



**UTPL**  
*La Universidad Católica de Loja*

Modalidad Abierta y a Distancia



# Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad de Estructuras

**Guía didáctica**

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Geociencias

---

## Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad de Estructuras

*Guía didáctica*

Carrera	PAO Nivel
▪ Gestión de Riesgos y Desastres	VI

Autor:

Moreno Farfán Raúl Andrés



P R E V \_ 3 0 0 7

Asesoría virtual  
[www.utpl.edu.ec](http://www.utpl.edu.ec)

## **Universidad Técnica Particular de Loja**

### **Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad de Estructuras**

**Guía didáctica**

Moreno Farfán Raúl Andrés

#### **Diagramación y diseño digital:**

Ediloja Cía. Ltda.

Telefax: 593-7-2611418.

San Cayetano Alto s/n.

[www.ediloja.com.ec](http://www.ediloja.com.ec)

[edilojacialtda@ediloja.com.ec](mailto:edilojacialtda@ediloja.com.ec)

Loja-Ecuador

ISBN digital - 978-9942-39-600-6



**Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual  
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons – **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0)**. Usted es libre de **Compartir** – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. **Adaptar** – remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: **Reconocimiento**– debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatante. **No Comercial**-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. **Compartir igual**-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

# Índice

<b>1. Datos de información.....</b>	<b>7</b>
1.1. Presentación de la asignatura .....	7
1.2. Competencias genéricas de la UTPL .....	7
1.3. Competencias específicas de la carrera.....	7
1.4. Problemática que aborda la asignatura.....	8
<b>2. Metodología de aprendizaje.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje.....</b>	<b>11</b>
<b>Primer bimestre .....</b>	<b>11</b>
<b>Resultado de aprendizaje 1 y 2 .....</b>	<b>11</b>
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje .....	11
<b>Semana 1 .....</b>	<b>11</b>
<b>Unidad 1. Dinamismo, estructura y tectonismo de la Tierra.....</b>	<b>11</b>
1.1. Introducción a la asignatura .....	12
1.2. La Tierra y su continua transformación .....	14
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	16
1.3. La estructura de la Tierra .....	16
1.4. El calor de la Tierra.....	19
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	22
<b>Semana 2 .....</b>	<b>23</b>
1.5. Tectónica de placas .....	23
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	27
Autoevaluación 1.....	28
<b>Semana 3 .....</b>	<b>30</b>
<b>Unidad 2. Sismicidad.....</b>	<b>30</b>
2.1. Regiones sísmicas de la Tierra.....	30
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	34
2.2. Sismicidad en el Ecuador.....	34
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	39

<b>Semana 4 .....</b>	<b>39</b>
2.3. Ondas sísmicas.....	39
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	43
Autoevaluación 2.....	44
<b>Semana 5 .....</b>	<b>46</b>
<b>    Unidad 3. Escalas de medición de sismos y sus efectos en las personas y objetos.....</b>	<b>46</b>
3.1. Escalas de los sismos.....	46
3.2. Escalas de intensidad .....	46
<b>Semana 6 .....</b>	<b>50</b>
<b>Semana 7 .....</b>	<b>55</b>
3.3. Escalas de magnitud.....	55
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	60
Autoevaluación 3.....	61
<b>Semana 8 .....</b>	<b>63</b>
Actividades finales del bimestre .....	63
<b>Segundo bimestre .....</b>	<b>64</b>
<b>Resultado de aprendizaje 1 y 2 .....</b>	<b>64</b>
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje .....	64
<b>Semana 9 .....</b>	<b>64</b>
<b>    Unidad 4. Efectos y daños de los sismos sobre las estructuras.....</b>	<b>64</b>
4.1. Introducción.....	64
4.2. Daños ocasionados por sismos.....	65
<b>Semana 10 .....</b>	<b>71</b>
4.3. Tipos de edificios y su vulnerabilidad ante los sismos .....	71
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	84
Autoevaluación 4.....	85

<b>Semana 11 .....</b>	<b>87</b>
<b>Unidad 5. Riesgo, peligro y vulnerabilidad sísmica.....</b>	<b>87</b>
5.1. Riesgo sísmico .....	87
5.2. Peligrosidad sísmica.....	88
5.3. Vulnerabilidad sísmica .....	90
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	103
Autoevaluación 5.....	105
<b>Semana 12 .....</b>	<b>107</b>
<b>Unidad 6. Estructuración sísmica o sismorresistente.....</b>	<b>107</b>
6.1. Introducción.....	107
6.2. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014).....	109
6.3. Configuración estructural .....	112
6.4. Problemas de configuración estructural en elevación .....	122
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	132
Autoevaluación 6.....	134
<b>Semana 13 .....</b>	<b>137</b>
<b>Unidad 7. Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras ..... (pre-evento y post-evento).....</b>	<b>137</b>
7.1. Introducción.....	137
7.2. Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras ..... (pre-evento).....	137
<b>Semana 14 .....</b>	<b>150</b>
<b>Semana 15 .....</b>	<b>168</b>
7.3. Inspección y evaluación rápida de estructuras (post-evento).....	168
Autoevaluación 7.....	182
<b>Semana 16 .....</b>	<b>185</b>
Actividades finales del bimestre .....	185
Actividad de aprendizaje recomendada .....	185
<b>4. Solucionario .....</b>	<b>186</b>
<b>5. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>193</b>



---

## 1. Datos de información

---

### 1.1. Presentación de la asignatura



### 1.2. Competencias genéricas de la UTPL

- Pensamiento crítico y reflexivo.
- Compromiso e implicación social.
- Comportamiento ético.
- Comunicación oral y escrita.
- Organización y planificación del tiempo.

### 1.3. Competencias específicas de la carrera

- Maneja y evalúa datos relacionados con la gestión de riesgo (mapas temáticos de riesgo, reportes, guías metodológicas), tener una percepción más profunda, el procesamiento óptimo de la información, basado en el estudio de indicadores para tal efecto.

- Posee capacidades de análisis, síntesis, abstracción y generalización en el manejo de datos y de otras fuentes de información, para el fortalecimiento de la investigación enfocada hacia la aplicación de metodologías y procedimientos en la respuesta y preparación en la gestión del riesgo y la presencia de desastres, en escenarios particulares y específicos, y un nivel adecuado de comprensión a la resolución de conflictos.
- Contribuye a la construcción de un pensamiento pragmático y analítico que le permita en la resolución de problemas, la comprensión, el establecimiento de analogías en caso similares y la búsqueda acertada a través del procesamiento de la información en la toma de decisiones acertadas.
- Aplica técnicas y métodos de investigación para la gestión del riesgo, y su gobernanza en la búsqueda y el entendimiento de la vulnerabilidad a las diferentes amenazas que enfrenta la sociedad y el país.
- Genera y determina estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, como uno de los principales generadores de la presencia de amenazas recurrentes en el país.
- Aplica los conocimientos científico tecnológicos para atender situaciones de emergencia y entender los procesos que lo originan (amenazas, vulnerabilidades y riesgos).

