sismos ocurridos en territorio colombiano en el periodo comprendido entre 1979 y 1984 aún continuaban siendo motivo de estudio, ya que causaron daños severos y colapsos en edificaciones construidas antes de la vigencia del CCCSR-84. Estos daños corresponden a los muros interiores y las fachadas de las estructuras, es decir en elementos no estructurales. La causa principal de muerte durante los eventos sísmicos antes mencionados se dio por la caída de elementos no estructurales, particularmente las fachadas de las estructuras (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 1998).

La NSR-98 menciona que: *“En general podría afirmarse que el CCCSR-84 cumplió el objetivo de evitar el colapso y daño estructural grave. Sin embargo, hay falencias en la protección de elementos no estructurales construidos tradicionalmente y representa un alto riesgo para los ocupantes de la edificación”*. Es así como el Comité AIS-100 perteneciente a la AIS actualiza la normativa proponiendo cambios sustanciales, posteriormente el Congreso la aprobaría mediante la Ley 400 de 1977. En 1998, se publica el documento mediante Decreto N. 33 definiéndose como de uso obligatorio, la *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98* reemplazó en su totalidad a la CCCSR-84 (Gómez Cano & Farbiarz Farbiarz, 2005). Posteriormente habría modificaciones para correcciones menores de mecanografía, escritos, algunas ecuaciones y modificaciones en algunos requisitos mediante el decreto 34 de 1999, el Decreto 2809 del 2000 y el Decreto 52 de 2002.

### **Principales modificaciones**

El cortante sísmico en la base, equivalente al total de los efectos inerciales horizontales producidos por el sismo, ahora se representa como  $V_s = S_a * g * M$ . Con la ocurrencia del sismo de México de 1985 se pudo adquirir mayor experiencia sobre amplificaciones de ondas sísmicas causadas por estratos blandos subyacentes, obligando a revisiones importantes en la mayoría de las normas a nivel mundial; entre estas normas se encuentran los códigos que sirvieron de base para la NSR-98. En respuesta al sismo de México, se modificó la forma en como determinar los movimientos sísmicos particularmente en donde existen suelos blandos, además se añadió un nuevo perfil de suelo  $S_4 = 2.0$  el cual trata sobre depósitos de arcillas blandas con más de 12 metros de altura y su relación con la velocidad de onda de cortante. En este punto surge la necesidad por parte de los investigadores del AIS de micro zonificar las ciudades para tomar medidas que atiendan la amplificación de ondas sísmicas.

Se modificó el espectro de diseño con el fin de que dependa únicamente de la aceleración máxima efectiva " $A_a$ ", eliminando el coeficiente " $A_v$ ", existiendo un solo mapa con diez regiones que tienen aceleraciones que parten desde un valor de  $0.05 * g$ , para zonas con un riesgo sísmico bajo, y de  $0.45 * g$ , para zonas de riesgo sísmico alto. Se amplió y detalló de mejor manera los sistemas estructurales, incrementando a los tres existentes el sistema combinado. Se eliminó el coeficiente de amplificación de desplazamiento " $C_d$ ". Se añadió el grupo IV para edificaciones indispensables como centrales de líneas energéticas,



agua, combustibles, etc., asignando un valor de coeficiente de importancia  $I = 1.3$ . El coeficiente de aceleración, en fracción de la gravedad, ahora sería  $S_a = \frac{1.2 * A_a * S * I}{T}$ . El periodo fundamental de la estructura se modificó a  $T_a = C_t h_n^{3/4}$ , donde  $C_t$  toma diferentes valores según el sistema estructural. El Código de 1998 busca rigidizar más a las estructuras disminuyendo el límite máximo de deriva de piso al 1% a estructuras de concreto reforzado, metálicas, entre otros, dichos valores se consiguen multiplicando la deformación elástica por  $0.70 * R$ . (NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente, 1998).

#### **5.1.1.4. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-10**

El Decreto No. 926 cita textualmente las causas por las cuales la normativa se actualiza regularmente; entre las principales menciona los sismos que provocaron la muerte de varias personas y daños de consideración en las estructuras. Entre ellos se destaca el sismo de Quindío de  $M_W = 6.1$  del 25 de enero de 1999, producido a una profundidad de 15 kilómetros, afectando ciudades como Armenia y Pereira, especialmente la zona cafetera. El sismo de Pizarro de  $M_W = 7.2$  a una profundidad de 15 kilómetros afectó la ciudad de Cali el 15 de noviembre del 2004. El sismo de Quetame de  $M_W = 5.9$  a una profundidad de 10 kilómetros provocó daños en Bogotá el 24 de mayo del 2008. Estos eventos alertaron sobre la necesidad de actualizar y mejorar la norma existente con el objetivo de tener disposiciones más efectivas en la defensa de la vida de los ciudadanos, el patrimonio del estado y los particulares.

Es así como a comienzos del 2008, la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes encarga formalmente la coordinación de los estudios necesarios para llevar a cabo la actualización de la NSR-98 al AIS. Este proceso se asignó al Comité AIS-100, dicho comité ya se encontraba trabajando en la norma AIS 100-09 que es análoga a la norma AIS 100-97, la cual fue utilizada de base para el código NSR-98. Después de que el proyecto de norma NSR-10 fue aprobado por el Comité, la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes autorizó en abril del 2009 su discusión pública subiéndola a una página de internet y enviándolo a un grupo amplio de ingenieros, instituciones y universidades. El 19 de marzo del 2010 mediante Decreto N. 926 se expide el nuevo el *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10* cuya entrada en vigor se dio el 15 de julio del 2010, definiéndola como de uso obligatorio para todo el país (NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010).

Para la actualización del Código se consultó los mismos reglamentos que fueron tomados como base para el código de 1984 y 1998, especialmente se consultaron los requisitos del NEHRP (FEMA-450) del 2006, siendo este código la línea directa al documento base empleado en 1984 (ATC 3-06). Además, se abordó el estudio de los requisitos del *International Building Code (IBC-2009)*.

## Principales modificaciones

El Reglamento NSR-10 actualizó todos los temas incluidos en la NSR-98 y se adicionaron algunos nuevos. No hubo modificaciones en la ecuación del cálculo del cortante sísmico ni en el cálculo y límite de deriva de piso.

Los movimientos sísmicos de diseño ahora se definirían por medio de los parámetros  $A_a$  y  $A_v$ , a diferencia del reglamento anterior donde se definía únicamente con el parámetro  $A_v$ , estos valores se escogen de acuerdo con la región en donde se vaya a construir la estructura, entendiéndose un valor de aceleración de  $0.05 * g$  para un nivel de amenaza sísmica baja y un valor de  $0.50 * g$  para un nivel de amenaza sísmica alta. Para la consideración de los efectos de sitio se incluyó el parámetro " $F_v$ " y " $F_a$ " que amplifica las ordenadas del espectro en periodos largos y periodos cortos respectivamente. Estos valores se escogerían en función de la nueva clasificación de los tipos de perfiles de suelo (A, B, C, D, E, y F). Se modificaron los coeficientes de importancia " $I$ " a los grupos I, II, III y IV, y se les asignaron valores de 1, 1.1, 1.25 y 1.50, respectivamente. La expresión para el cálculo del periodo fundamental se cambió a  $T_a = C_t * h^\alpha$ , donde cada variable está en función del sistema estructural. Se incrementó notablemente la subdivisión de sistemas estructurales, añadiendo valores de " $R$ " y modificando algunos ya existentes. Así se tiene un  $R = 7.0$  para un sistema de pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía tanto en la NSR-98 y la NSR-10. La aceleración, en fracción de la gravedad, se modificó a  $S_a = \frac{1.2 * A_v * F_v * S * I}{T}$ ; y para el análisis de la carga sísmica reactiva continuó incrementándose el 25% de la carga viva en el caso de depósitos y bodegas de almacenaje. A continuación, se presenta en la **Figura 4** la portada de la norma colombiana sismo resistente y el mapa de amenaza sísmica.



**Figura 4:** Portada de la NSR-10 y su mapa de zonificación sísmica

Fuente: NSR-10

## 5.1.2. Ecuador

Desde el sismo de 1541 en Napo, Ecuador cuenta con un catálogo sísmico de intensidades obteniéndose como resultado el origen de un terremoto destructor cada 12 años en promedio. La respuesta a estos eventos catastróficos inicialmente ha sido su estudio e investigación mediante la primera gestión en 1900 para la adquisición de dos sismógrafos horizontales, los fuertes temblores de Azuay, Loja y Guayas en 1913 sirvieron de impulso para la adquisición de dos sismógrafos horizontales de gran calidad en su reemplazo en 1928 (Rivadeneria et al., 2007, p. 44). Además del terremoto de  $M_W = 8.4 - 8.6$  y eventual tsunami que se produjo el 31 de enero de 1906 en Esmeraldas, siendo catalogado como uno de los más destructivos que ha ocurrido en el límite de la plaza de Nasca y Sudamericana afectando considerablemente a Ecuador y Colombia (Pulido et al., 2020), el terremoto de Ambato creó un punto de inflexión entre la construcción informal y la construcción moderna.

### 5.1.2.1. *Código Nacional de Construcciones de 1951*

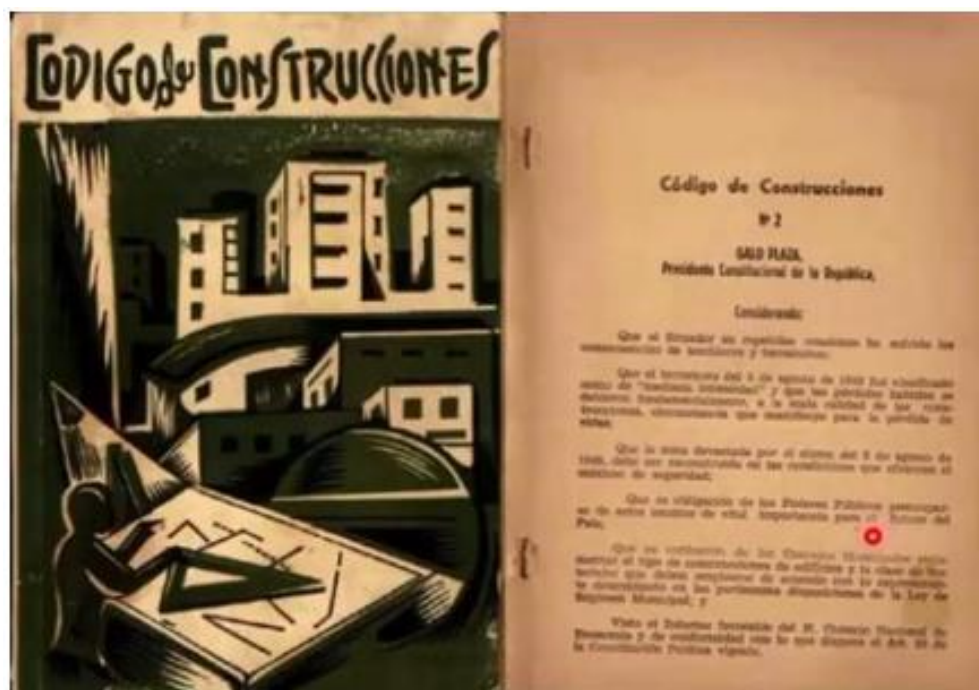
El 5 de agosto de 1949 en Ambato, un sismo catastrófico de  $M_W = 6.8$  con hipocentro a 15 km de profundidad provocó la muerte de aproximadamente 6.000 personas y dejando a 100.000 sin hogar (Theurer et al., 2017). La ciudad de Pelileo fue destruida a tal punto que fue necesario reconstruirla en otro sitio, posteriormente se repobló la antigua ciudad conociéndose actualmente como Pelileo Viejo, ciudades como Ambato, Píllaro, y Guano debieron ser reconstruidas parcialmente. (Instituto Geofísico, 2013). No solo colapsaron hogares que fueron construidos sin el soporte técnico adecuado y un elevado grado de empirismo, hubo la interrupción de los suministros básicos y de diversas vías que comunicaban a las ciudades afectadas. Con la ayuda de la Dirección de Obras Públicas Fiscales se pudo reparar e incluso se crearon puentes como El obraje, Rio Negro, Huambaló, San Francisco, etc. (Pachano et al., 1951).

Después del terremoto y su devastación en varias ciudades del Ecuador, se publicó de manera urgente el primer Código Nacional de la Construcción (Aguiar, 2010). Galo Plaza Lasso, presidente Constitucional del país en aquella época decide, a raíz de la devastación del 5 de agosto, constituir una Junta de Reconstrucción para elaborar el Plan Regulador de Ambato y el Plan Regional de Tungurahua. Se nombra al Arq. Sixto Durán Ballen, al Ing. Leopoldo Moreno y al Urbanista Wilson Pachano como responsables del proyecto (Orellana, 2017). El Código de Construcciones es elaborado en las oficinas del Plan Regulador junto con el apoyo del reconocido Ingeniero Estadounidense. Henry. J. Brunner, basándose en disposiciones internacionales como las de Estados Unidos (Uniform Building Code), Chile (Ordenanza General de Urbanismo y Construcción) e Italia. El resultado final fue un código en base a estudios de métodos y sistemas constructivos usados generalmente en la “buena práctica constructiva” que generalmente no siempre se les ponía en práctica. (Pachano et al., 1951).

El nuevo *Código Nacional de la Construcción* cuya portada se muestra en la **Figura 5**, sería promulgado el 12 de febrero de 1951 y sería catalogado como norma de uso

obligatorio para todo el país en 1952, dicho documento contenía las reglas para construcciones sismo resistentes pero, por razones desconocidas, estas disposiciones no fueron aplicadas por la mayoría de los constructores e instituciones gubernamentales (INEN, 1976). Vela (1951), citado por Callejas Montero (2018), escribió: *“Debido a las circunstancias, se obligó a que las personas cambien de mentalidad, ya se debían construir viviendas que no tengan bareques (...) y que ahora sus estructuras sean de concreto armado, muros de ladrillo, pisos de cemento o entablados, mejores cubiertas...”*.

Cabe destacar que, a partir del terremoto del 5 de agosto, se derivó la celebración de la Fiesta de las Frutas y las Flores en Ambato, este evento se realiza cada año en conmemoración de la pérdida sufrida por los habitantes y del arduo trabajo del sector agrícola para la reactivación de la ciudad.



**Figura 5:** Portada de Códigos de Construcción de 1951

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

### 5.1.2.2. *Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC-1977*

El INEN (1976) describe que: *“siendo la causa principal de numerosas pérdidas de vidas las construcciones de viviendas sin la consideración de los efectos de las fuerzas horizontales en zonas con un riesgo sísmico alto, se vio la necesidad de preparar un nuevo documento en base a la experiencia dejada por el sismo de Esmeraldas de 1976.”*

En 1976, dos sismos de consideración se produjeron en el Ecuador, uno se produjo en Esmeraldas el 9 de abril dejando un saldo de cinco muertos y otro en Cotopaxi dejando diez personas sin vida (INEN, 1976). El primer terremoto fue de un especial interés para diferentes estudios e investigaciones en Ecuador ya que se produjeron daños importantes en edificios de hormigón armado con deficiencias estructurales, mientras que se

presentaron daños menores en estructuras mixtas de mampostería y madera, además se presentaron deslizamientos de tierra en diferentes cerros y carreteras del país (Instituto Geofísico, 2013).