#### 1.4. Problemática que aborda la asignatura

El planeta Tierra se desenvuelve en un contexto dinámico y cambiante, esta actividad se exhibe en ciertos fenómenos naturales que repercuten sobre nuestras vidas y cotidianidad; teniendo al fenómeno sísmico, el cual es una de las manifestaciones más impactantes de la naturaleza; y que ha producido a lo largo de la historia grandes pérdidas tanto humanas como económicas. Razón por lo cual, es relevante estudiar y conocer este fenómeno, en especial su efecto sobre las estructuras, ya que las últimas catástrofes sísmicas han revelado, una vez más, el inadecuado desempeño que pueden tener las construcciones (mayor vulnerabilidad) ante un sismo, por ejemplo, el terremoto de Haití en 2010 el cual se estima que provocó entre 46.000 y 316.000 muertos; 12 meses después en 2011 los sismos en Tohoku en Japón causó 20.475 decesos y dejó a 1.108 millones de

personas sin hogar, y un coste económico de 140 millones de dólares, o los terremotos de Van en Turquía o el de Sikki, en India, que representaron un total de 2.200 y 1.700 millones de dólares en pérdidas respectivamente (Kassem et al., 2020). El ejemplo más reciente en nuestro país corresponde al terremoto de Pedernales en 2016, con 661 muertes y 28.678 personas albergadas, según el informe presentado por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR, por sus siglas en español) (SGR, 2016).

Estos antecedentes, relativamente recientes, han demostrado la alta vulnerabilidad que presentan algunas estructuras en relación con la exposición de la amenaza sísmica, lo cual ha atraído la atención de investigadores y profesionales de la sismología e ingeniería estructural durante las últimas décadas, convirtiendo a la vulnerabilidad de estructuras en una preocupación importante, que se ha manifestado en desarrollar distintos procedimientos de evaluación.

Así pues, la mayor parte de las muertes ocurridas durante los sismos están asociadas a la informalidad en las construcciones (aproximadamente del 70 % en Ecuador) lo cual aumenta ampliamente su vulnerabilidad (IGEPN, 2011); con todas estas referencias, el profesional en Gestión de Riesgos y Desastres debe poseer un conocimiento sólido en Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad de Estructuras, siendo capaz de evaluar, detectar y reportar los posibles daños que se puedan presentar sobre un tipo de edificación; además de conocer los elementos de construcción estratégicos para la prevención del daño sufrido ante un evento sísmico.



---

## 2. Metodología de aprendizaje

---

La metodología de aprendizaje utilizada en la presente asignatura, se integra de los siguientes elementos: 1) responsabilidad individual, 2) interacción profesor – alumno y 3) habilidades interpersonales.

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) se utilizarán en la siguiente cátedra, a razón de la propia modalidad de estudios, la cual es a distancia, en este sentido estas herramientas tecnológicas son de mucha utilidad al momento de querer llegar al estudiante, que, por motivos de ubicación, tiempo, ocupación no le permite cursar una carrera presencial. Por medio de estos recursos tecnológicos el estudiante podrá tener una participación activa en su formación, ya que las distintas actividades síncronas y asíncronas planificadas, serán utilizadas como un complemento en su formación profesional.



### 3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje



#### Primer bimestre

##### Resultado de aprendizaje 1 y 2

- Evalúa, detecta y reporta daños de estructuras frente a un sismo.
- Conoce elementos de construcción estratégicos para la prevención del daño de estructuras ante un sismo.

Antes de conocer que es un fenómeno sísmico, su origen y su potencial de ocasionar daños, en especial sobre las estructuras y edificaciones, debemos tener claro cómo es nuestro planeta, el cual se desenvuelve en un sistema en continua transformación y movimiento. Este dinamismo permite que se generen fenómenos naturales, los cuales pueden llegar a ser una amenaza para la humanidad. Es de vital importancia conocer este funcionamiento, el cual es la base para comprender futuros conceptos que se abordarán en unidades posteriores. Para esto nos basaremos en lecturas, actividades y videos explicativos.

#### Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



##### Semana 1

#### Unidad 1. Dinamismo, estructura y tectonismo de la Tierra

Apreciado estudiante, para iniciar con el estudio de la asignatura, es importante conocer en primera instancia en qué consiste el fenómeno sísmico y sus características, por tal motivo la presente unidad nos

permitirá manejar los conceptos necesarios para comprender el dinamismo, estructura y tectonismo de la Tierra.

## 1.1. Introducción a la asignatura

La República del Ecuador está ubicada en la costa oeste del Océano Pacífico, donde forma parte del llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, caracterizada por ser la zona más susceptible a experimentar sismos, además de erupciones volcánicas en todo el planeta, esto debido a la interacción de las llamadas placas tectónicas.

Para el caso específico del Ecuador, la interacción entre la placa sudamericana y la placa de Nazca genera una zona de subducción frente a sus costas, convirtiendo a parte del territorio nacional en zonas tectónicamente activas, en donde se originan la mayor parte de sismos que ocurren en el país.

Estos conjuntos de circunstancias establecen una relación inevitable de los habitantes con los fenómenos naturales, los cuales amenazan su progreso y desarrollo como sociedad, de todos los fenómenos asociados a una zona de subducción, los más representativos en cuanto a peligrosidad son los sismos o terremotos, donde se estima que alrededor de un 90 % de energía sísmica se libera en estas zonas (Ventas, 2014).

La frecuencia con la que se producen los terremotos destructores generalmente no es alta, pero cuando estos se presentan pueden tener efectos devastadores en un país, en especial en los países en vía de desarrollo, ya que estos tienen la potencialidad de afectar a las personas, naturaleza, objetos, infraestructuras y al sistema económico de una región en general, sin contar con la pérdida de vidas cuyo precio es incalculable, como por ejemplo, el terremoto de Haití en el 2010, el cual dejó a la capital de este país Puerto Príncipe bajo escombros.

Por otra parte, varios eventos destructivos se han dado a lo largo de la historia del Ecuador, destacando los terremotos de Ambato (1949), Esmeraldas (1979), Reventador (1987), Macas (1995), Bahía (1998) (Rivadeneira et al., 2007) y el último el sucedido en Pedernales (2016) el cual cobró 661 personas fallecidas e incalculables secuelas sociales, sicológicas y económicas (SGR, 2016). En este sentido, es imperioso el conocer la sismicidad que se presenta en un país, región o localidad, con el fin de

calcular o planificar la mitigación de los efectos inherentes a un fenómeno sísmico.