Uno de los principales aspectos presentados en el Código Nacional de Construcciones de 1951 fue la introducción del uso de concreto armado para la construcción de viviendas. El concreto armado al combinarse con otros materiales presenta unas buenas características de resistencia ante fuerzas estáticas, pero es poco elástico. Este aspecto se detectó visiblemente durante los estudios técnicos de los efectos producidos en las construcciones por el sismo de Esmeraldas, es decir, cuando se superó las resistencias últimas, la estructura terminó casi siempre en una destrucción total. Esto explicó por qué algunos edificios de concreto armado se vieron más afectados en comparación con los edificios antiguos hechos de madera y caña guadua.

En diciembre de 1976, el INEN publicó la *Guía Popular de Construcciones Sismo Resistentes*, dicho documento está basado en las 2 partes del proyecto de *Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC): Requisitos del Diseño* y *Requisitos de la Construcción de Hormigón Armado*, y trata solamente de viviendas de hasta 3 pisos y no considera elementos preesforzados o elementos con prefabricados. Este informe se elabora ya que la mayoría de las viviendas son construidas en el campo por los mismos campesinos y las diferentes viviendas y sus ampliaciones en ciudades grandes y pequeñas son realizadas por microempresas y obreros. Se necesitaba un documento que facilite el entendimiento de la norma a fin de ayudar a la gran cantidad de personas que se ocupan de la construcción de viviendas de hasta tres pisos (INEN, 1976). La Guía se desarrolló basándose en el ACI 318-71, Blue Book de 1973 y diferentes investigaciones realizadas en EE. UU, Londres, Guatemala, México, entre otros.

El CEC contenía 21 capítulos de recomendaciones de ingeniería cuya primera publicación mediante Registro Oficial N. 369 se dio el 30 de junio de 1977, con carácter emergente y de uso obligatorio (Abad & Torres, 2015, p. 77). El 23 de octubre de 1979 mediante Registro Oficial N. 50 del Acuerdo N. 1053, se oficializaría finalmente las 2 partes del CEC en su primera revisión (INEN, 2001, p. 43).

Cabe destacar que se publicaría en 1978 la *Guía de Práctica de Mampostería Reforzada* por parte del INEN debido a la difusión empírica de este método alternativo de construcción en el país. Misma cronología se ve plasmada en la **Figura 6**.



**Figura 6:** Portada de Códigos de Construcción de 1976 y 1978

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

### Principales modificaciones

El CEC-77 menciona que todas las estructuras debían ser diseñadas para resistir cargas verticales y horizontales, la fuerza sísmica lateral para la estructura se definió como  $V = IKCSW$  donde: “ $I$ ” tomaba en cuenta la importancia del edificio, “ $K$ ” era un factor dependiente del tipo de la estructura, “ $CS$ ” suponía un coeficiente en base a las condiciones del suelo y “ $W$ ” representaba la carga muerta del edificio.

Se definió el factor de importancia “ $I$ ” en función del funcionamiento en la sociedad, así se dio un valor de 1.5 para estructuras esenciales, 1.25 para edificios destinados a reuniones de más de 300 personas (iglesia, aulas, teatros, etc.) y 1.0 a todas las demás. El coeficiente “ $K$ ” relaciona el tipo de construcción y su resistencia a los sismos asignando valores bajos a estructuras que han respondido de manera adecuada a eventos sísmicos y valores altos a estructuras que han presentado un comportamiento deficiente ante la acción dinámica del movimiento del suelo. Así se tiene un valor de  $K = 0.67$  a edificios con pórticos especiales dúctiles que resisten la totalidad de la fuerza lateral,  $K = 1.33$  a sistemas de cajón, entre otros. Dichos valores son iguales a los propuestos por el SEAOC y normas de otros países. El cálculo de “ $C$ ” relacionaba el periodo fundamental de la estructura  $T = \frac{0.1 \cdot h_n}{\sqrt{D}}$  donde “ $h_n$ ” es la altura y “ $D$ ” es la dimensión de la estructura en la dirección de

análisis. Entonces se calculó  $C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$  y este no debía exceder 0.12. El valor “S” relaciona el periodo de la estructura y el periodo característico del suelo y su producto  $C S \leq 0,14$ . El factor “W” considera el peso utilizado en el cálculo de la fuerza horizontal siendo equivalente al 100% para viviendas comunes e incrementando el 25% de la carga viva en el caso de almacenes o depósitos (INEN, 1979).

Aguiar Falconí (2007) menciona que la fórmula de cortante en la base debió ser

$V = ZIKCSW$ , donde Z es el factor de zona sísmica que comprendía desde  $Z = 1$  para una zona de mayor peligrosidad sísmica,  $Z = 0.75$  para zonas de alta peligrosidad y  $Z = 0.50$  para mediana peligrosidad (UBC, 1985). Por lo tanto, la ecuación inicial consideraría a todo el territorio ecuatoriano en la zona de mayor peligrosidad sísmica. La deriva máxima de piso se calculaba con las fuerzas sísmicas reducidas e inercias gruesas definiéndola como  $\Delta_i = \frac{1}{K} * \Delta_e$ .

### 5.1.2.3. *Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC-2001*

Eventos posteriores a 1979 como sismos, inundaciones o deslizamientos de tierra conmocionaron al país. El 6 de marzo de 1987, dos sismos de  $M_W = 6.1$  y  $M_W = 7.1$  con profundidades de 12 km se produjeron en Napo el cual provocó múltiples deslizamientos de tierra e inundaciones dejando un saldo de 1000 personas muertas, 4000 desaparecidos, 800 edificios y 3000 viviendas colapsadas y aproximadamente 12,000 viviendas afectadas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020, p. 32) incluyendo millones de dólares en pérdidas por la paralización en la explotación petrolera debido al rompimiento del oleoducto. Terremotos como el del 2 de octubre de 1995 en Morona Santiago que provocó el colapso de un puente de 135 metros y el terremoto del 4 de agosto en Bahía de Caráquez, provincia de Manabí, serían eventos clave para comenzar a trabajar en el nuevo *Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2001* incorporando la zonificación sísmica y formas espectrales en base a investigaciones locales (Aguiar, 2010).

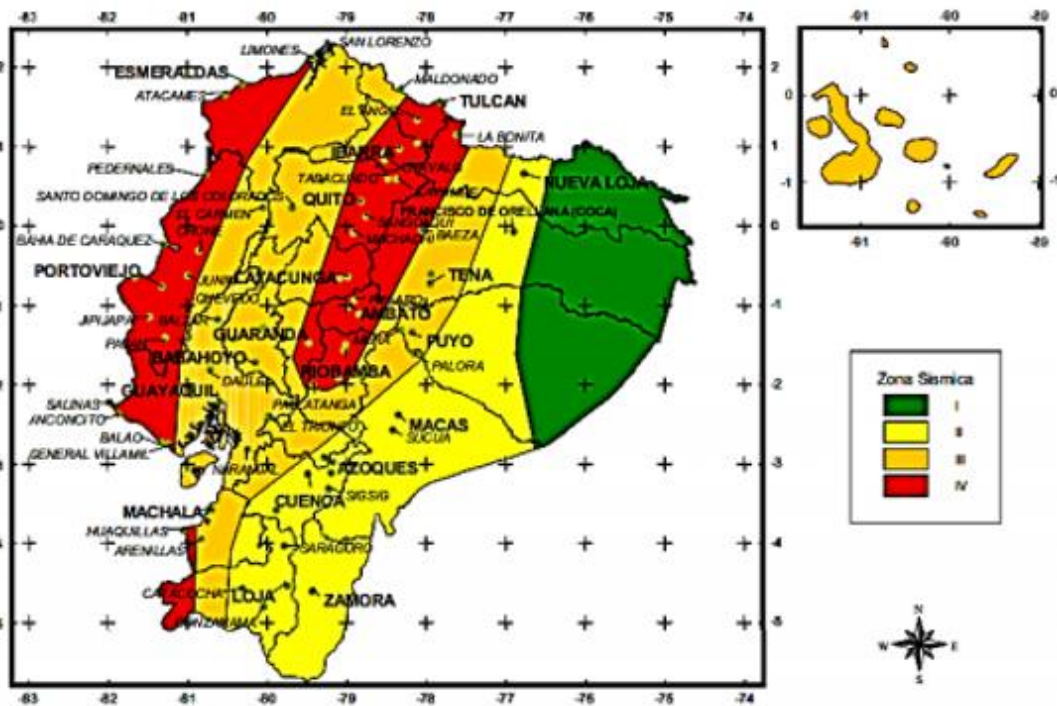
La CEC 2001 tiene sus inicios desde el mandato del presidente Sixto Duran Ballen, que, mediante Decreto Ejecutivo N. 3 crea el 10 de agosto de 1992 el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). Esta entidad nace de la necesidad constante y progresiva de viviendas requeridas por familias debido a la alta tasa de crecimiento demográfico, los desplazamientos de la población rural hacia los centros urbanos, entre otros. Posteriormente, mediante Decreto ejecutivo N. 3970 publicado en el Registro Oficial N. 988 del 15 de julio de 1996 se conformó el Comité Ejecutivo del CEC precedido por el MIDUVI e integrado por representantes de diferentes sectores públicos y privados con el fin de actualizar el código y determinar las nuevas normas constructivas en base a los avances tecnológicos en el área de la construcción.

Después de años de trabajo constante, el comité redactó el documento *CPE INEN 5 Parte 1 Capítulo 12* titulado: “*Peligro Sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de*

*cálculos para diseño sismo resistente*”, mismo que fue aprobado por el subcomité el 13 de octubre del 2000 y enviado a consulta pública por un año. Se oficializaría como obligatorio mediante Acuerdo Ministerial N. 1243 el 13 de junio del 2001 y se publicaría en el Registro Oficial N. 381 el 2 de agosto del mismo año.

### Principales modificaciones

El CEC-2001 presenta cambios importantes a su norma predecesora, entre ellos se destaca la expresión del cortante basal de diseño calculándose como  $V = \frac{Z \cdot I \cdot C}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} \cdot W$ , siendo similar a la ecuación propuesta por el UBC de 1994. Se incorporó los factores de zonificación sísmica “Z” detallado en la **Figura 7**, el factor de reducción de resistencia “R” y coeficientes de configuración estructural en planta y elevación. La mayoría de los cambios se debieron gracias a los estudios locales realizados en el país y a los diferentes códigos de diseño internacionales existentes como la norma colombiana NSR-98, la norma técnica peruana E.030 de 1997, el código estadounidense UBC de 1994 y 1997, entre otros (INEN, 2001).



**Figura 7:** Mapa de zonificación sísmica del CEC 2001

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización

El nuevo código determina el diseño en base al sitio donde se construirá la estructura mediante la incorporación del factor de zona sísmica “Z”, reconociendo valores desde una zona 1 asignando un valor  $Z = 0.15 \cdot g$  para lugares de bajo riesgo sísmico, hasta una zona 4 con un valor de  $Z = 0.40 \cdot g$  para sitios con un riesgo sismo alto. Se conservó los valores para la identificación de la importancia de la estructura “I” cambiándose únicamente el valor de  $I = 1.25$  a de  $I = 1.30$ . El coeficiente sísmico “C” expresado por la ecuación  $C = \frac{1,25 \cdot S^S}{T}$  ahora estaría en función del perfil de suelo (desde un suelo firme con  $S_1 = 1$  hasta un



suelo deficiente con  $S_4 = 2$ ) y el periodo de la estructura. El cálculo del periodo de la estructura “ $T$ ” se modificó de igual manera, conociéndose como  $T = C_t * (h_n)^{3/4}$  donde  $h_n$  es la altura de la edificación y  $C_t$  es un factor basado en el sistema estructural, a diferencia del propuesto en la CEC-77, dejó de depender de la dirección de análisis de la edificación. Durante el desarrollo del factor “ $R$ ”, se tomaron criterios en base a las disposiciones del UBC-94 y UBC-97 como otros propios en el cual se incluyeron agrupamientos de estructuración, las diferencias entre realidades constructivas y calidad de materiales tanto de Ecuador como Estados Unidos. De igual manera se incorporó penalizaciones a los tipos de estructuras que no poseen una ductilidad apropiada para deformarse inelásticamente durante el sismo de diseño. Si bien se sabe que el factor “ $R$ ” depende de muchas variables, en este código lo ha simplificado a un parámetro constante dependiente del tipo de estructura el cual reemplazó al factor “ $K$ ” con el fin de obtener un diseño eficiente que permita disponer de un adecuado comportamiento inelástico, dándole una adecuada ductilidad y disipación de energía suficiente que impida que colapse la edificación ante sismos severos. Así se tiene un  $R$  de 12 para sistemas de pórticos especiales de hormigón armado. La deriva de piso se estableció como  $\Delta_M = R * \Delta_E$  y no debía superar el 2% en estructuras de acero, hormigón o madera y el 1% en mampostería reforzada, todas ellas calculadas con inercias agrietadas (INEN, 2001).

#### **5.1.2.4. Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-2015**

En el transcurso del tiempo, según el Instituto geofísico, eventos naturales sin consecuencias catastróficas suscitaron después del lanzamiento del CEC-2001, es decir, terremotos de baja consideración se produjeron en el territorio ecuatoriano. Países vecinos como Perú se vieron afectados por terremotos en el 2001, 2005 y 2008 al igual que Chile en 2005 y 2010 dejando graves consecuencias. Dichos eventos alertaron al país y considerando además que Ecuador se encuentra localizado en una zona de alto riesgo sísmico, se llevó a cabo un proceso de actualización de la normativa de acuerdo con los avances tecnológicos a fin de mejorar los procesos de control en la construcción. Se celebró varios convenios entre el MIDUVI y la Cámara de Construcción de Quito con el fin de elaborar y desarrollar once capítulos con la ayuda de la gestión y coordinación de Comités Técnicos Especializados. Así la NEC inicia sus primeros pasos en el 2008 con la participación de empresas públicas y privadas, universidades, representantes de la industria privada y de los diferentes colegios profesionales de la industria. Para el eje de Seguridad Estructural, los documentos se realizarían conjuntamente con la Cámara de la Industria de la Construcción CAMICON (MIDUVI, 2015).

El 24 de marzo del 2011, mediante Decreto Ejecutivo N. 705, publicado el 6 de abril del mismo año en el Registro Oficial N. 421, se conformó el Comité Ejecutivo de la NEC el cual sería encargado de expedir y socializar la *Norma Ecuatoriana de la Construcción* del 2011, entre ellos el capítulo “*Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente*” o *NEC-SE-DS*. Años después, por medio del Acuerdo Ministerial N. 0028 del 19 de agosto del 2014, la NEC-SE-DS y otras normas adicionales serían oficializadas mediante su publicación en el Registro Oficial N. 0319 el 26 de agosto del mismo año. La última actualización a este

capítulo y que se encuentra vigente hasta la actualidad se la daría mediante Acuerdo Ministerial N. 047 del 15 de diciembre del 2014 y sería oficializada mediante su publicación en el Registro Oficial N.413 el 10 de enero de 2015.