Ahora, sabemos que la amenaza propia de un sismo está siempre latente, en especial en las estructuras o edificaciones donde su potencial para causar pérdidas humanas y económicas es grande, por esta razón todo profesional debe considerar la respuesta sísmica en su diseño y construcción. La respuesta dinámica, como los daños que puedan presentar los elementos estructurales y no estructurales, no solo dependen del fenómeno sísmico como tal, sino que depende gran parte del comportamiento estructural de la edificación.

Antecedentes han demostrado que mientras los diseños y construcción de las estructuras no cuenten con ingeniería, sus materiales sean de mala calidad y la mano de obra no sea calificada; mayor será el efecto que el sismo tenga sobre la edificación (Yön et al., 2017). Ahora, en Ecuador y en otros países existen diversas construcciones que no cumplen con las normas de diseño y construcción sismorresistente, lo cual eleva drásticamente la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras, y las hace mucho más propensas a sufrir daños inminentes. Aquí radica la importancia de conocer la normativa en materia de construcción vigente en el Ecuador para el diseño y construcción de estructuras enfocadas al disminuir la vulnerabilidad de las mismas ante un fenómeno sísmico, además de manejar correctamente los métodos de inspección y evaluación sísmica de estructuras para un pre y post evento sísmico (IGEPN, 2011).

- Ahora, como lectura introductoria, los invito a revisar el artículo [¿Qué tan vulnerables son las ciudades latinoamericanas ante los terremotos?](#), publicado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Además, revisar la publicación [“La informalidad en la construcción es el mayor riesgo en un terremoto”](#) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN).



Para concluir, estimado estudiante, le damos la más cordial bienvenida a esta nueva asignatura que forma parte de su experiencia académica, la cual le permitirá ampliar sus conocimientos y a su vez convertirse en un profesional apto en relación con la gestión de riesgos y desastres.

*"La perseverancia es el secreto de todos los triunfos"*

Víctor Hugo

¡Muchos éxitos!

## 1.2. La Tierra y su continua transformación

Hace un tiempo relativamente corto, se creía equivocadamente que el planeta y sus estructuras se encontraban inmóviles desde millones de años atrás. La idea de que los continentes, en especial Sudamérica y África, encajen como las piezas de un rompecabezas gigante, se originó al desarrollar los primeros mapas mundiales razonablemente precisos, pero se dio poca importancia a esta idea, hasta las primeras décadas del siglo XX cuando el meteorólogo alemán Alfred Wegener, publicó su obra "El origen de los continentes y los océanos" (Wegener et al., 2018) en la cual se establece su hipótesis de la deriva continental (Sauter, 1989).

Esta idea se sustentó recogiendo las siguientes pruebas: 1) encaje de los continentes, 2) evidencias paleontológicas (restos de fósiles), 3) tipos de rocas y semejanzas estructurales, y 4) evidencias paleoclimáticas. A partir de estas evidencias y estudios posteriores se justificó que la superficie de nuestro planeta se movía, teniendo un planeta dinámico, lo cual originó la teoría de la Tectónica de Placas (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Uno de sus más importantes principios de esta hipótesis era que en el pasado había existido un supercontinente llamado Pangea (palabra griega que significa "todas las tierras"). En esa época Norteamérica estaba unida a Europa y Asia, y América del Sur formaba un bloque continental con África, Antártida y Australia. El cual hace unos 200 millones de años en la era Mesozoica comenzó a fragmentarse en continentes más pequeños, los cuales "derivaron" a sus posiciones actuales (figura 1).

Esta teoría suscitó grandes controversias en los medios científicos, los cuales adujeron argumentos que buscaban demostrar que no era posible un movimiento de los continentes, y que estos pudieran a su vez derivar sobre el manto, por tal motivo durante muchos años esta teoría fue descartada, y solo fue incluida en libros de ciencias de la tierra o geología como una hipótesis. Sin embargo, la comunidad científica no pudo objetar la mayoría de las analogías trasatlánticas propuestas por Wegener, cuya teoría se

anticipó en varias décadas a lo que hoy es básico y esencial para nuestra comprensión del funcionamiento del planeta y para los varios procesos que se desarrollan en el interior del mismo.

En las últimas décadas del siglo XX y primeras del siglo XI, los conocimientos aportados por la investigación científica, en especial en la rama de la geofísica, geología, sismología y oceanografía, han llegado a corroborar las ideas fundamentales de Wegener; pero siendo algunas de sus partes revisadas, modificadas y otras hasta han resultado erradas. Pero sus aspectos fundamentales, han sido confirmados y sus ideas han formado parte de la moderna teoría de la tectónica de placas, la cual es aceptada hoy universalmente.

**Figura 1**

Pangea



A. Reconstrucción moderna de Pangea

B. La Pangea de Wegener

Nota. Reconstrucción de Pangea como se piensa que fue hace 200 millones de años. A. (reconstrucción moderna). B. (reconstrucción realizada por Wegener en 1915). (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Con el objetivo de reforzar los conocimientos adquiridos hasta el momento, le invitamos a realizar las siguientes actividades recomendadas:



## Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Revisar la página [¿Cómo se veía la Tierra?](#), donde podemos apreciar de manera interactiva algunos modelos antiguos de la Tierra, así como el movimiento que han tenido las masas continentales y oceánicas a través de los años, los cuales derivaron a sus posiciones actuales.
2. En el siguiente video ilustrativo: "[Deriva continental \(Origen de los Continentes\)](#)", podemos entender de mejor manera lo referido a la deriva continental.