### Principales modificaciones

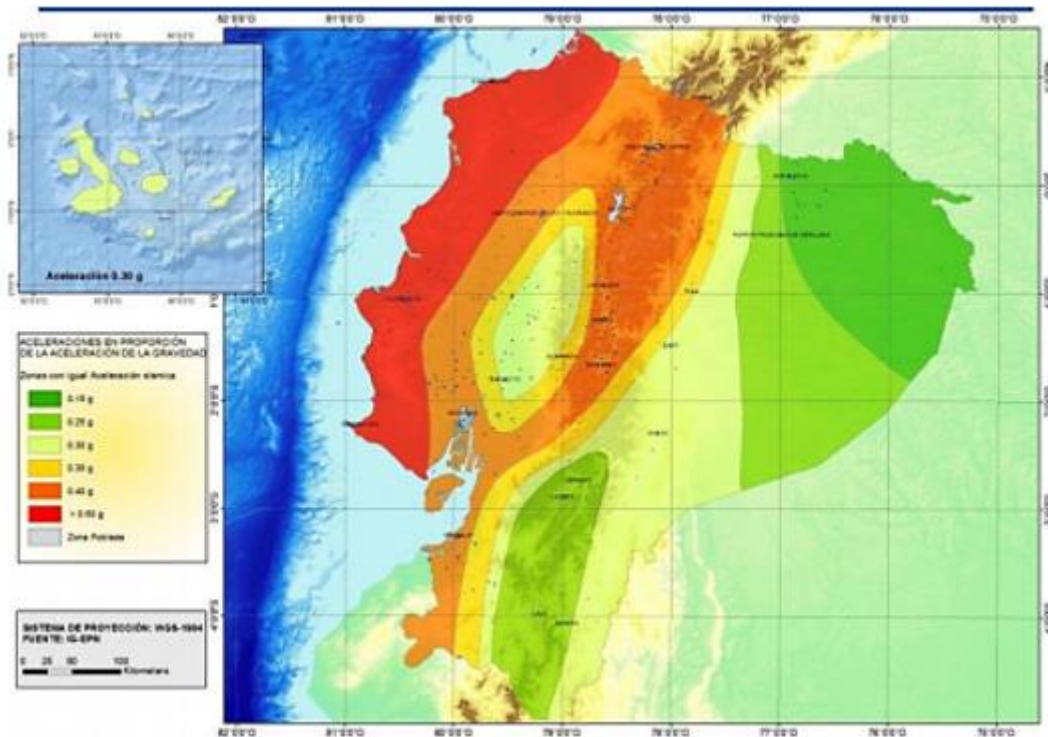
Cabe destacar que existen algunas diferencias entre la NEC-2011 y la NEC-2015, entre ellas se encuentra algunos coeficientes “ $F_a$ ” en el perfil de suelo tipo D y F, coeficientes “ $F_d$ ” en el perfil de suelo tipo C y D, coeficientes “ $F_s$ ” en el perfil de suelo tipo C y D, para el cálculo del periodo de vibración se conserva la ecuación pero se modifican algunos valores de  $C_t$ , se encuentra cambios en los coeficientes de reducción de resistencia “ $R$ ” para algunos sistemas estructurales, se modifica el porcentaje del análisis del cortante dinámico en comparación con el cortante estático y la carga sísmica reactiva “ $W$ ” se modifica notablemente reduciendo en un 25% de la carga viva a todo tipo de estructuras. Según Jurado Amaluisa (2016), en su estudio aplicado al edificio “Manuela Sáenz” para comparar la NEC-2011 y la NEC-2015, concluye que la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015 reduce el costo de la construcción de la edificación en un -10.64% con respecto a la norma del 2011. Además, menciona que el margen de seguridad obtenido no se ve afectado a pesar de la disminución del costo de la estructura.

La *NEC-SE-DS* oficializada en el 2015 supone una actualización al CEC-2001, las nuevas disposiciones se encuentran respaldadas por investigaciones recientes de sismicidad de la Escuela Politécnica Nacional – Instituto Geofísico (EPN IG) en donde se amplía el contenido del reglamento y se incrementan factores para el cálculo de diseño sismo resistente que anteriormente no estaban contemplados. Entre los factores recientes se encuentra la clasificación de los suelos y estudios geotécnicos, una nueva correlación entre diferentes tipos de estructuras (madera, mampostería, acero, concreto), incluso se amplió los alcances de varios criterios incluyendo los de habitabilidad y funcionalidad en las estructuras (MIDUVI, 2015). La NEC-15 se basa fundamentalmente en diversos capítulos y secciones de normas extranjeras como el ASCE-10, documentos de VISION 2000, elaborado por la SEAOC en 1995, la guía NEHRP, FEMA 440, la norma colombiana NSR-10, entre otros.

Una diferencia fundamental entre la norma actual y la anterior es que las fuerzas sísmicas de la NEC-15 ya son para cargas últimas, mientras que el CEC-2001 mantenía cargas a nivel de servicio. Se modificó la ecuación del cortante basal de diseño, ahora sería  $V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$  donde  $S_a(T_a)$  representaría el espectro de respuesta elástico de aceleraciones el cual esta expresado como fracción de la gravedad y depende del periodo fundamental de la estructura.

Ahora se establecen seis zonas sísmicas a diferencia de las cuatro anteriores (I, II, III, IV, V y VI) las cuales se les asigna un valor desde  $Z = 0.15 * g$  con una caracterización de peligro sísmico intermedio hasta un  $Z \geq 0.50 * g$  para sitios con riesgo sísmico muy alto, dicha zonificación se detalla en la **Figura 8**. Se presentan seis tipos de perfiles de suelo (A, B, C, D, E y F) desde una roca competente hasta un relleno. Se expresó al periodo

fundamental de la estructura como  $T = C_t * h_n^\alpha$  donde  $\alpha$  sería un factor en función del tipo de la estructura, se modificaron notablemente todos los factores de reducción de resistencia sísmica “R” y se ampliaron más sistemas estructurales, así por ejemplo se asignó un valor  $R = 8$  a pórticos especiales sismos resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas. Se conservaron los coeficientes de importancia de la estructura, el cálculo de la carga sísmica reactiva, así como los límites máximos de deriva de piso. Se modificó el cálculo de la deriva inelástica siendo ahora  $\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$  (Norma Ecuatoriana de La Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).



**Figura 8:** Mapa de zonificación sísmica del CEC 2001 y NEC-SE-DS 2015

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

### 5.1.3. Perú

#### 5.1.3.1. *Reglamento Nacional de Construcciones. RNC-1970*

A mediados del siglo XX, Perú aun no contaba con un reglamento que regule la construcción de edificaciones puesto que las investigaciones en el campo sísmológico eran limitadas. En 1960 la Facultad de Ingeniería Civil perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) cambia esta situación gracias a la posibilidad de becas de especialización o postgrado en ingeniería estructural y antisísmica en institutos y universidades internacionales para sus graduados y docentes. Esto permitió que los ingenieros civiles se incorporaran a la universidad al culminar sus estudios como docentes e investigadores de fenómenos naturales y de su impacto en las construcciones (López et al., 2012, p. 312).

Es por ello que, a partir del año de 1964, Perú, en base a las disposiciones y recomendaciones publicadas por el Blue Book, ya se ideaba el primer proyecto para la

elaboración de reglamentos de diseño sísmico (Alvitez, 2017). Para entonces la UNI ya contaba con estudios de medición de periodos de vibración y la determinación de las características estructurales de casi 50 edificios de la ciudad de Lima y sus alrededores (López et al., 2012). Años más tarde, el 17 de octubre de 1966 se produce un terremoto de  $M_W = 8.1$  en las costas de Perú con una duración de 45 segundos y se recogió como uno de largo periodo en varias estaciones de todo el mundo. El terremoto causó daños significativos en las regiones costeras del país seguido de un eventual tsunami (Abe, 1972).

En 1968 se aprueba el Primer Reglamento Provincial por la Comisión Técnica Municipal de Lima, dicho proyecto se tituló “*Normas Peruanas de Diseño Antisísmico*” y fue preparada por miembros del Instituto de Ingeniería de Estructuras y de la Construcción de la UNI.

El 4 de septiembre de 1969, por Decreto Supremo se nombró a una Comisión la elaboración del nuevo *Reglamento Nacional de Construcciones (RNC)* dentro del Ministerio de Vivienda a cargo del Contraalmirante Luis Vargas Caballero. El 11 de agosto de 1970 el presidente de la Republica Juan Velasco Alvarado, mediante Decreto Supremo aprueba parcialmente el RNC que, en su capítulo IV titulado: “*Seguridad Contra el Efecto Destructivo de los Sismos*”, establece requerimientos mínimos para un adecuado diseño sísmico, esto considerando la urgencia de contar con dispositivos legales para permitir un adecuado control de las construcciones. Este reglamento tendría una vigencia permanente en todo el territorio de la república y todos los Organismos Públicos estarían obligados a regirse a partir del 1 de marzo de 1971. Esta normativa ingresa de manera urgente de tal modo que se decreta un artículo la cual deroga todas las disposiciones que se opongan al RNC-70. Así este documento pasa a ser el primer reglamento oficial del Perú basado en las recomendaciones de la SEAOC de 1967.

En cuanto a revisión y actualización del Reglamento, el Ministerio de Vivienda asignaría los recursos para la creación de una comisión permanente la cual estaría integrada por tres delegados del Ministerio de Vivienda, un delegado del Colegio de Ingenieros del Perú, Colegio de Arquitectos del Perú, Consejo de Arquitectos del Perú, Consejo Provincial de Lima, Cámara Peruana de la Construcción y del Consejo Nacional de Investigaciones (Ministerio de Vivienda, 1970).

### **Principales modificaciones**

Para la determinación de la fuerza sísmica lateral en la base, el RNC-70 presenta los primeros modelos analíticos para el análisis inelástico, utilizando la expresión  $H = U * K * C * P$ , dichos factores consideraban un coeficiente sísmico según la regionalización y uso de la edificación “*U*”, un factor por el tipo de sistema estructural “*K*”, un factor del porcentaje de carga muerta más carga viva la cual estaría en función del periodo de la estructura “*C*”, y el peso de la edificación “*P*” (Ministerio de Vivienda, 1970). Dicha fórmula es una adaptación de la usada en las recomendaciones del Blue Book publicado en 1959 donde  $V_w = (Z * K * C) * W$ . Se indicaba que el profesional autor del proyecto determinaría el

aumento de los coeficientes sísmicos que se pudieran requerir según la naturaleza del terreno ya que no existía un factor de modificación de la fuerza debido al tipo de suelo.

Para el mapa de regionalización sísmica, el RNC-70 establecía tres regiones en el territorio peruano, donde la región 1 representa un alto riesgo sísmico, la región 2 un riesgo sísmico medio y la región 3 considera un riesgo sísmico bajo (Ministerio de Vivienda, 1970). El mapa se basó en la investigación del mapa propuesto por la UNI. Para establecer el tipo de uso, destino o importancia de la estructura, el RNC-70 definía con cuatro letras la importancia de la edificación asignando al tipo A estructuras como viviendas rurales o populares, hasta el tipo D que representaba estructuras esenciales cuyo daño podría resultar catastrófico, ejemplo de ello sería un reactor nuclear, represas, etc.

El coeficiente sísmico de modificación “ $U$ ” se basaba en el uso y la regionalización de la edificación, asignando un  $U$  de 1.2 a una estructura tipo C (colegios, hospitales, etc.), ubicada en la región 1. Para el caso de una estructura tipo B (oficinas, viviendas, etc.) en la misma región, el factor  $U$  es 1.0, es decir que, para una estructura de mayor importancia, la amplificación de la fuerza sísmica incrementaba (Ministerio de Vivienda, 1970).

El RNC-70 utilizó los mismos valores que el Blue Book y el UBC (Uniform Building Code) consideró en sus primeras publicaciones, se trataba de cuatro tipos de estructuras básicas. A cada uno se le asignó un valor “ $K$ ” basado originalmente en el juicio de los miembros del Comité de Sismología de la SEAOC e influenciado por la experiencia colectiva y observaciones de intensidad destructiva. Así, los tres reglamentos habían asignado un factor  $K$  de 0,67 a estructuras compuestas por pórticos dúctiles mientras que a sistemas compuestos por muros tipo “cajón” se asignó un valor  $K$  de 1.33 (SEAOC Seismology Committee, 2006).

El factor “ $C$ ” determinaba el porcentaje de la carga muerta o permanente adicionado una parte de la carga viva que debía tomarse como el cortante sísmico en la base de la estructura, su método de cálculo era  $C = \frac{0.05}{\sqrt[3]{T}}$ , donde  $T$  es el periodo de la estructura.

El periodo de la estructura se evaluaba en base a expresiones empíricas propuestas por el código, éste se encontraba en función del sistema estructural. Para estructuras constituidas únicamente por pórticos se asignó  $T = \frac{0.09 \cdot h}{\sqrt{D}}$ , para estructuras rígidas y que poseen muros en gran cantidad se asignó  $T = \frac{0.05 \cdot h}{\sqrt{D}}$  y para estructuras mixtas  $T = \frac{0.07 \cdot h}{\sqrt{D}}$ . En las fórmulas,  $h$  es la altura de la estructura y  $D$  es la dimensión horizontal del edificio en la dirección en la que se considera el movimiento sísmico (Ministerio de Vivienda, 1970).

### **5.1.3.2. *Reglamento Nacional de Construcciones. RNC-1977***

En 1970, meses antes de la aprobación del Primer Reglamento Nacional de Construcción, se produce un terremoto de  $M_w = 7.8$  el 31 de mayo dejando un saldo de al menos 50,000 personas muertas, 20.000 desaparecidos y alrededor de 150.000 heridos, este

gran número de personas afectadas fue provocado por una avalancha en el callejón de Huaylas posterior al terremoto en la región de Ancash. Los sitios afectados fueron Libertad y Ancash. De acuerdo con una evaluación de los daños, 60.000 viviendas necesitaban reconstruirse, en dieciocho ciudades. El sistema de alcantarillado quedó inhabilitado, además de daños en la Central Hidroeléctrica de Huallanca. Este acontecimiento es considerado el más catastrófico ocurrido en el país (Bernal, 2007).

Años después, al sureste de la ciudad de Lima, un sismo de  $M_W = 7.7$  a una profundidad de 13 km se produjo el 3 de octubre de 1974 dejando un saldo de 78 muertes. Los daños observados durante estos terremotos indicaron que el código anterior RNC-1970 no era adecuado para el diseño sísmo resistente. Por ello, el Ministerio de Vivienda publica el nuevo código de construcción en abril de 1977. Se la nombró *Norma Básica de Diseño Sísmo Resistente* y fue desarrollado en el año de 1976 por un comité formado por representantes de universidades locales, la Sociedad de Ingenieros, el Instituto Geofísico y el Comité Nacional para Prevención en Desastres (Paz, 1994).

### Principales modificaciones

La UBC de 1976 y la SEAOC en sus publicaciones posteriores a la de 1959 incluyeron un factor “*S*” e “*I*” a la expresión inicial de cortante en la base, el primero modificaba al cortante debido a las condiciones de sitio y el segundo es un factor de importancia debido a la ocupación de la edificación (Diebold, Moore, Hale, & Mochizuki, 2008, p. 5). Dichos cambios también se incluyeron en el RNC-1977, reemplazando la fórmula anterior por  $H = \frac{Z*U*S*C}{R_d} * P$ , donde *S* representa el factor debido al tipo de suelo y  $R_d$  es un factor de reducción por ductilidad (Paz, 1994).

El mapa de zonificación sísmica “*Z*” del RNC-77 continúa dividiendo al territorio peruano en tres zonas. Esto gracias a la información sobre la intensidad e intervalo de recurrencia proporcionados por sismos históricos donde, la zona 1 ( $Z = 1.0$ ) asocia un alto riesgo sísmico, la zona 2 ( $Z = 0.7$ ) asocia un riesgo sísmico intermedio y la zona 3 ( $Z = 0.3$ ) representa un riesgo sísmico bajo (Paz, 1994, p. 380). La principal diferencia con el mapa del RNC-1970 es que la zona 1 (alto riesgo sísmico) se extendió en toda la costa peruana.

En la evaluación de la fuerza sísmica de diseño, la importancia de la estructura se introdujo a través del factor “*U*” donde se invirtió el orden de importancia y se modificaron algunos valores dependiendo del tipo de la edificación. Para el RNC-77 se consideró, como tipo A, a una estructura esencial ( $U \geq 1.3$ ), tipo B a una estructura pública o de aglomeración de personas ( $U = 1.3$ ), tipo B a viviendas comunes u oficinas ( $U = 1$ ) y tipo A estructuras de poca importancia ( $U \leq 1.0$ ) (Paz, 1994, p. 378).

Se modificó la fórmula para el cálculo del coeficiente sísmico “*C*”. El RNC-77 estableció como  $C = \frac{0.8}{T_s^{+1}}$ , dicha ecuación estaría en función del periodo fundamental de la

estructura  $T$  y el periodo según la característica del suelo  $T_S$ . El factor según el tipo de suelo “ $S$ ” fue incluido ya que las condiciones del suelo afectaban directamente las fuerzas sísmicas laterales; por lo que, el RNC-77 evalúa el coeficiente “ $S$ ” en función del periodo y tipo de suelo. El reglamento reconoce tres tipos de suelos (Tipo I, II, III) desde una roca o grava densa con  $S = 1.0$ , una arena densa o suelo cohesivo duro con un  $S = 1.2$  y una arena suelta o suelo cohesivo blando con un  $S = 1.4$  (Paz, 1994).

El RNC-77 añade un factor de reducción por ductilidad “ $R_d$ ” en función del sistema estructural. Este factor se remonta al factor “ $K$ ” que apareció en la primera edición del Blue Book. Dicho factor de modificación de la respuesta para el cálculo de la fuerza lateral en la base ha evolucionado de una forma implícita a una explícita (SEAOC Seismology Committee, 2007, p. 56). Por ejemplo, para estructuras cuyas fuerzas horizontales son resistidas por muros de corte se asignó un  $R_d$  de 3.0, pórticos de concreto armado un  $R_d$  de 5.0 (Paz, 1994).

Para el cálculo del peso de la estructura, tanto el RNC-70 y RNC-77 consideraban un porcentaje adicional de la carga viva a la carga muerta. Para el nuevo código, a estructuras Tipo A se adicionaba el 100% de la carga viva, Tipo B el 50%, Tipo C el 25%, entre otros.

En este nuevo reglamento se consideraron las mismas fórmulas del RNC-70 para el cálculo del periodo fundamental de la estructura, excepto que  $T = \frac{0.09 * h}{\sqrt{D}}$  ahora se utilizaría para sistemas con pórticos que incluyan caja de ascensores y  $T = 0.08 * N$  para estructuras constituidas únicamente con pórticos. Todas las fórmulas se utilizaban a menos de que se realice un análisis dinámico, utilizando la rigidez real y la distribución de masa de la estructura (Paz, 1994).

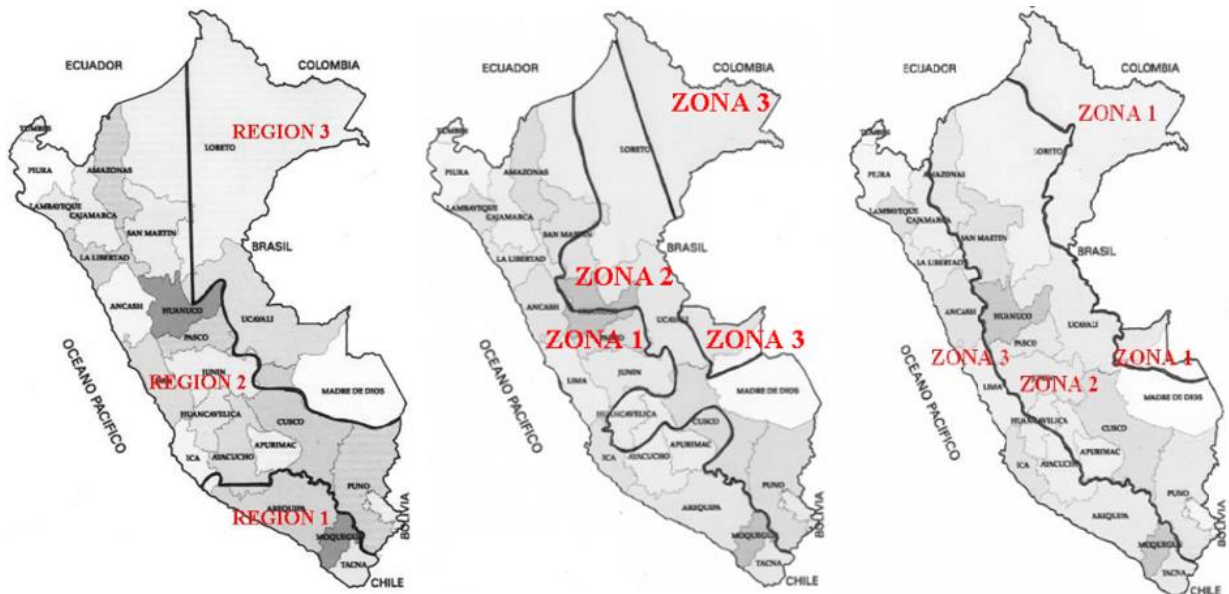
Los desplazamientos resultantes debían multiplicarse por  $0.75 * R_d$  para obtener los desplazamientos laterales inelásticos. No existía límite para el desplazamiento lateral absoluto. Sin embargo, el código estipula que la deriva entre dos pisos consecutivos no excederá el 1.5% de la altura del piso, pero está limitado al 1% de la altura del piso para aquellos edificios que tengan elementos que puedan sufrir daños por dichos desniveles (Paz, 1994).

### **5.1.3.3. Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-1997**

En años posteriores a 1977 no se registraron sismos de gran magnitud ( $M_W > 7.5$ ). Según la base de datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), no fue hasta el 12 de noviembre de 1996 que un terremoto de  $M_W = 7.7$ , con epicentro localizado a 135 km al sur oeste de la ciudad de Nasca, dejó un saldo de 14 personas fallecidas, 624 resultaron heridas, 4000 hogares quedaron destruidas y 11,000 parcialmente destruidas. A esto se suma el daño de 91 escuelas y 100 centros de salud cercanos al epicentro. Además, el 75% de las construcciones de adobe de la localidad sufrieron daño severo o colapsaron durante el sismo (Hurtado & Lopez, 1999).

Luego de inspeccionar las estructuras afectadas y evaluar los daños, se pudo observar una respuesta deficiente de las estructuras construidas aplicando la norma vigente de diseño sísmico (RNC-77). Entre los principales problemas observados se resaltan los grandes desplazamientos laterales que tuvieron las estructuras públicas, ya que se comprobó que estos resultaron mayores que los obtenidos con el código de diseño (Córdova, 2012), en la **Figura 9** se detalla el mapa de zonificación sísmica, mismos que han sido considerados en las modificaciones de la norma técnica de edificaciones.

En base a estos acontecimientos, la *Norma Técnica de Edificaciones NTE E.030 Diseño Sismo resistente* es aprobada en la ciudad de Lima mediante Resolución Ministerial el 14 de octubre de 1997, dicha norma fue propuesta por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), entidad encargada de su actualización por Decreto Supremo desde 1995 (Ministerio de Vivienda, 1997).



**Figura 9:** Mapa de regionalización sísmica 1970, mapa de zonificación sísmica de 1977 y de 1997

**Fuente:** (Blanco Blasco, 2010)

### Principales modificaciones

Tanto las normas del RNC-77 y E.030-97 continuaron tomando como base las disposiciones contemporáneas del SEAOC y UBC, como el no pretender diseñar a las edificaciones con una resistencia a fuerzas laterales tan grandes como las del rango elástico. Si los códigos hubieran cambiado para requerir una respuesta elástica ante grandes terremotos, la industria de la construcción se hubiera visto severamente afectada por la economía y serían arquitectónicamente deficientes (SEAOC Seismology Committee, 2008).

El factor “Z” debía determinarse a partir del mapa de zona sísmica. Por ejemplo, para la Zona 1, correspondiente a un bajo riesgo sísmico, se asignaba un  $Z = 0.15 * g$ , mientras que el máximo valor se asignaba a la Zona 3 con  $Z = 0.40 * g$ . Dicho valor máximo



coincidía con el valor máximo publicado por el UBC de 1997. Para el coeficiente “ $U$ ” se clasificaron a las edificaciones en tres categorías, estableciendo un valor  $U = 1.5$  para edificaciones esenciales,  $U = 1.3$  a edificaciones importantes y  $U = 1.0$  a edificaciones comunes. Esta última categorización permanece sin cambios hasta la actualidad.

El coeficiente sísmico “ $C$ ” en la E.030-97 se interpreta como un factor de amplificación de respuesta estructural respecto a la aceleración del suelo. Este factor se modificó sustancialmente, pero continúa dependiendo del periodo de la estructura y del suelo, como en el RNC-77, y se expresó como  $C = 2.5 \left( \frac{T_p}{T} \right)^{1.25}$ . Para hallar el factor “ $S$ ”, este código conservó los tres tipos de suelo ( $S_1, S_2, S_3$ ), asignando los mismos valores de  $S$  y  $T_p$  a un suelo duro, intermedio y flexible. Únicamente se modificó el valor de  $T_p = 0.4$  s., con respecto al RNC-77, para un suelo  $S_1$  (Ministerio de Vivienda, 1997).

En la E.030-97 se asignó como “ $R$ ” al coeficiente de reducción, y el RNC-77 lo denominaba factor de ductilidad  $R_d$ . Es notable la diferencia existente entre los factores  $R$  y  $R_d$  de ambas normas, siendo el factor  $R$  mayor hasta en un 250 % que el  $R_d$  usado en el código de 1977. Por ejemplo, para muros de concreto armado, el RNC-77 asignó  $R_d = 3$  y para pórticos de concreto armado un  $R_d = 5$ , en la E.030-97 se asignó  $R = 7.5$  y  $R = 10$  respectivamente (Martel, 2004).

La RNC-77 determinaba el periodo fundamental para cada dirección, mientras que, al comparar el cálculo del periodo fundamental de acuerdo con la E.030, esta fórmula se simplificó a  $T = \frac{h_n}{C_T}$ , la cual dependía de la altura de la edificación y un valor  $C_T$  definido por el sistema estructural. En cuanto a la determinación del máximo desplazamiento relativo de entrepiso, se establecieron nuevos límites, con el fin de rigidizar aún más a la estructura, por ejemplo, para concreto armado, según el RNC-77:  $\frac{\Delta_1}{he_1} \leq 0.01$ , mientras que en la E.030-97 se redujo a  $\frac{\Delta_1}{he_1} \leq 0.007$ . Los desplazamientos resultantes cambiaron, ahora debían multiplicarse por  $R$  para obtener los desplazamientos laterales inelásticos. Cabe mencionar que la norma menciona que todo análisis debe realizarse con una inercia de secciones brutas o sin agrietar (Ministerio de Vivienda, 1997).

#### **5.1.3.4. Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2003**

El 23 de junio del 2001, un fuerte terremoto de  $M_w = 8.2$  provocó cuantiosos daños materiales y la muerte de 74 personas, su epicentro tuvo lugar en el océano Pacífico cerca de la ciudad de Ático (Arequipa). Eventualmente se produjo un tsunami, que causó la muerte de 25 personas y 62 desaparecidos (Jiménez et al., 2020). Este evento provocó una serie de actualizaciones a la norma E.030-97. Una de estas modificaciones fue amplificar las fuerzas de sismo por 1.25 con el objetivo de considerar un sismo amplificado a cargas últimas, obligando a variar los factores de reducción sísmica  $R$  (Poicon, 2017, p. 39).

El 2 de abril del 2003, en la ciudad de Lima, mediante Resolución Ministerial se aprueba la actualización de la *NTE E.030 de Diseño Sismo resistente* propuesta por SENCICO, entidad encargada de sus reformas mediante Decreto Supremo en el 2001 (Ministerio de Vivienda, 2003).

### **Principales modificaciones**

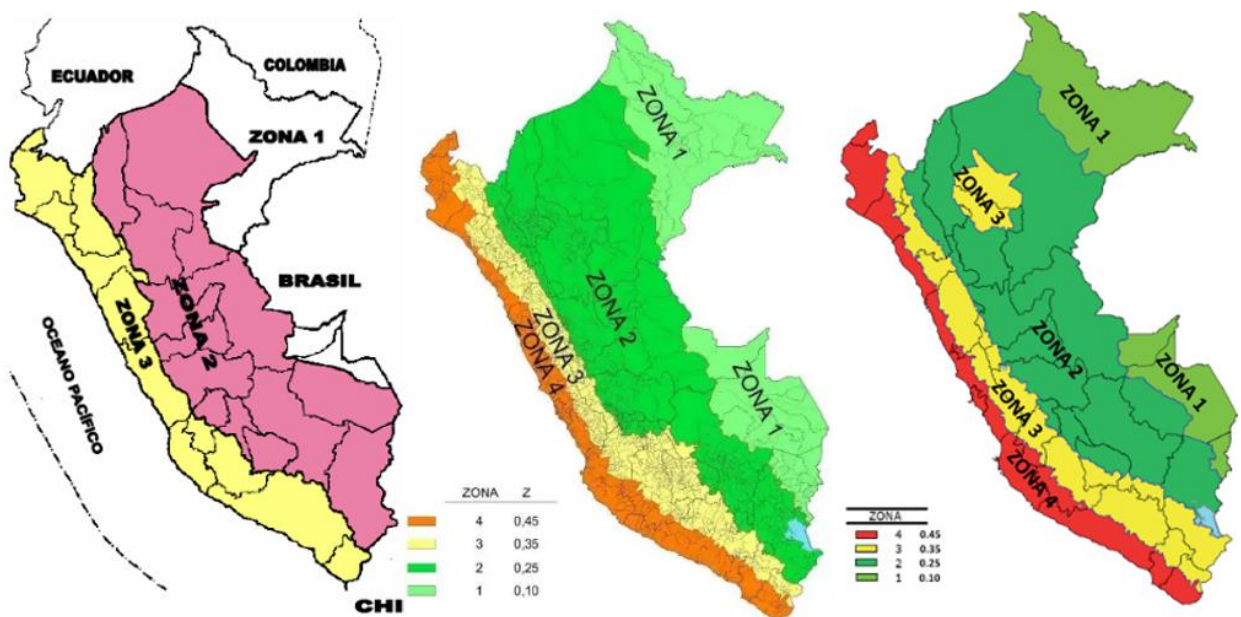
La E.030-2003 conservó varias fórmulas y factores establecidos en la E.030-97 y se amplió y modificó varios de los conceptos utilizados en el diseño sísmico. Hubo cambios para la definición de estructuras que presentan irregularidad en planta y elevación, se aumentó sistemas estructurales y factores “*R*”, la relación  $\frac{C}{R}$  incrementó, permitiéndose un valor mínimo de 0.1 a 0.125, entre muchos otros (Ministerio de Vivienda, 2003). Si bien, la SEAOC dejó de ser una referencia directa como normativa internacional desde su última publicación en 1999, las disposiciones en las que se basa la norma peruana, como el ASCE y NEHRP, son basadas en las disposiciones del SEAOC, ATC y UBC. Por ejemplo, en la tabla 9.5.2.2 del ASCE 7-02, se define un factor  $R = 8$  para pórticos especiales de concreto reforzado resistente a momento, al igual que en la E.030-2003. Los desplazamientos resultantes volverían a multiplicarse por  $0.75 * R$  para obtener los desplazamientos laterales inelásticos.