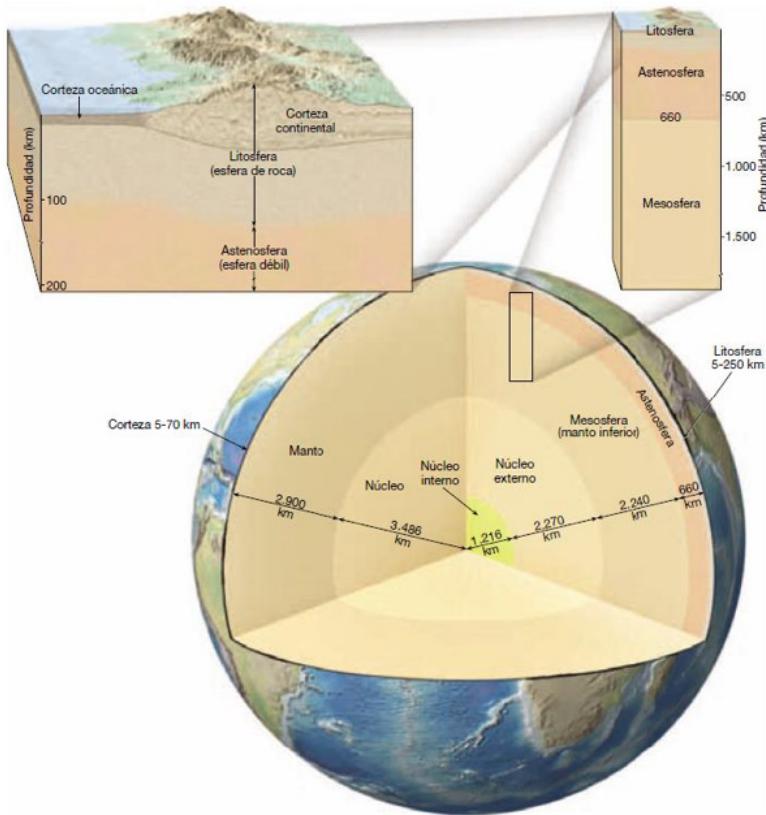
### 1.3. La estructura de la Tierra

Es conocido que los sismos o terremotos han provocado considerables destrozos y han cobrado millones de vidas durante la corta historia de la humanidad. Pero ha existido un beneficio derivado del suceso de estos fenómenos naturales, pues mediante la sismología, que es la ciencia que trata sobre el estudio de los sismos y de la propagación de las ondas sísmicas, nos ha permitido ampliar nuestros conocimientos sobre la constitución y propiedades físicas del interior de nuestro planeta.

Los conocimientos actuales nos permiten afirmar que la Tierra posee un diámetro de 12.742 km, la cual está constituida (en forma simplificada) en capas concéntricas. En los últimos tiempos diversos estudios geoquímicos y geofísicos han demostrado que las capas de la Tierra se pueden dividir en dos modelos: 1) modelo geoquímico, basado en la composición química de las capas (corteza, el manto y el núcleo), y 2) el modelo geodinámico, basado en la dinámica de las capas (zonas con carácter sólido o líquido y cuan dúctil o resistentes son). El conocimiento de estas clasificaciones es esencial para la comprensión de los diferentes procesos geológicos que se dan en el planeta, como la sismicidad, el vulcanismo o la orogénesis (formación de montañas o cordilleras) (figura 2).

**Figura 2**

*Estructura en capas de la Tierra*



Nota. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

### 1.3.1. Capas definidas por su composición

- **Corteza:** es la capa rocosa externa, comparativamente más fina de la Tierra, la cual se divide en corteza oceánica y corteza continental. La corteza oceánica tiene alrededor de 5 a 10 km de espesor y está compuesta por rocas ígneas oscuras denominadas basaltos. Por el contrario, la corteza continental tiene un grosor entre los 35 y 40 km, superando estos valores en algunas regiones montañosas, a diferencia de la corteza oceánica, la cual posee una composición química relativamente homogénea, la corteza continental está enriquecida mayoritariamente en minerales de Sílice.
- **Manto:** más del 82 % del volumen de la Tierra lo conforma el manto, que consiste en una envoltura de roca sólida que se extiende hasta una profundidad aproximada de 2.900 km.

- **Núcleo:** está compuesto por una aleación de Fe y Ni con cantidades menores de O, Si y S, elementos que forman fácilmente compuestos como el Fe, donde se presentan densidades muy altas.

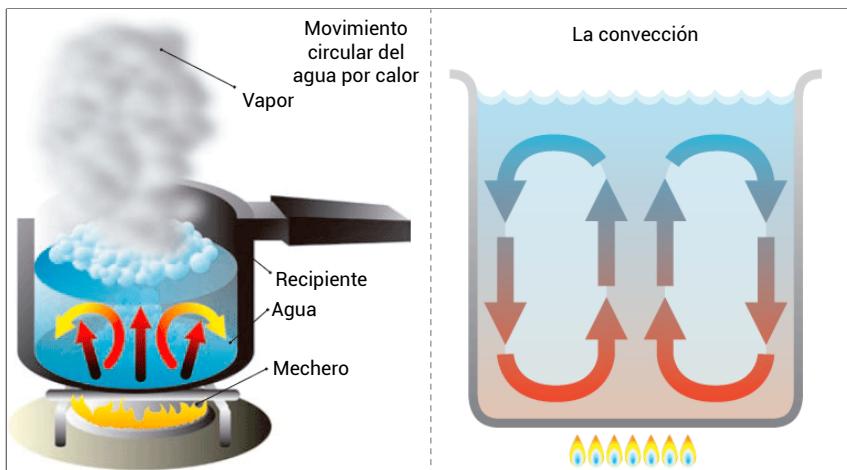
### 1.3.2. Capas definidas por sus propiedades físicas

A medida que nos adentramos en el interior de la Tierra existe un aumento gradual de temperatura, presión y densidad; según estimaciones, la temperatura presente a 100 km fluctúa entre los 1.200 °C y 1.400 °C, mientras que en el interior del planeta puede superar los 6.700 °C. Este aumento gradual de temperatura y presión afecta directamente las propiedades físicas, por tanto, el comportamiento mecánico de los materiales terrestres. La Tierra puede dividirse en cinco capas principales en función de sus propiedades físicas y su resistencia mecánica:

- **Litosfera:** (espesor entre 5 y 250 km), según sus propiedades físicas, la litosfera (esfera de roca) está formada por las cortezas continental y oceánica y la parte externa del manto superior, la cual se caracteriza por ser un nivel relativamente rígido y frío, presenta un espesor medio de aproximadamente 100 km, pero puede ser mayor en las porciones más antiguas de los continentes. En las cuencas oceánicas está presente un grosor de pocos km debajo de las dorsales oceánicas, pero aumenta hasta 100 km en regiones donde hay corteza más antigua y fría. Esta capa se encuentra fragmentada en varias “placas tectónicas”.
- **Astenosfera:** corresponde al resto del manto superior (a una profundidad aproximada de unos 660 km) se caracteriza por comportarse como un fluido denso, es una capa blanda y comparativamente plástica, donde sus condiciones de temperatura y presión permiten la existencia de una pequeña porción de roca fundida, por estas razones no se producen sismos, pero tienen una importancia fundamental para explicar el movimiento de las placas tectónicas, este movimiento se da por la presencia de celdas convectivas, el cual es un fenómeno similar al que ocurre cuando se calienta un líquido en un recipiente y las partes más frías se hunden y las más calientes suben (figura 3), lo cual provoca que las placas tectónicas o litosféricas sobre esta se muevan lentamente.