#### **5.1.3.5. Actualización al código de diseño sísmico vigente: NTE E.030-2018**

SENCICO, organismo encargado de la elaboración de normas juntamente con Comités especializados de diversas instituciones, representantes de universidades, consultores, entre otros, comienza a trabajar en varias actualizaciones de la E.030. Mediante Decreto Supremo, en el 2006 se aprobaron 66 Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Dentro de esta actualización se encuentra la *E.030-2006 Diseño Sismo Resistente*, la cual posee un nuevo formato de presentación conservándose todos los valores y fórmulas propuestas en la E.030-2003. En los años siguientes, mediante Decreto Supremo, se actualiza la E.030-2006 por la norma *E.030-2014* y posteriormente por la norma *E.030-2016*. Esta actualización se debió al avance en nuevas tecnologías en sismo resistencia y a los avances científicos en cuanto a sismología, con el fin de reducir la vulnerabilidad en estructuras nuevas, evitar muertes en caso de sismo y asegurar una continuidad en los servicios básicos (Ministerio de Vivienda, 2016).

Entre los principales cambios para esta actualización es el factor “*Z*”, donde ahora existen cuatro zonas distintas, desde un mínimo de  $0.10 * g$ , para la zona 1, y un máximo de  $0.45 * g$ , para la zona 4. Este cambio obligó a modificar el factor “*S*”. Por lo tanto, ahora existían cuatro tipos de suelos donde se añadió un perfil de suelo  $S_0$ , correspondiente a roca dura. El factor de uso también tuvo algunas modificaciones en cuanto a conceptos. En la **Figura 10** se muestra las diferentes modificaciones en cuanto al mapa de zonificación sísmica.

El factor de amplificación sísmica “C” se cambió con respecto a su predecesor, ya que en la E.030-2006 se consideraba una única fórmula para calcular este factor. La E.030-2016 analiza el factor “C” en función del periodo de la estructura y de su ubicación en el espectro de diseño; por ende, ahora se tenía un valor de  $C = 2.5$ ,  $C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T}\right)$  y  $C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right)$ . Se modificaron algunos valores del factor de reducción de resistencia “R”, y diferenciando de mejor manera cada uno de los sistemas estructurales, se detalló cada una de las irregularidades en planta y elevación, asignándole una penalización por irregularidad, entre otras cosas. La obtención de los desplazamientos resultantes se realizaba multiplicando la deformación inelástica por  $0.75 * R$  para estructuras regulares e irregulares, con el fin de obtener los desplazamientos laterales inelásticos (Ministerio de Vivienda, 2016).



**Figura 10:** Mapa de zonificación sísmica 2003(2006), 2014 y 2016 (2018)

**Fuente:** Códigos de diseño del Ministerio de Vivienda

Con la finalidad de mantener una actualización constante del Código de diseño sísmico en concordancia con la innovación tecnológica actual, se modifica la NTE E.030-2006, teniéndose como norma vigente hasta la fecha la *NTE E.030-2018*. La norma actual presenta, en su mayoría, los mismos parámetros que la norma NTE E.030-2006, versión del 2016. La diferencia entre *NTE E.030-2018* y la norma NTE E.030-2006, versión del 2016, radica en la ampliación de conceptos, definiciones y significados para el diseño sismo resistente. Además, existe una variación en los coeficientes “R” para algunos sistemas estructurales. La relación  $\frac{C}{R}$  pasó de 0.125 a 0.11. La obtención de los desplazamientos resultantes se realizaba multiplicando la deformación inelástica por  $0.75 * R$  y  $0.85 * R$  para estructuras regulares e irregulares, respectivamente, con el fin de obtener los desplazamientos laterales inelásticos, entre otros (Ministerio de Vivienda, 2018).

Actualmente, Perú también cuenta con la norma *E.031 Aislamiento Sísmico*, la cual fue aprobada mediante decreto supremo el 6 de noviembre del 2019. Esto debido a que

obligatoriamente los establecimientos de salud públicos y privados de nivel II y III, categorizados como esenciales (A1), deben contar con aislamiento sísmico en la base cuando su construcción se realice dentro de la zona 3 y 4 (Ministerio de Vivienda, 2018).

#### 5.1.4. Chile

##### 5.1.4.1. Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. 1928

A mediados del siglo XVII, una de las principales respuestas a las amenazas naturales y que hasta el día de hoy se practica ha sido el refugiarse en la religión y la fe. Otra respuesta más coherente ha sido la reubicación de las ciudades afectadas, como, por ejemplo: Concepción después del evento de 1751 y Chillán luego de la tragedia de 1835. A inicios del siglo pasado, la respuesta a un fenómeno sísmico se basó en la investigación. La creación del Instituto Sismológico de Chile y la mejora de materiales para las estructuras daba sus primeros pasos (Camus et al., 2016).

Después del terremoto de Valparaíso de  $M_W = 8.2$  en 1906, el principal impulso para la creación de un proyecto que se encargue de responder a las amenazas sísmicas fue el devastador terremoto de  $M_W = 7.6$  que estremeció Talca, Constitución y Curicó en 1928. Esta catástrofe dejó al descubierto el ineficiente desempeño de las construcciones de aquella época. En el año de 1928, el Gobierno aprobó el proyecto de Ley N. 4.563 que regulaba las construcciones “antisísmicas” orientándolas a ser más seguras y de calidad. Esta ley estableció que “*es deber de las municipalidades en ciudades con más de 20,000 habitantes... elaborar un anteproyecto para la transformación de la ciudad. Sobre la base de este anteproyecto, el Presidente de la Republica ordenara establecer un proyecto definitivo la cual, una vez aprobado, servirá para dar las líneas de edificación*” (Cordero Quinzacara, 2017).

Así nació la primera *Ordenanza General de Construcción y Urbanismo* (OGCU), la cual probablemente sea la primera norma a nivel internacional que contiene conceptos de diseño fundamentado en la literatura teórica de aquella época en temas relacionados con espectros de aceleración, consideración del tipo de suelo, teorías dinámicas y cimentación. Este documento claramente constituye el primer documento legal en cuanto a materia de construcción, previo a su aprobación final en 1935 (Camus et al., 2016).

La Ordenanza contenía requerimientos como la obligatoriedad de construir columnas y vigas de hormigón en la construcción de mampostería con ladrillo (mampostería confinada ideada por ingenieros italianos), limitación en el uso de ciertos materiales, prohibición de algunos tipos de construcción. La estructura debía resistir una fuerza lateral en la base entre el 5% al 10% el peso de este en función de las condiciones del terreno y otros factores (Wood et al., 1987, p. 14).

El 24 de enero de 1939, se produce un terremoto de  $M_W = 7.8$  en Chillán provocando el colapso de al menos el 59% de las casas de adobe existentes y 44% de viviendas de ladrillo. Las viviendas de hormigón armado y albañilería reforzada no

reportaron daños de consideración en al menos el 53% de la ciudad. Dicho evento verificó la efectividad de estos materiales y su buen comportamiento ante un sismo, pero de igual manera, se vio necesaria una revisión a la Ordenanza (Larraín Navarro, 1992). Según datos de archivos de la Oficina Nacional de Emergencia Ministerio del Interior (ONEMI), este evento telúrico provocó la muerte de 25.000 personas, 50.000 heridos y pérdidas económicas por daños materiales de aproximadamente USD \$2.700.000.000. Inmediatamente, una nueva Ordenanza General fue aprobada en 1939, limitando la altura de la edificación a diferentes sistemas con ciertos materiales de construcción. Las viviendas de adobe debían construirse hasta de 1 piso o 3.5 metros de altura. Estaba prohibida la construcción con mampostería no reforzada. Se presentaba un nuevo método de cálculo para hallar la fuerza lateral en la estructura y su dependencia del periodo, entre otros nuevos requerimientos. Inmediatamente, ingenieros, contratistas y arquitectos se opusieron a los cambios especificados en la norma debido al incremento significativo en los costos de construcción. Así, en 1945, el gobierno nombró un comité para la redacción de una nueva ordenanza con requisitos menos exigentes cuya aprobación se dio por Decreto el 13 de junio de 1949. Es así como la fuerza lateral se definía como  $V = C * P$ , donde “P” era el peso total de la estructura más un 25% o 50% de la carga viva, según su ocupación, y “C” era el coeficiente sísmico que variaba entre  $0.05 * g$  y  $0.15 * g$ , dependiendo del periodo de la edificación (Wood et al., 1987).

#### **5.1.4.2. Norma Chilena NCh 433 Of.72: Cálculo antisísmico de edificios**

Los terremotos de Valdivia del 21 y 22 de mayo de 1960, el segundo de  $M_W = 9.5$  y que fue acompañado de un tsunami, ocasionarían la mayor catástrofe sísmica registrada, siendo reconocido este evento como el sismo más grande en el mundo. Los efectos y repercusiones de dicha secuencia sísmica provocaron la destrucción de una extensa zona al sobrepasar las escalas de medición vigentes hasta ese entonces (Palma, 2014). Datos de la ONEMI aproximan un saldo de 3000 muertes, 4350 heridos y pérdidas materiales por aproximadamente USD \$960.000.000.

La redacción y diseño de la *Norma Chilena (NCh Of.72)* no nace directamente del sismo de 1960. En enero de 1959, el Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (INDITECNOR) ya se encontraba conformando un comité de expertos provenientes de diferentes sectores gubernamentales del estado, instituciones académicas, y consultores particulares para el estudio de un nuevo código que reemplace la Ordenanza vigente. Todos los efectos del sismo de 1960 y los conocimientos extranjeros en el campo de la ingeniería sísmica también serían considerados en la norma *NCh 433 of.72* (Barrientos, 2016). En 1962 se presentó la propuesta tentativa al comité del INDITECNOR, siendo aprobada provisionalmente en 1966, en reemplazo de la Ordenanza. El código chileno *NCh 433 of.72* fue aprobado el 15 de junio de 1972 y se convirtió en ley por Decreto del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el 22 de abril de 1974 (Wood et al., 1987).

Un dato interesante fue que la Ordenanza General no quedó obsoleta ya que la *NCh 433 Of.72* adoptó muchos criterios allí establecidos, especialmente la metodología de cálculo

estático y dinámico, mientras que, en el plano internacional, la norma de México, códigos estadounidenses locales de las ciudades de Los Ángeles, San Francisco y California, la ley de edificios de Japón fueron referenciados en la normativa chilena (Barrientos, 2016).

### **Principales modificaciones**

Fueron reconocidos dos métodos para el cálculo de estructuras sismo resistentes, el método estático y el método dinámico. Se incorporó factores en base a las recomendaciones propuestas en el Blue Book de 1968; así para el análisis estático, el cortante total en la base se definió como  $Q = K_1 * K_2 * C * P$ . Este método en comparación con su predecesor ya tomó en cuenta un coeficiente relacionado a tres tipos de importancia y sistema estructural ( $K_1$  y  $K_2$ ). Se asignó un valor de amplificación máxima de  $K_1 = 1.2$  para estructuras esenciales (estructuras con aglomeración de personas) y un mínimo de 0.8 para las provisionales (no destinadas a la habitación). Los mismos valores tendrían  $K_2$  pero en función de la forma estructural. El coeficiente sísmico “C” dependería del periodo fundamental de la estructura en la dirección considerada y del periodo del suelo. A un tipo de suelo como roca, grava densa o grava arenosa densa se le asignaría un valor  $T_0$  más bajo que a un suelo más suelto. Por ningún motivo “C” podía ser inferior a  $0.06 * g$ . Para el cálculo del peso “P” se consideraron los mismos parámetros (NCh 433. Of72, 1972).

#### **5.1.4.3. Norma Chilena NCh 433 Of.93: Diseño sísmico de edificios**

A partir de 1960, el evento sísmico más severo se experimentó el 3 de marzo de 1985, con una magnitud  $M_W = 8.0$ , con epicentro cercano al puerto de Valparaíso, mismo que afectó de manera considerable ciudades como Santiago, Viña del Mar y Valparaíso (Barrientos, 2016). Según la Biblioteca Nacional de Chile, 177 personas perdieron la vida, 2575 resultaron heridas, aproximándose a USD \$18.968.000 las pérdidas materiales según la ONEMI.

Se observaron daños severos en puentes, puertos, viviendas de adobe y estructuras de albañilería no confinada. El código de *NCh 433 Of.72* fue puesto a prueba durante este evento, demostrando ciertas deficiencias en algunas áreas, pero se demostró que algunos edificios altos construidos con hormigón armado en las zonas afectadas respondieron eficientemente y prácticamente sin daños (Delgado, 2007, p. 37). Así se inicia el nuevo estudio para su actualización incluyendo información del terremoto de 1985 y los diferentes avances en la ingeniería sismo resistente a nivel mundial.

La *NCh 433 Of.93* fue gestada y redactada en 1986 a partir de la conformación de un Comité Coordinador de Normas Sismo resistentes de la División del INN (el INN es el sucesor legal del INDITECNOR desde 1973). En esta actualización participaron alrededor de 30 profesionales y docentes universitarios. Después de realizarse la consulta pública en 1989, mediante Decreto Supremo, la norma chilena es declarada oficial el 24 de agosto de 1993 dentro del MINVU (NCh 433 Of.93, 1993).

## Principales modificaciones

Con respecto a su predecesor, la NCh 433 Of.93 tuvo varios cambios de importancia como su nuevo alcance ya que esta norma no aplicaba a presas, acueductos, muelles, entre otros. El cálculo del corte basal estaba dado por  $Q_0 = C * I * P$  y limitado para cierto tipo de estructuras. Ahora “ $I$ ” representaría la importancia según el uso del edificio. El factor “ $C$ ” continuaba siendo el coeficiente sísmico, pero ahora en función del periodo de la estructura, “ $P$ ” representa el peso total de la edificación.

El suelo ahora se clasificaba según su tipo ya sea I, II, III y IV, y el factor de reducción “ $R$ ” se establecía según el sistema y material estructural.

Un detalle interesante es que ahora ya se contaba con un mapa de zonificación sísmica, que representaba la aceleración máxima efectiva del suelo  $A_0$ . Se distinguieron tres zonas en el territorio nacional, siendo la zona uno la más baja con  $0.20 * g$  y la zona tres, la máxima, con  $0.40 g$ . Se asignaron cuatro categorías al coeficiente “ $I$ ”, según el uso (A, B, C y D), considerando una amplificación desde 0.6 para edificaciones provisionales hasta 1.2 para una estructura esencial. Se definieron tres sistemas estructurales y se subdividió a los mismos, según el material a usar en la construcción. Para esta norma ya se definieron valores de “ $R$ ” para 11 tipos de sistemas estructurales desde un  $R = 2$ , para estructuras no contempladas en la norma, hasta un  $R = 8$ , para estructuras conformadas por pórticos de concreto o acero. Se incluye además un espectro de diseño para cada estructura en función de sus periodos de mayor masa traslacional en cada sentido de análisis. Además, el desplazamiento máximo entre dos pisos consecutivos se calculó multiplicado 0.001 por la altura del piso “ $h$ ” (NCh 433 Of.93, 1993).

### 5.1.4.4. Norma Chilena NCh 433 Of.96: Diseño sísmico de Edificios

En 1994, la Asociación Chilena de sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA) organizó cuatro talleres con el fin de asimilar las experiencias de los profesionales respecto a la aplicación de la NCh 433 Of.93. Los resultados de esos talleres fueron remitidos al INN, el cual se encargaría de analizar y transformarlas en un conjunto de propuestas para ser estudiadas en el proceso de revisión de la norma. Al no ser cambios fundamentales, se omitió el proceso de consulta pública. Posteriormente, el documento pasó a estudiarse por los mismos miembros que realizaron la norma de 1993 y miembros del ACHISINA. Después de ser aprobada por el Consejo del INN en junio de 1996, el 5 de diciembre de 1996 se declaró oficial la norma NCh 433 Of.96, mediante Decreto Supremo emitido por el MINVU. (NCh 433 Of.96, 1996)

Cabe mencionar que en el nuevo código chileno se incorporaron las lecciones aprendidas del sismo de 1985 y 1995, este último de  $M_W = 8.0$  que se produjo el 30 de julio en Antofagasta (Camus et al., 2016).

## **Principales modificaciones**

Con respecto a su predecesora, *la NCh 433 Of.96* tuvo cambios menores, tales como: el incremento de conceptos en algunas definiciones, reducción en los valores de “*R*” para los sistemas estructurales, restricción de deformaciones sísmicas relativas para pisos sin diafragma rígido, entre otros. Se conservó la fórmula del cortante basal, pero se amplificó 2.75 veces más el coeficiente sísmico “*C*” y se establecieron valores máximos del mismo. Se modificó la tabla 6.3, con respecto a la norma predecesora, en la cual se establecían valores de los parámetros que dependen del tipo de suelo (NCh 433 Of.96, 1996).

### **5.1.4.5. NCh 433 Of.96 Modificada en 2009: Diseño sísmico de Edificios**

A principio de los años 80, las municipalidades eran encargadas de la revisión de las estructuras mediante la contratación de ingenieros estructurales destacados de aquella época. Esto generó estancamiento en el proceso de revisión de las estructuras por la incapacidad de cubrir el flujo creciente de construcción, obligando a dejar sin efecto las revisiones municipales por parte del gobierno y preocupando a los profesionales de la Cámara Chilena de Construcción (CCHC). De esta manera, surgió la idea del Registro Nacional de Revisores de Proyectos de Calculo Estructural. El éxito de Chile en cuanto a la vanguardia del diseño y construcción sismo resistente no se basa únicamente en la normativa, la Ley 19.748, promulgada en 2001 y publicada en el Registro Oficial en el 2002, fue un factor fundamental ya que obligó a realizar inspecciones técnicas de las estructuras, es decir que debe existir un Revisor externo que se haga responsable de la calidad de la construcción, certifique las buenas condiciones de los materiales y que la construcción se realice de acuerdo con los planos, especificaciones técnicas y normativa vigente. Esta norma fue concebida gracias al arduo trabajo de la Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales (AICE), creada en 1996 y constituida como persona jurídica en 1998 (Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales, 2016).

A inicios del 2001, miembros de la ACHISINA se encargaron de clarificar y modificar los alcances que serán considerados en la norma *NCh 433 Of.96 Modificada en 2009*, terminando sus actividades a mediados del mismo año. Desde el 2002 hasta el 2004, la propuesta de modificación se envió a 600 profesionales y se creó una página Web de ACHISINA para consultas. Sin duda, esta actualización se dio debido al avance de la ingeniería sísmica en la última década y siguiendo el mismo proceso para la oficialización de la norma realizado en la modificación de 1993. La norma fue aprobada por el Consejo del INN en noviembre del 2009.

Cabe notar que, en el 2003 se oficializa la *NCh 2369: Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales* y la *NCh 2745: Análisis y Diseño Sísmico de Edificios con Aislación Sísmica*.



## Principales modificaciones

Los cambios introducidos en la norma *NCh 433 Of.96 Modificada en 2009* son mínimos, por lo que no tuvo una consulta pública. Sus cambios fueron únicamente conceptuales en varios capítulos de la norma. Se abandona la nomenclatura para la clasificación por uso de la edificación, ahora se clasificaría en base a criterios más adecuados, reconociéndolos como tipo (A, B, C, D y E). Estos reemplazarían al tipo I, II, III y IV. Para la clasificación del valor “R” también se consideraron los tipos de materiales usados en cada sistema estructural, llevando con ello a un refinamiento en los valores numéricos de “R” (NCh 433 Of.96 Modificada En 2009, 2009).

### 5.1.4.6. *NCh 433 Of.96 Modificada en 2012: Diseño sísmico de Edificios*

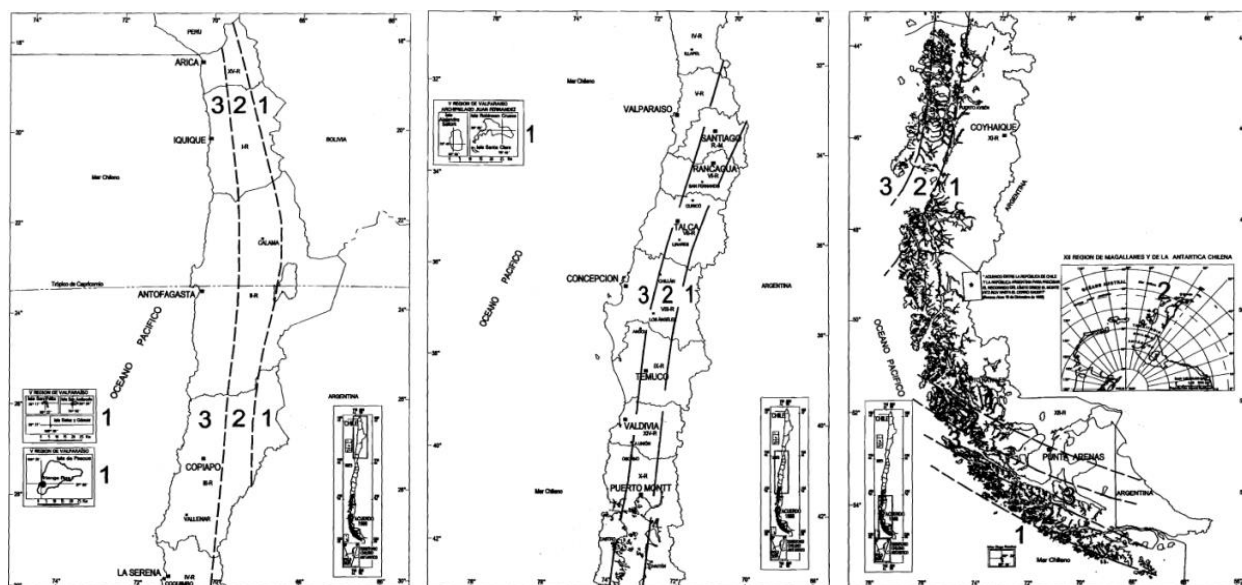
El terremoto del 27 de febrero del 2010 fue conocido como el segundo más grande del país y entre los 10 más fuertes en todo el mundo, tuvo una magnitud de  $M_W = 8.8$  y causó un daño importante en la zona central de Chile, especialmente Concepción, Viña del Mar y Santiago, en donde al menos vive el 40% de la población del país (Lagos et al., 2012). Se perdieron 521 vidas. En esa cifra, se encuentran incluidas 21 personas fallecidas debido al posterior tsunami y 56 desaparecidos. El Gobierno estimó que el daño fue de al menos USD \$ 30.000.000.000. El terremoto fue el primero en ser registrado a nivel mundial por una red de acelerógrafos ubicados en diferentes partes del país, considerándose como uno de larga duración (2.5 minutos). Los acelerogramas más importantes fueron los obtenidos por un acelerógrafo ubicado en el centro de Concepción, mostrando un pico con un periodo de 2 s. debido al suelo arenoso, además se obtuvieron lecturas aproximadas de hasta  $1.0 * g$  en Angol y en otras partes del país (Guendelman et al., 2012).

Posteriormente al terremoto y como consecuencia de los graves daños estructurales en edificios, el MINVU conformó un Comité para introducir modificaciones a la norma *NCh 433 Of.96 Modificada en 2009*. Después de estudiar el trabajo realizado por el Comité, el Instituto de la Construcción procede a aprobarlo, y posterior a la consulta pública, se dio origen al Decreto Supremo que oficializó la primera actualización en febrero del 2011 y la segunda actualización el 13 de diciembre del 2011 (NCh 433 Of.96 Modificada En 2012, 2012).

## Principales modificaciones

Cabe destacar que el mapa de zonificación sísmica de las regiones de Chile ha conservado su esencia hasta la actualidad, desde su aparición en la norma de 1993, dicho mapa se muestra en la **Figura 11**. Entre los diferentes parámetros propuestos, que añadieron un nivel de exigencia mayor, tenemos: el cambio en la clasificación dinámica para los diferentes tipos de suelos desde el tipo A hasta el tipo F, en lugar del tipo I hasta el tipo IV, las condiciones de exploración del suelo y el factor “S” (parámetro relativo al tipo de suelo) usado en la obtención del espectro de la norma. Además, se incrementaron varias consideraciones adicionales en la mayoría de los capítulos, entre otros cambios. El

desplazamiento máximo entre dos pisos consecutivos se calculó multiplicado 0.001 por la altura del piso “h” (NCh 433 Of.96 Modificada En 2012, 2012).




**Figura 11** Mapa de zonificación sísmica de las regiones de Chile




Fuente: NCh 433 Of.96 Modificada en 2012

En cuanto a la amenaza de tsunami, a partir de las graves consecuencias provocadas por el terremoto que en el año 2010 afectó a la zona céntrica del país, el MINVU realizó un proceso de análisis de la normativa legal, reglamentaria y técnica vigente, que regula el proceso de construcción en sus distintos aspectos. Para llevar a cabo dicho análisis se solicitó al Instituto de la Construcción la colaboración a través de un comité de expertos en cada materia. El trabajo desarrollado por el grupo de expertos se ha traducido en una propuesta de normas, denominadas Normas Técnicas Minvu (NTM). Entre ellas se encuentra la norma NTM007, misma que genera importantes cambios en la regulación del diseño de construcciones en la zona costanera del país, en la cual se garantiza que las estructuras mantengan su habitabilidad y soporte, resistiendo así a diversos tipos de cargas como impacto, causada por el choque de escombros que son arrastradas por el agua (Caro, 2011). Esta norma fue establecida mediante Res. Ex. el 5 de diciembre del 2011, y trata acerca del diseño de estructuras en áreas de riesgo, pero no se considera una normativa obligatoria de cumplir (Camus et al., 2016).

## 5.2. Instituciones encargadas de desarrollar, actualizar y aprobar los códigos sismo resistentes.

**Tabla 1:** Códigos de diseño sismo resistente vigentes en países de estudio




AÑO DE EXPEDICIÓN OFICIAL	PAÍS	CÓDIGO	ENTIDAD ENCARGADA DE DESARROLLAR Y ACTUALIZAR	ENTIDAD ENCARGADA DE EXPEDIR Y APROBAR
2010		Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica "AIS"	Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes









2015		NEC-SE-DS Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda "MIDUVI"	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda "MIDUVI"
2018		NTE E.030 Diseño sismo resistente	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción "SENCICO"	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
2012		Norma Chilena de Diseño Sísmico de Edificios (NCh 433)	Instituto Nacional de Normalización "INN"	Ministerio de Vivienda y Urbanismo "MINVU"

Fuente: Autor (2022)





### 5.3. Matriz de principales motivos para la creación o actualización de códigos.

Tabla 2: Principales motivos para la creación y actualización de normativas sismo resistentes

AÑO	PAÍS	CÓDIGO	EVENTO	PRINCIPALES CAMBIOS E IMPLEMENTACIONES
1928		Ordenanza General de Construcciones y Urbanización	$M_W = 7.6$ Sismo de Talca. 1928	Resistir una carga lateral en la base entre el 5% al 10% del peso. Obligatoriedad de construcción de mampostería confinada. El proyecto de norma nace un año después de la UBC-1927.
1939		Ordenanza General de Construcciones y Urbanización	$M_W = 7.8$ Sismo de Chillán. 1939	Ineficiente respuesta de construcciones de adobe, se decide limitar su altura. El cortante en la base se ve modificado en función al periodo fundamental de la estructura.
1949		Ordenanza General de Construcciones y Urbanización	Alto costo constructivo con norma la anterior, oposición de profesionales.	Fuerza lateral $V = C * P$ , donde "C" era el coeficiente sísmico que variaba entre $0.05 * g$ y $0.15 * g$ y al peso "P" se le incrementaba el 25% o 50% de la carga viva según su ocupación.
1951		Código Nacional de Construcciones	$M_W = 6.8$ Sismo de Ambato. 1949	Apoyo del Ingeniero. H. J. Brunnier. Se adoptó las principales consideraciones del Uniform Building Code, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción de Chile y la norma de Italia.
1970		Reglamento Nacional de Construcciones. RNC-1970	Primeras publicaciones del SEAOC: The Blue Book	Fuerza lateral $H = U * K * C * P$ . No se definió factores de modificación debido al tipo de suelo. Se tuvo el primer mapa de regionalización sísmica. Se utilizó el factor "K" definido por el SEAOC.