- **Mesosfera o manto inferior:** entre los 660 km y los 2.900 km, caracterizada por ser una capa más rígida que la astenosfera, en la cual los minerales se vuelven más densos sin cambiar su composición química, a pesar de su resistencia, las rocas se encuentran muy calientes y son capaces de fluir de manera gradual.
- **Núcleo interno y externo:** el núcleo está compuesto principalmente por una aleación de Fe y Ni, el cual se divide en dos regiones que presentan resistencias mecánicas muy distintas. El núcleo externo es una capa líquida de 2.270 km de grosor, en el cual las corrientes convectivas del Fe metálico son las responsables de originar el campo magnético de la Tierra. Por su parte, el núcleo interno, que es una esfera con un radio de 1.216 km (similar al diámetro de la Luna), se comporta como un sólido debido a la enorme presión.

**Figura 3**  
*Ciclo convectivo*



Nota. Anónimo

#### 1.4. El calor de la Tierra

Los seres humanos y demás organismos vivos se desarrollan en la corteza terrestre, donde las temperaturas son relativamente más frías que en el interior de la Tierra (15 °C en promedio). Las rocas fundidas o magma visibles por el vulcanismo nos dan una idea de que el interior del planeta es mucho más caliente. Pero, ¿cómo se produce este calor que originan estas rocas fundidas o magma? Según el Instituto Cartográfico y Geológico de

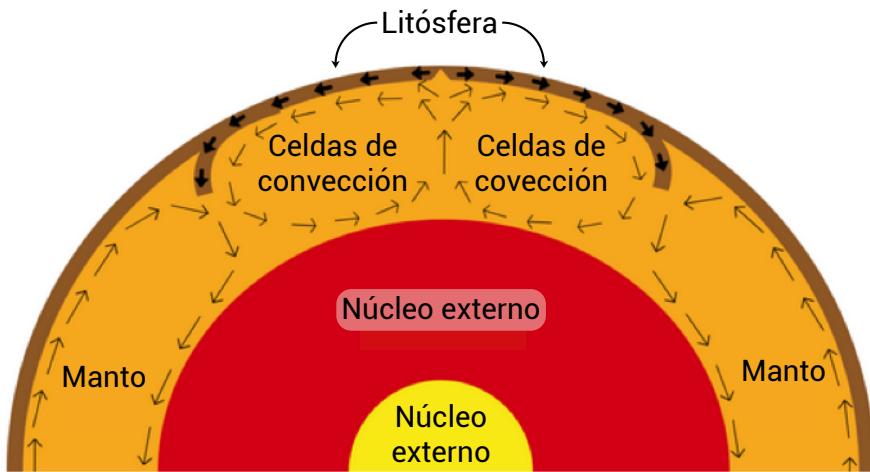
Cataluña (ICGC, por sus siglas en español) el origen del calor terrestre es la suma de varios procesos físicos que tienen lugar de forma diferenciada en su interior (ICGC, 2011), los cuales se describen a continuación:

- **Calor latente de cristalización:** sucede en el límite entre el núcleo interno y el núcleo externo, donde el primero se halla en estado sólido mientras que el segundo es líquido, en el núcleo externo se dan reacciones de cristalización de forma continua, las cuales se caracterizan por ser exotérmicas (desprenden calor), el cual se denomina calor latente de cristalización.
- **Gravitación:** la fuerza de la gravedad ejerce una comprensión hacia el centro del planeta, lo que genera calentamiento por fricción.
- **Calor sobrante de la formación del planeta:** se refiere al calor producto de los choques entre los restos espaciales del disco circunestelar que originó el planeta.
- **Calor cinético o de rozamiento:** ocurre entre el núcleo externo y el manto terrestre, donde se libera energía producto del roce producido por la respuesta del núcleo externo y el manto ante los campos de fuerza de la Luna y el Sol (fuerzas de marea).
- **Reacciones físico químicas exotérmicas:** las altas presiones y temperaturas ocasionan una inestabilidad en los minerales, que causan cambios de fases continuos, formando energía en forma de calor.

De esta manera, es sencillo suponer que la Tierra no posee un equilibrio térmico, ya que presenta un gradiente entre sus capas, lo que da origen a procesos dinámicos como la formación de celdas convectivas (figura 4), las cuales se las puede definir como la circulación y cambio de temperatura y densidad en los materiales que conforman el núcleo externo y el manto caracterizados por su comportamiento viscoso-plástico (maleables), las masas de roca semihundida más calientes y profundas se vuelven menos densas y tienden a ascender a zonas más superficiales, donde se enfrián y se vuelven densas nuevamente descendiendo hasta las partes más profundas donde se vuelven a calentar, formando de esta manera un ciclo, que influye en el movimiento de la litosfera, la cual es mucho más rígida. Es necesario recalcar que en la litosfera y en el centro del núcleo no existen celdas convectivas y la transferencia de calor ocurre por conducción.

**Figura 4**

Celdas de convección



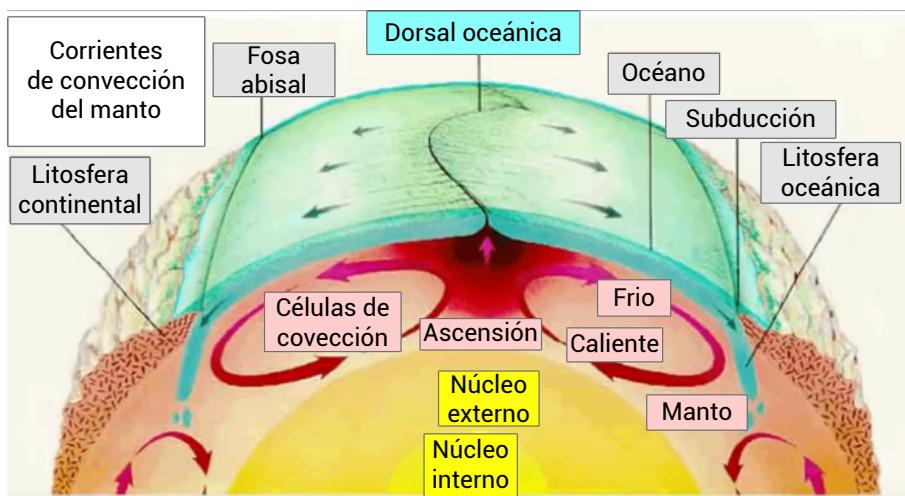
Nota. Anónimo

Ahora, la corteza terrestre, se caracteriza por ser rígida y constituida por materiales resistentes, pero esta puede llegar a ser deformada, plegada y fracturada por las fuerzas que se generan por las corrientes de convección térmica (figura 5), siendo estas las responsables de configurar la superficie de la Tierra, por ejemplo, las formas irregulares de los continentes, las cordilleras o cadenas montañosas, la presencia de volcanes, las fosas de los océanos y las cordilleras submarinas son algunos de los rasgos morfológicos, producto de estos procesos.