1972		Norma Chilena NCh 433 Of.72: Cálculo antisísmico de edificios	Avances en tecnologías y conocimientos extranjeros		Fuerza Lateral $Q = K1 * K2 * C * P$ . Se toma en cuenta tres factores de importancia y sistema estructural. El factor "C" dependería del periodo de la estructura y del periodo del suelo. Bajo ningún concepto "C" debía ser menos a $0.06 * g$ .
1977		Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-1977	$M_W = 6.8$ Sismo de Esmeraldas. 1976		Fuerza lateral $V = I * K * C * S * W$ . Al igual que Perú, se definió al factor "K" con los mismos valores propuestos por el SEAOC. El cálculo de "C" depende del periodo de la estructura y $CS \leq 0,14$ . Para "W" se consideraba mas un 25% de la carga viva en caso de bodegas.
1977		Reglamento Nacional de Construcciones RNC-1977	$M_W = 7.7$ Sismo de Lima. 1974		Fuerza lateral $H = (Z * U * S * C) / Rd * P$ . Incorporación de un factor de condiciones de suelo "S" e importancia "I". Se reemplazó el factor de ductilidad "K" por "Rd". Se incorporó un mapa de zonificación sísmica. La deriva máxima era del 1% y su cálculo fue $0.75 * Rd$ .
1981		Requisitos Sísmicos para Edificios. AIS-100-81	Estudio de SEAOC y ATC-3 para su adaptación en el país.		Se incluye un mapa de zonificación sísmica basado en métodos estadísticos. La aceleración máxima del suelo era $0.30 * g$ y la mínima de $0.00 * g$ . Se diseño estructuras con una vida util de 50 años y una probabilidad de excedencia del 10%.
1984		Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. CCCSR-1984	$M_W = 5.6$ Sismo de Popayán. 1983		Fuerza lateral $V = C_s * W$ . Su adaptación es similar a la ATC 3-06 en cuanto a la construcción del espectro de diseño. Al peso de la estructura "W" se incrementaba un 25% de la carga viva en caso de bodegas o almacenaje. La deriva máxima de piso esa del 1.5%. Ya se empleaba un factor de reducción "R". Se conservó los valores de la aceleración máxima.
1993		Norma Chilena NCh 433 Of.93: Diseño sísmico de edificios	$M_W = 8.0$ Sismo de Valparaíso. 1985		Fuerza lateral $Q_o = C * I * P$ . El factor "C" paso a depender además de la aceleración del suelo y un factor de reducción "R" (este reemplazó a Rd). Se incorporó un mapa de zonificación sísmica. La aceleración máxima del suelo variaba entre $0.20 * g$ y $0.40 * g$ .
1996		Norma Chilena NCh 433 Of.96: Diseño sísmico de Edificios	Creación de talleres para incorporar cambios a la norma		Se conservó la formula del cortante basal pero se amplifico 2.75 veces más el coeficiente sísmico "C". Se presentaron cambios menores con respecto a la norma predecesora.
1997		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-1997	$M_W = 7.7$ Sismo de Nasca. 1996		Factor "Z" ahora se multiplicaba por la gravedad siendo $Z = 0.40 * g$ el máximo valor y $Z = 0.15 * g$ el mínimo. Se conserva coeficientes de importancia "U". Se reemplazó

				coeficiente "Rd" por "R" y su nuevo valor se amplió hasta 250% más que su predecesor. La deriva máxima era del 0.70%. El cálculo se realiza con secciones sin agrietar.
1998		Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98	Actualización de códigos sísmicos internacionales.	Cortante basal ahora es $V_s = S_a * g * M$ . Incorporación de fórmulas y valores al incluir terrenos con suelos blandos. Se eliminó la velocidad efectiva $A_v$ . La aceleración máxima del suelo era $0.45 * g$ y la mínima de $0.05 * g$ . Se añadió el grupo IV para edificaciones indispensables. El límite máximo de deriva de piso al 1% y se obtenía de $\Delta_e * 0.70$ .
2001		Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC-2001	Sismo de Morona Santiago en 1995 y avances tecnológicos	Cortante basal como $V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_E} * W$ . Se incorporó el mapa de zonificación sísmica "Z", coeficiente de reducción de resistencia "R" y penalizaciones en planta y elevación. La aceleración máxima del suelo era $0.40 * g$ y la mínima de $0.15 * g$ . Cambio en cálculo de periodo de la estructura "T". La deriva de piso se estableció como $\Delta_M = R * \Delta_E$ y no debía superar el 2%.
2003		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2003	$M_w = 8.2$ Sismo de Atico. 2001	Se amplificó las fuerzas de sismo por 1.25 con el objetivo de considerar un sismo amplificado a cargas últimas, obligando a variar los factores de reducción sísmica R. Los desplazamientos resultantes volverían a multiplicarse por $0.75 * R$ .
2006		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2006	Actualización de 66 Normas Técnicas del RNE.	Posee un nuevo formato de presentación conservándose todos los valores y fórmulas propuestas en la E.030-2003.
2009		NCh 433 Of.96 Modificada en 2009: Diseño sísmico de Edificios	Actualización debido al avance en la ingeniería sísmica	Para la clasificación del valor "R" también se consideraron los tipos de materiales usados en cada sistema estructural. Se introdujeron cambios mínimos.
2010		Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-10	Sismo de Quindío (1999), Pizarro (2004) y Quetame (2008)	Sin cambios en la ecuación del cortante sísmico y límite de deriva de piso. Se reincorporan los coeficientes $A_a$ y $A_v$ . La aceleración máxima del suelo era $0.50 * g$ y la mínima de $0.05 * g$ . Para la consideración de los efectos de sitio se incluyó el parámetro " $F_v$ " y " $F_a$ ". Modificación de los coeficientes de importancia "I".
2011		Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-SE-DS-2011	Sismos en Perú y Chile obligaron a una actualización	Norma transitoria la cual fue expedida y socializada en 2011, siendo oficializada finalmente con cambios menores en el 2015. La carga sísmica reactiva "W" es $1 * Dead + 0.25 * Live$ y en bodegas de almacenaje como $1 * Dead + 0.50 * Live$ .





2012		NCh 433 Of.96 Modificada en 2012: Diseño sísmico de Edificios	$M_W = 8.8$ Sismo en costa de Maule. 2010	El mapa de zonificación sísmica de las regiones de Chile ha conservado su esencia. Se añadieron un nivel de exigencia mayor para los diferentes tipos de suelo. Cambios en las condiciones de exploración del suelo y el factor "S" (parámetro relativo al tipo de suelo).
2014		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2014	Actualización debido al avance en la ingeniería sísmica	Ampliación de conceptos sismo resistentes.
2015		Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-SE-DS-2015	Actualización debido al avance en la ingeniería sísmica	Existe algunos cambios en comparación con la NEC-2011. Por ejemplo los valores de coeficientes como "Fa", "Fd", "Fs", "Ct", "R". La carga sísmica reactiva "W" es $1 * Dead$ y en bodegas de almacenaje como $1 * Dead + 0.25 * Live$ . El cortante basal es $V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * 0_P * 0_E} . w$ . Se establecen seis zonas sísmicas. La aceleración máxima del suelo será $\geq 0.50 * g$ y la mínima de $0.15 * g$ . La deriva inelástica se calcula como $\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ y no debe superar el 2%.
2016		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2016	Actualización debido al avance en la ingeniería sísmica	Ampliación de conceptos sismo resistentes.
2018		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2018	Actualización debido al avance en la ingeniería sísmica	Ahora existen cuatro zonas sísmicas "Z". La aceleración máxima del suelo será $0.45 * g$ y la mínima de $0.10 * g$ . Ahora existen cuatro tipos de suelo "S". Reformulación en el cálculo del factor sísmico "C". Los desplazamientos se calculaban mediante la formula $\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ . para estructuras regulares y $\Delta_M = 0.85 * R * \Delta_E$ para estructuras irregulares. Variación en valores de algunos coeficientes "R".

Fuente: Autor (2022)

#### 5.4. Número de actualizaciones de códigos sismo resistentes.

A continuación, se muestra el número de reformas que han sufrido los códigos sismo resistentes en los países de estudio, incluyendo el motivo por el cual se debió su cambio de manera resumida. Para ello se utilizará los indicadores de la **Tabla 3**.

**Tabla 3: Motivos de actualización de códigos sismo resistentes.**

MOTIVO DE ACTUALIZACIÓN	IDENTIFICACIÓN
Evento natural	
Avances en tecnología y conocimientos extranjeros	
Factores Económicos	
Sismos de importancia ocurridos tras la publicación de la norma y aun no existe actualización	

Fuente: Autor (2022)

A continuación, en la **Tabla 4** se presentan los países de estudio y el año de creación y/o actualización de los códigos sísmo resistentes. Además, se puede apreciar la cantidad de normas legales que cada país ha desarrollado. Uno de los principales resultados es el número de actualizaciones por parte de Perú y Chile, el cual, dobla aproximadamente a la cantidad de actualizaciones de normativas para Colombia y Ecuador. También se puede visualizar sismos relevantes de magnitud momento  $M_w > 7.0$  que se han registrado después de la expedición de la norma vigente. Se han registrado sismos de  $M_w \leq 7.0$ , los cuales no fueron colocados.

**Tabla 4:** Creación y actualización de códigos sísmo resistentes por año.

	SIV	Colombia	Ecuador	Perú	Chile
	1928				
	1939				
	1949				
	1951				
	1970				
	1972				
	1977				
	1981				
	1984				
	1993				
	1996				
	1997				
	1998				
	2001				
	2003				
	2006				
	2009				
	2010				
	2011				
	2012				
	2013				
	2014				
	2015				
	2016				
	2018				
	2019				
	2021				
	Actualizaciones	4	5	8	8

Fuente: Autor (2022)















## 5.5. Evolución de fórmula de la aplicación de una fuerza en la base de la estructura

La **Tabla 5** muestra los cambios que han surgido a través del tiempo en las fórmulas del cortante basal, el peso de la estructura y su límite de deriva de piso. Los parámetros con el símbolo “ – ” representa la poca relevancia que se ha prestado al parámetro, por lo cual no fue motivo de estudio en la normativa.

**Tabla 5:** Evolución de diferentes parámetros para el cálculo sismo resistente dispuesto en las normativas.

Año	País	Código	Fuerza en la base	Carga Sísmica Reactiva	Deriva de Piso
1928		Ordenanza General de Construcciones y Urbanización	Resistir una carga lateral en la base entre el 5% al 10% del peso	-	-
1939		Ordenanza General de Construcciones y Urbanización	Resistir una carga lateral en la base entre el 5% al 10% del peso	-	-
1949		Ordenanza General de Construcciones y Urbanización	$V = C * P$ ,	Sin aglomeración: $P = D + 0.25 * L$ Aglomeración: $P = D + 0.50 * L$	-
1951		Código Nacional de Construcciones	Se basaba en las buenas prácticas constructivas.	-	-
1970		Reglamento Nacional de Construcciones. RNC-1970	$H = U * K * C * P$	$C = D + \frac{0.05}{\sqrt[3]{T}} * L$	-
1972		Norma Chilena NCh 433 Of.72: Cálculo antisísmico de edificios	$Q = K1 * K2 * C * P$	Sin aglomeración: $P = D + 0.25 * L$ Aglomeración: $P = D + 0.50 * L$	-
1977		Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-1977	$V = I * K * C * S * W$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\Delta_i = \frac{1}{K} * \Delta_e$ .
1977		Reglamento Nacional de Construcciones RNC-1977	$H = \frac{Z * U * S * C}{Rd} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría B: $P = D + 0.50 * L$ Categoría A: $P = D + 1.00 * L$	$\Delta_M = 0.75 * Rd * \Delta_E$ Límite: 1.00 %.
1981		Requisitos Sísmicos para Edificios. AIS-100-81	$V = C_s * W$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\delta_i = 0.70 * C_d * \delta_{se}$ Límite: 1.50 %.
1984		Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. CCCSR-1984	$V = C_s * W$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\delta_i = 0.70 * C_d * \delta_{se}$ Límite: 1.50 %.
1993		Norma Chilena NCh 433 Of.93: Diseño sísmico de edificios	$Q_o = C * I * P$	Uso privado: $P = D + 0.25 * L$ Aglomeración: $P = D + 0.50 * L$	Límite: 0.10 %. <b>Es deriva elástica</b>



1996		Norma Chilena NCh 433 Of.96: Diseño sísmico de Edificios	$Q_0 = C * I * P$	Uso privado: $P = D + 0.25 * L$ Aglomeración: $P = D + 0.50 * L$	Límite: 0.10 %. <b>Es deriva elástica</b>
1997		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-1997	$H = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría A y B: $P = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = R * \Delta_E$ Límite: 0.70 %.
1998		Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98	$V_s = S_a * g * M$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\Delta_M = 0.70 * R * \Delta_E$ Límite: 1.00 %.
2001		Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC-2001	$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_P * \phi_E} * W$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\Delta_M = R * \Delta_E$ Límite: 2.00 %.
2003		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2003	$H = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría A y B: $P = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ Límite: 0.70 %.
2006		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2006	$H = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría A y B: $P = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ Límite: 0.70 %.
2009		NCh 433 Of.96 Modificada en 2009: Diseño sísmico de Edificios	$Q_0 = C * I * P$	Uso privado: $P = D + 0.25 * L$ Aglomeración: $P = D + 0.50 * L$	Límite: 0.10 %. <b>Es deriva elástica</b>
2010		Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-10	$V_s = S_a * g * M$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\Delta_M = 0.70 * R * \Delta_E$ Límite: 1.00 %.
2011		Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-SE-DS-2011	$V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$	Común: $W = D + 0.25 * L$ Bodegas: $W = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ Límite: 2%.
2012		NCh 433 Of.96 Modificada en 2012: Diseño sísmico de Edificios	$Q_0 = C * I * P$	Uso privado: $P = D + 0.25 * L$ Aglomeración: $P = D + 0.50 * L$	Límite: 0.10 %. <b>Es deriva elástica</b>
2014		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2014	$H = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría A y B: $P = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ Límite: 0.70 %.
2015		Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-SE-DS-2015	$V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$	Común: $W = D$ Bodegas: $W = D + 0.25 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ Límite: 2%.
2016		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2016	$H = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría A y B: $P = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ Límite: 0.70 %.
2018		Norma Técnica de Edificaciones. NTE E.030-2018	$H = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$	Categoría C: $P = D + 0.25 * L$ Categoría A y B: $P = D + 0.50 * L$	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ . a estructuras regulares y $\Delta_M = 0.85 * R * \Delta_E$ a estructuras irregulares. Límite: 0.70%

Fuente: Autor (2022)

## 5.6. Principales retos y actualización que deberían abordar las normativas sismo resistentes de Colombia, Ecuador, Perú y Chile.

El martes 27 de abril del 2021, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI realizó el taller virtual denominado “Difusión y Socialización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción”, en el cual se trató diferentes temas acerca de la actualización de varios capítulos de la NEC, entre ellos se encuentra la NEC - SE - DS. Los capítulos en reforma y el estado de su proceso se muestra en la **Tabla 4**.

La NEC – SE – DS, cuya actualización inició en septiembre del 2020 y hasta la fecha de publicación del taller, presenta un avance del 33%, dándose hasta esa fecha, seis reuniones entre los miembros del comité técnico. Según la programación del MIDUVI, se tenía planificado terminar la actualización en el mes de noviembre del año 2021, para su posterior expedición por acuerdo ministerial en el año 2022.