Según la teoría de la tectónica de placas, los movimientos, desplazamientos y deformaciones que se dan en la corteza están ligados a la estructura mecánica de la litosfera que descansa sobre la astenosfera, que la divide en placas o fragmentos.

**Figura 5**

Corrientes de convección del manto



Nota. Anónimo

Ahora, apreciado estudiante los invito a realizar las siguientes actividades recomendadas:



### Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Leer el siguiente artículo: "[El agujero más profundo jamás excavado por el ser humano](#)", acerca de la excavación más profunda realizada por el ser humano, lo cual nos dará a entender lo complejo e inhóspito que pueden llegar a ser las capas interiores de nuestro planeta.
2. Observar el siguiente video titulado: [Estructura interna de la Tierra: modelos geoquímico y geodinámico](#).



### 1.5. Tectónica de placas

#### 1.5.1. Procesos tectónicos

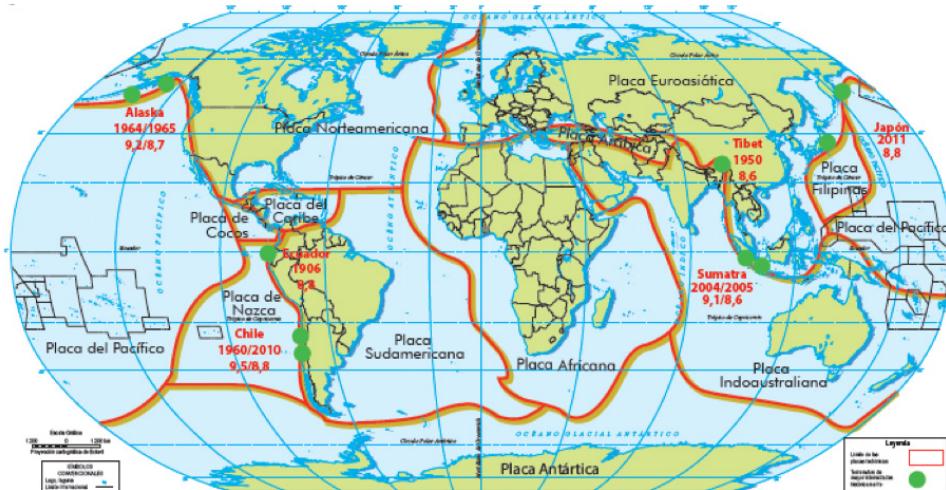
Según el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM, por sus siglas en español) la teoría de la Tectónica de Placas inició en la década de los 60's, la cual produjo un verdadero movimiento científico que estructuró y desarrolló los fundamentos irrefutables sobre la deriva de los continentes propuesta por Alfred Wegener, siendo el resultado de investigaciones geológicas y geofísicas realizadas a lo largo del siglo XX (IGM, 2017).

Por medio de mediciones batimétricas, se descubrió en el centro del Océano Atlántico un sistema montañoso que se extiende (similar a una gran costura), llamado Cordillera Centro-Atlántica, cordillera que se prolonga y ramifica a través de otros océanos formando un sistema montañoso continuo de aproximadamente 40.000 km de longitud. Lo realmente importante es que mediante investigaciones oceanográficas (mediciones magnéticas, expediciones submarinas, toma de muestras, entre otros) se ha determinado que el fondo oceánico es tanto más viejo cuanto más se aleja de la dorsal oceánica, dando una idea de que este se ensancha constantemente. Esto se explica debido a la acción de las corrientes convectivas provenientes del manto, las cuales conducen el material basáltico fundido (magma) desde las capas interiores de la Tierra y lo llevan hacia la superficie a través y a lo largo de la cordillera Centro-Oceánica (Sauter, 1989).

De acuerdo con la teoría de la tectónica de placas, la corteza terrestre está dividida en 17 placas (figura 6) que interactúan entre sí, las cuales se desplazan lateralmente unas respecto a otras, impulsadas por las corrientes de convección; donde la mayor parte de la actividad sísmica en el mundo está asociada, directa o indirectamente, con el movimiento de estas placas y con su interacción a lo largo de las zonas de contacto (90 % de los sismos registrados instrumentalmente se generan entre los bloques rígidos de la litosfera), también se estableció que en los límites entre las placas tectónicas existen zonas donde se crea nueva litosfera y otras donde la litosfera se consume o se reabsorbe. En función de estos

fenómenos se establecieron tres límites básicos: convergentes, divergentes y transformantes (ver tabla 1 en el siguiente subtema) (Rivadeneira et al., 2007). A su vez, las placas tectónicas se dividen en: 1) placas primarias (grandes); 2) placas secundarias (tamaño intermedio) y 3) microplacas (IGM, 2017).

**Figura 6**  
*Los continentes y las placas litosféricas*



Nota. (IGM, 2017)

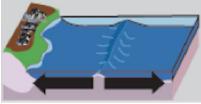
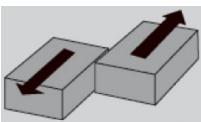
Según el IGM (2017) las placas que conforman la corteza terrestre se mueven a razón de unos cuantos centímetros cada año, pero a través de millones de años se han desplazado miles de km, lo cual ha dado origen a continentes, océanos y cordilleras, por tal motivo, se considera que el movimiento entre placas, tiene efectos importantes en la modificación del relieve de la superficie terrestre, por ejemplo, la creación de grandes cadenas montañosas paralelas a las zonas de subducción (formación de la Cordillera de los Andes y su origen debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana).

### 1.5.2. Dinámica de placas

Las placas y los movimientos que estas realizan, ocasionan que se presenten diversos tipos de límites, los cuales se describen a continuación:

- **Límites convergentes o fosas:** es el movimiento de aproximación de las placas por el cual una se introduce bajo la otra (subducción), depende del tipo de placa que interactúa, siendo de dos maneras: 1) las placas con densidades similares cuando chocan forman relieves, lo cual se denomina “zona de colisión”, un ejemplo claro es la formación de la cordillera de los Himalayas fruto de la colisión entre la placa Hindú y la placa Euroasiática; 2) una de las placas generalmente la litosfera oceánica, es más pesada que la otra, lo que causa que se hunda por debajo de la litosfera menos pesada (continente) lo cual provoca un fenómeno llamado subducción, por ejemplo, la interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana. O el caso de que una de las placas oceánicas ingrese por debajo de la otra. En estos los límites se construyen la mayoría de las cadenas montañosas de la superficie terrestre, además cuando ambas placas se bloquean y no se deslizan entre sí, se acumula energía la cual genera sismos de gran magnitud.
- **Límites divergentes o Rift:** es el movimiento de separación entre dos placas a lo largo de grandes grietas conocidas como dorsales o rifts, las placas se alejan una de otras en dirección opuesta, este fenómeno se produce más fácilmente en la corteza oceánica al ser más delgada que la placa continental. La manifestación física que resulta de este rompimiento se llama dorsal oceánica, la cual es una enorme fisura por donde sale material incandescente proveniente del manto (magma), lo cual forma una cadena montañosa en el fondo del mar que recibe aportes constantes de nuevo material magmático, que constituye una fuente de creación de corteza terrestre.
- **Límites transformantes:** consiste en el movimiento lateral de una placa con respecto de la otra, a lo largo de una falla denominada transformante, debido al movimiento opuesto de las placas, son zonas caracterizadas por su intensa actividad sísmica; estos tipos de límites se encuentran generalmente en las placas oceánicas, en las zonas de las dorsales, pero también se las puede encontrar en los continentes, por ejemplo, en la Falla de San Andrés en Estados Unidos, la cual es el límite entre las placas Pacífica y Norteamericana; en estos límites no se crea ni se destruye material cortical.

**Tabla 1****Bordes de placas**

Bordes de placas	Esquema	Elementos asociados	Fenómenos asociados	Ejemplos
Bordes Constructivos o Divergentes		Dorsales Oceánicas Gran grieta volcánica submarina. (Valle del Rift Africano)	Volcanismo en el Rift de África Presencia de grandes lagos en el Rift Africano. Nota terremoto es la percepción de un movimiento sísmico grande, esta relacionado con los daños causados. Sismo en la definición mas acertada. Sismicidad en los dorsales y rifts.	Rift Africano
Bordes Constructivos o Convergentes		Zona de Subducción La placa oceánica se mete por debajo de la continental.	Sismos grandes, Orogenesis, cordilleras perioceánicas. Sismos grandes, el sismo de Chile 1976, M. 6, sismo de Pedernales Ecuador M. 7.8	Cordillera de los Andes (La placa de Nazca se subduce debajo de la placa Sudamericana)
Las placas se acercan y se destruye la litosfera oceánica, que se recicla al pasar de nuevo al manto.		Zona de Subducción Una de las placas oceánicas se mete por debajo de la otra.	Sismos grandes. Ejemplo el sismo de Sumatra 2004 de magnitud 9 o el de Tohoku M 9 en Japón.	Archipiélago del Japón.
		Zona de Colisión Dos placas continentales colisionan, forman y originan el levantamiento de grandes cordilleras	Sismos grandes, ejemplo el sismo de Nepal 2015 M 7.8	Cordillera del himalaya (La India con el continente asiático)
Bordes Transformantes		Fallas de Transformación	Actividad sísmica, grandes sismos, modificación de los drenajes naturales.	Falla de San Andrés (La península de California, en la placa Pacífica se mueve lateralmente hacia el NW respecto de la placa Norteamericana)

Nota. (IGM, 2017)

Ahora, la actividad sísmica en los límites divergentes es generalmente menor, debido a que cerca del rift la corteza es delgada y en la cresta el material cortical está caliente y débil, lo cual no permite que se acumulen grandes cantidades de energía, teniendo una magnitud de sismos moderada. La actividad sísmica es mayor en las zonas de subducción (caso de Ecuador) donde ocurren los sismos de mayor magnitud, ya que la litosfera tiene un mayor espesor, es rígida y relativamente fría, donde los focos de los sismos se sitúan a lo largo de plano inclinado de la placa subducida (zona de Benioff), teniendo focos poco profundos frente a las costas, pero tierra adentro se localizan a profundidades entre los 50 a 300 m y por debajo de Los Andes en Sudamérica a profundidades de 600 a 700 km, por ejemplo, el terremoto de Chile de 1960 es el mayor evento sísmico del siglo XX, el cual fue generado en la zona de subducción de la placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Los límites transformantes poseen una actividad sísmica alta entre los límites anteriormente tratados, donde la profundidad de los focos es superficial y está limitada a la parte rígida de la corteza (no sobrepasan de 15 a 20 km) (Sauter, 1989; Rivadeneira et al., 2007).

Ahora, para reforzar lo aprendido en esta unidad, le invitamos a desarrollar las siguientes actividades.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Revisar el siguiente video acerca de: [Límites entre placas: divergente, convergente, transformante](#).
2. Leer el siguiente artículo sobre el terremoto de Chile en 1960 el cual es catalogado como el mayor sismo de la historia de la sismología instrumental ([Terremoto de 1960. El mayor sismo de la historia de la sismología instrumental](#)).
3. Muy bien, hemos finalizado el estudio de la primera unidad, ahora estimado estudiante lo insto a realizar la Autoevaluación 1, y a seguir trabajando con voluntad y entrega.



## Autoevaluación 1

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 1, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente actividad

1. ¿Ecuador forma parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. ¿Hace un tiempo relativamente corto, se creía acertadamente que el planeta y sus estructuras se encontraban inmóviles desde millones de años atrás?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. Una de las pruebas que no sustentó la teoría de la deriva continental fue:
  - a. Encaje de los continentes.
  - b. Los primeros mapas mundiales relativamente precisos.
  - c. Tipos de rocas y semejanzas estructurales.
  - d. Evidencias fósiles.
4. Algunas de las ideas fundamentales de Wegener han sido revisadas, modificadas y otras hasta han resultado erradas.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. ¿Las capas de la Tierra se pueden dividir en dos modelos, el modelo geoquímico y el geodinámico?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. El modelo geoquímico se basa en la dinámica de las capas (zonas con carácter sólido o líquido y cuan dúctil o resistentes son).
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
7. En las siguientes definiciones, ¿cuál corresponde a las Astenosfera?
  - a. Es la formada por las cortezas continental y oceánica.
  - b. Corresponde al resto del manto superior, se caracteriza por comportarse como un fluido denso, capa blanda y comparativamente plástica.
  - c. En esta capa los minerales se vuelven más densos sin cambiar su composición química.
  - d. Se encuentra fragmentada en varias "placas tectónicas"
8. El fondo oceánico es tanto más viejo cuanto más se aleja de la dorsal oceánica.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. Un ejemplo real de límite convergente (cuando una placa es más pesada que la otra) sería:
  - a. Formación de la cordillera de los Himalayas.
  - b. Falla de San Andrés.
  - c. Interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana.
  - d. Dorsal Centro-Oceánica.
10. La actividad sísmica es mayor en zonas de subducción (caso de Ecuador).
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

Al finalizar la Autoevaluación 1, les recomiendo verificar sus respuestas mediante el solucionario que se encuentra al final de la presente guía didáctica.