**Tabla 6:** Estado de actualización de capítulos de la NEC

PROCESOS NEC	ESTADOS DE LOS CAPITULOS DE LA NEC															
	2020				2021											
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	
GEOTENICA Y CIMETACIONES NEC-SE-GC					EN PROCESO DE ACTUALIZACIÓN: 15 REUNIONES											EN PROCESO DE ACTUALIZACION
CARGAS NO SÍSMICAS NEC-SE-CG					EN PROCESO DE ACTUALIZACIÓN: 11 REUNIONES											EN PROCESO DE ACTUALIZACION
ESTRUCTURAS DE ACERO NEC-SE-AC					EN PROCESO DE ACTUALIZACIÓN: 11 REUNIONES											EN PROCESO DE ACTUALIZACION
DISEÑO SISMO RESISTENTE NEC-SE-DS																PROC. DE ACTUALIZACIÓN: 6 REUNIONES
ESTRUCTURAS DE MADERA NEC-SE-MD																PROC. DE ACTUALIZ: 6 REUNIONES
REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS NEC-SE-RE																PROC. DE ACTUALIZ: 4 REUNIONES
MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL NEC-SE-MP																PROC. DE ACTUALIZ: 4 REUNIONES
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN NEC-SE-HM																PROC. DE ACTUALIZ: 4 REUNIONES
VIVIENDA DE 1 Y 2 PISOS NEC-SE-VIVIENDA																PROC. DE ACTUALIZ: 4 REUNIONES

**Fuente:** Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

La nueva actualización propone retos muy importantes, retos que países como Colombia, Perú y Chile ya enfrentaron. Un ejemplo de esto es la disminución del límite máximo de deriva de piso presentado en las normas vigentes de países como Colombia, con el 1.00%, Ecuador con el 2.00%, Perú con 0.07% y Chile con el  $0.001 * H$  donde “H” es la altura de entrespiso. Claramente se muestra que Ecuador tiene la deriva de piso menos exigente, en cuanto a edificaciones de concreto reforzado, en comparación con los otros códigos.

Otro parámetro fundamental en los códigos es la carga sísmica o también llamada carga reactiva por sismo. Colombia y Ecuador utilizan el 100% de la carga muerta para viviendas comunes e incrementando el 25% de la carga viva en el caso de almacenes o depósitos. Perú estima el peso de la estructura incrementando al valor de la carga muerta un porcentaje del 25% de la carga viva a viviendas comunes e incrementando el 50% a edificaciones en la categoría A y B (categoría de importancia alta). Chile por su parte, establece el valor de carga sísmica reactiva al 100% de la carga muerta más el 25% de la

carga viva en construcciones de uso privado o público, mientras que adiciona el 50% de la carga viva cuando se trata de construcciones en donde existe aglomeración de personas. Este dato muestra como en Perú y Chile se consideran parámetros de diseño más exigentes, ya que incrementan en un 25% más la carga viva en el cálculo del peso de la estructura, en cualquier tipo de edificación.

El factor de reducción de resistencia “ $R$ ”, también varía de un país a otro, por ejemplo, para sistemas de pórticos de hormigón resistente a momento, Colombia y Chile plantean un  $R = 7$ , Ecuador y Perú proponen un  $R = 8$ . Mientras más alto es el valor de “ $R$ ”, más capacidad de disipación de energía poseería el sistema estructural, es decir, la estructura sería, en teoría, más dúctil. Por lo tanto, en Ecuador y Perú el valor del cortante basal es una magnitud más pequeña, en comparación que el valor que se obtendría con un  $R$  igual a 7 en Colombia y Chile. Todos los países tienen el desafío de actualizar las tablas de valores “ $R$ ”, ya que para profesionales y estudiantes no resulta satisfactorio como un determinado valor intenta justificar todo un conjunto de variables como lo son: materiales, sistemas estructurales, una ductilidad verídica de la estructura, entre otros. Esto debido a que no podemos estar cómodos ante un valor que relacione su comportamiento inelástico ante un eventual colapso de la estructura ocasionado por un evento sísmico.

## CAPÍTULO V

### 6. Conclusiones

- Las normas de diseño sismo resistente en Ecuador y Chile, desde su creación, han sido impulsadas por instituciones adherentes al gobierno nacional, siendo financiadas por el mismo, mientras que los códigos de Colombia y Perú fueron creados a partir de instituciones privadas o académicas para su posterior adhesión a los gobiernos nacionales. Hoy en día, los principales precursores de la actualización de las normas de diseño sismo resistente son entes, ministerios, asociaciones u organismos públicos creados propiamente para este fin.
- La creación de los códigos sismo resistentes en Ecuador y Chile se dieron debido a las consecuencias dejadas por el sismo de Ambato y de Talca, respectivamente, mientras que Colombia y Perú ya poseían diferentes estudios en materia sísmica y código internacionales. Además, los principales motivos para las actualizaciones y reformas de normativas en cada país fueron tanto las devastadoras consecuencias de eventos sísmicos como la actualización de los códigos internacionales, siendo los nuevos códigos de Estados Unidos los principales precursores de la actualización de los códigos en América Latina.
- Desde la creación de las normas de diseño sismo resistente en cada país, el aplicar una fuerza en la base de la estructura como resultado de la acción de un sismo de diseño, ha sido la hipótesis principal que tienen en común Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Actualmente se sigue aplicando este concepto, pero la manera de calcular esta fuerza difiere para cada país debido a diversas variables como la zonificación sísmica, el tipo de suelo existente, la sismicidad histórica que presenta cada región, entre otros.
- La Ordenanza General de Construcción y Urbanismo, creada en Chile el año de 1928 se considera la primera norma de diseño sismo resistente entre los países de estudio, la cual nace de los principales fundamentos teóricos de la época. Hoy en día, después de 94 años de su expedición y con la ahora llamada Norma Chilena 433 Of.96 modificada en el año 2012, Chile es reconocida internacionalmente como pionera en materia sísmica de la región, ya que, las consecuencias de los terremotos sobre el país han servido de experiencia para la reforma de dicho código.

## **7. Recomendaciones**

- Se debería realizar un estudio de comparación entre los cortantes basales de las edificaciones, considerando las condiciones que se presentarían en Colombia, Ecuador, Perú y Chile, con la finalidad de conocer el cortante basal real de la estructura y poder establecer que norma es más permisible ante un evento sísmico y qué código sísmico resistente permite la diferencia de precio en la construcción de las mismas.
- Se debería de realizar un estudio sobre la diferencia de aceleración máxima en roca presentada en cada país ya que, como se muestra en la Figura 1, una aceleración máxima en roca en los límites entre Perú y Ecuador y la frontera entre Colombia y Ecuador demuestran la falta de coordinación y colaboración en materia sísmica de cada país. Estas discrepancias, en la mayoría de los casos, es más un tema político que contributivo.

## 8. Bibliografía

- Abad, J. C., & Torres, R. (2015). Estudio de los coeficientes de reducción de respuesta estructural “R” de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. *El Factor de Redundancia*, 51–56.
- Abe, K. (1972). Mechanics and tectonic implications of the 1966 and 1970 Peru earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 5(C), 367–379. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(72\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0031-9201(72)90108-2)
- Aguiar Falconí, R. (2007). *Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE).
- Aguiar, R. (2010). Peligrosidad sísmica del Ecuador y descripción de los puentes construidos sobre el estuario del río Esmeraldas, con aisladores de base FPS. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 15.
- Alvitez, L. (2017). “Análisis comparativo entre las normas técnicas E.030 Diseño Sismorresistente 2016 y la norma técnica E.030 Diseño Sismorresistente 2006.” Universidad Particular de Chiclayo.
- NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente, (1998).
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (1998). *NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente* (Tomo 1).
- NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, (2010).
- Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales. (2016). Inicios y trayectoria de la Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales (AICE). *Revista Anual*, 1.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Perfil de Riesgo de Desastres por Evento Sísmico de Ecuador*.
- Barrientos, M. (2016). *La Arquitectura De Los Terremotos En Chile (1929-1972)*. Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile).
- Bernal, L. (2007). *Cronología histórica de los terremoto más destructivos en el Perú 1533-2007*.
- Blanco Blasco, A. (2010). Evolución de las normas sísmicas en el Perú. *ACI-Perú*, 66.
- Callejas Montero, D. (2018). *Regeneración urbana del centro de Ambato utilizando vacíos urbanos como detonantes*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Camus, P., Arenas, F., Lagos, M., & Romero, A. (2016). Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. *Revista de Geografía Norte Grande*, 20(64), 9–20. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022016000200002>
- Candia, G., MacEdo, J., & Magna-Verdugo, C. (2018). *An integrated platform for seismic hazard evaluation*. 1, 390–400.
- Caro, C. (Ministerio de U. y V. (2011). Normativa. *Norma de Edificación En Zonas Inundables Por Tsumani*, 74, 47.
- Cordero Quinzacara, E. (2017). La formación del Derecho urbanístico chileno a partir del siglo XIX: de la legislación urbanística al Derecho urbanístico integrado. *Revista de Derecho (Valdivia)*, 30(1), 127–152.
- Córdova, C. (2012). Seminario de promoción de la normatividad para el diseño y construcción de edificaciones seguras. *Diapositiva de PowerPoint*, 23–80.
- Delgado, M. (2007). *Estudio de la posibilidad de ampliación del edificio Rodríguez, de la Secretaría Ministerial de Salud, Novena Región*. Universidad Austral de Chile.
- Diebold, J., Moore, K., Hale, T., & Mochizuki, G. (2008). SEAOC Blue Book: Seismic Design Recommendations 1959 to 2008. *The 14th World Conference on Earthquake*

- Engineering*, 8.
- Gómez Cano, J. C., & Farbiarz Farbiarz, J. (2005). Structural design procedures based on NSR-98 errors, examples and update proposals. *DYNA*, 72(147), 7–21.
- González Pinzón, A. L. (2014). La historia no contada del primer código de construcción en Colombia–30 años. *Revista de Ingeniería*, 40, 82–84.
- Guendelman, T., Saragoni, G. R., & Verdugo, R. (2012). Chilean emergency seismic design code for buildings after El Maule 2010 earthquake. *Proc. 15 WCEE, Paper*, 4480.
- Herraiz, M. (1997). *Conceptos Básicos de la Sismología para ingenieros* (Primera Ed).
- Hurtado, J. E. A., & Lopez, D. V. (1999). *Nasca earthquake, November 12, 1996, Peru*. 749–758.
- Guía Popular de Construcción Sismo Resistente, 86 (1976).
- Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C): Requisitos de Diseño, (1979).
- Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C): Requisitos Generales de Diseño., (2001).
- Instituto Geofísico. (2013). *Un día como hoy*. Escuela Politécnica Nacional.
- NCh 433. Of.72, 19 (1972). Instituto Nacional de Normalización. (2021). *Sobre INN*.
- NCh 433 Of.93, 50 (1993). Instituto Nacional de Normalización. (2021). *Sobre INN*.
- NCh 433 Of.96, 51 (1996). Instituto Nacional de Normalización. (2021). *Sobre INN*.
- NCh 433 Of.96 Modificada en 2009, (2009). Instituto Nacional de Normalización. (2021). *Sobre INN*.
- NCh 433 Of.96 Modificada en 2012, 77 (2012). Instituto Nacional de Normalización. (2021). *Sobre INN*.
- Jiménez, C., Carbonel, C., & Villegas-Lanza, J. C. (2020). Seismic Source of the Earthquake of Camana Peru 2001 (Mw 8.2) from Joint Inversion of Geodetic and Tsunami Data. *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02616-8>
- Jurado Amaluisa, L. A. (2016). *Comparación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 aplicadas al análisis estructural del edificio “Manuela Sáenz” mediante el uso del programa CYPECAD*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
....
- Lafuente, M. (2014). *Las normas sísmicas de edificaciones en Venezuela y otros países de América Latina*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Lafuente, M., Grases, J., & Genatios, C. (2014). *Revisión de la normativa sísmica en América Latina* (Banco de Desarrollo de América Latina-CAF (ed.)).
- Lagos, R., Kupfer, M., Lindenberg, J., Bonelli, P., Saragoni, R., Guendelman, T., Massone, L., Boroschek, R., & Yanez, F. (2012). Seismic performance of high-rise concrete buildings in Chile. *International Journal of High-Rise Buildings*, 1(3), 181–194.
- Larraín Navarro, L. P. (1992). *El sistema natural en la planificación urbana chilena*.
- López, J., Ueda, A., & Quiñones, L. (2012). *Historia de la UNI: Volumen IV: Institucionalización como universidad frente a los retos del desarrollo (1955-1984)* (Segunda Ed).
- Martel, P. (2004). *Comparación de la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismo resistente 1997 vs. La Norma Basica de Diseño Sismo resistente 1977, aplicadas en el Peú Centros Educativos INFES (Region Sur - Arequipa, afectados por el sismo del 23 de junio del 2001)*. 6.
- Martínez, R. (2015). *Análisis comparativo de las normas de diseño sismoresistente en los países Latinoamericanos colindantes al cinturón de fuego*. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Decreto Supremo 926*.

- Norma Ecuatoriana de la construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 149 (2015).
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Preguntas y Respuestas. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC*.
- Ministerio de Vivienda. (1970). *Reglamento Nacional de Construcciones*.
- Ministerio de Vivienda. (1997). *Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismo resistente*.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2003). *Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismo resistente*.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismo resistente*.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismo resistente*.
- Niglio, O., & Valencia, W. (2013). Evolución de la ingeniería sísmica, presente y futuro: Caso Colombia e Italia. *VI Congreso Colombiano de Ingeniería Sísmica, Bucaramanga. UIS, AIS, UPB*.
- Orellana, D. (2017). “Políticas Públicas Urbanas: experiencias y debates” IV Conversatorio. *Revista Interuniversitaria de EEstudios Urbanos dE Ecuador, 1, 9*.
- Pachano, W., Durán Ballén, S., & Moreno Loor, L. (1951). Memoria del proyecto del plan regulador de Ambato. In S. Durán-Ballén, L. Moreno Loor, & Ecuador (Eds.), *Plan regulador de Ambato*. Talleres Gráficos Nacionales.
- Palma, I. (2014). *Comparación entre la antigua norma sísmica Chilena NCh433of96 Mpd. 2009 y su modificación post 27-F aplicado al diseño del edificio de odontología UACH*. Universidad Austral de Chile.
- Paz, M. (1994). *International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs and Examples* (First Edit).
- Petersen, M. D., Harmsen, S. C., Jaiswal, K. S., Rukstales, K. S., Luco, N., Haller, K. M., Mueller, C. S., & Shumway, A. M. (2018). Seismic hazard, risk, and design for south america. *Bulletin of the Seismological Society of America, 108(2)*, 781–800. <https://doi.org/10.1785/0120170002>
- Poicon, A. (2017). *Analisis y evaluacion del riesgo sísmico en edificaciones de albañilería en el centro del Distrito de Catacaos-Piura*. Universidad Nacional de Piura.
- Pulido, N., Yoshimoto, M., & Sarabia, A. M. (2020). Broadband wavelength slip model of the 1906 Ecuador-Colombia megathrust-earthquake based on seismic intensity and tsunami data. *Tectonophysics, 774*. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228226>
- Rivadeneria, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador* (Primera Ed). Editora Nacional.
- SEAOC Seismology Committee. (2008). The SEAOC Blue Book: Seismic design recommendations. In *IIII* (Issue Agosto).
- SENCICO. (2016). *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción*.
- Theurer, M. M., Velasco, G., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería, 21(2)*, 55–64.
- Wood, S. L., Wight, J. K., & Moehle, J. P. (1987). *The 1985 Chile earthquake: observations on earthquake-resistant construction in Viña del Mar*. University of Illinois Engineering Experiment Station. College of ....