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 2. Sismicidad

Continuamos con el estudio de esta interesante asignatura, y de igual manera los invito a seguir con el mismo entusiasmo y perseverancia. En esta segunda unidad trataremos sobre la sismicidad, cuyo significado según la RAE (Real Academia Española) se refiere a la frecuencia e intensidad de los sismos en una zona, la cual será abordada desde un contexto global y local. Permitiéndole a usted estimado estudiante ampliar su conocimiento sobre esta interesante temática.

### 2.1. Regiones sísmicas de la Tierra

A finales del siglo XX se establecieron estaciones sismológicas en varios países del mundo, por medio de estos instrumentos se inició el registro instrumental de los distintos tipos de ondas sísmicas generadas en cualquier parte del globo, lo cual permitió determinar de una manera precisa la localización de los focos sísmicos y su profundidad; con el paso del tiempo se llegó a poseer un mapa a nivel planetario sobre la distribución geográfica de los sismos, y además, saber en qué zonas o partes del planeta se presenta una mayor actividad sísmica (figura 7) (Stein & Wysession, 2003).

Con el avance de la sismología moderna, llamó la atención que los focos sísmicos se concentran a lo largo de franjas relativamente angostas, siendo zonas en las cuales se presenta hasta hoy en día una marcada sismicidad (figura 8) (Sauter, 1989).

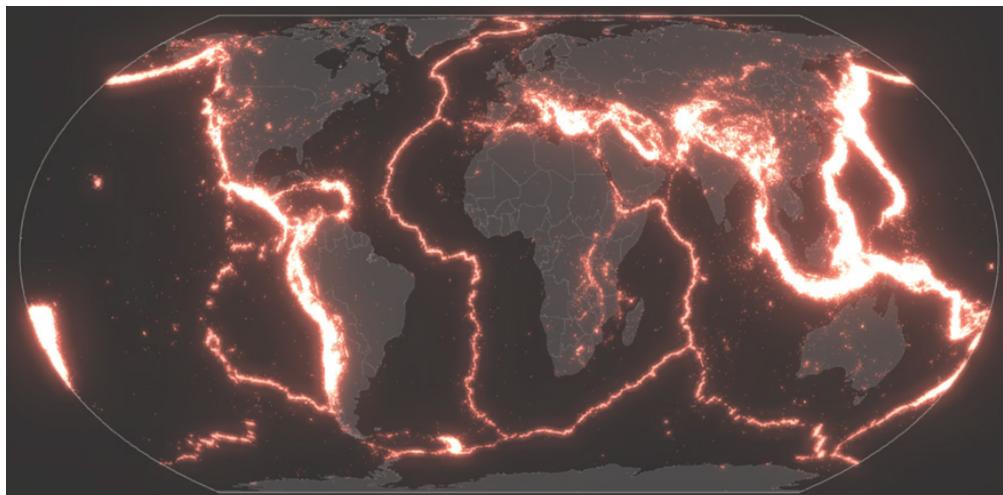
Así pues, se determinó una mayor inestabilidad tectónica y sísmica derivada de la ocurrencia de los sismos, siendo mayor en las costas del Océano Pacífico (comienza en Chile, sigue por América Central, América del Norte, llega a las Islas Aleutianas, para bajar por las costas de Rusia, Japón y Filipinas, hasta culminar en Nueva Zelanda) (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2020), siendo esta zona caracterizada por su alta intensidad sísmica, y conocida coloquialmente como el Cinturón de Fuego del Pacífico o Anillo de Fuego Circum-Pacífico o simplemente Cinturón Circum-Pacífico (Sauter, 1989).

Otra zona caracterizada por su alta actividad sísmica y volcánica es el Mar Mediterráneo, que incluye el sur de Europa y el norte de África, extendiéndose desde las Islas Azores en el Atlántico hasta Indonesia, siendo esta zona conocida como la Franja Sísmica Alpino-Asiática. Además, mediante el monitoreo se identificó que los focos sísmicos se encuentran en el centro de los grandes océanos como el Pacífico, Atlántico e Índico, zonas caracterizadas por la presencia de gigantescas cordilleras submarinas.

Por otra parte, se comprobó que grandes regiones oceánicas o continentales se encuentran exentas de focos sísmicos, lo cual demuestra una actividad muy baja, como es el caso de Brasil, las costas atlánticas de Estados Unidos o Canadá, Escandinavia y Siberia, al oeste de África y en grandes partes de Australia donde casi nunca ocurren movimientos sísmicos, considerándose zonas tectónicamente estables y asísmicas. Concluyendo que en la Tierra se presentan zonas con una alta sismicidad y otras en las cuales la ocurrencia de sismos es muy escasa o nula.

### **Figura 7**

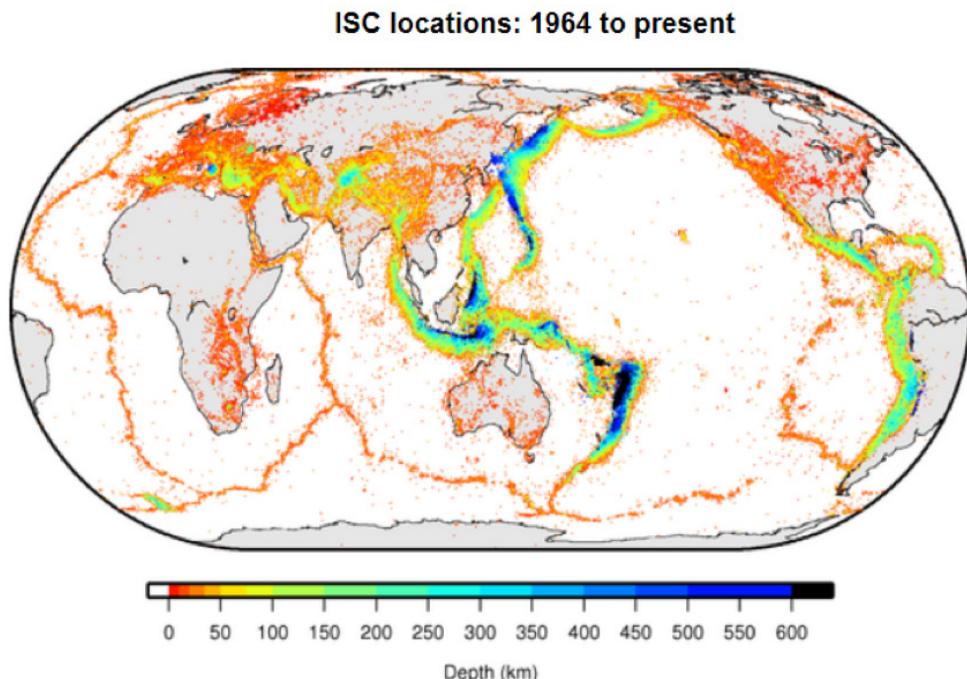
*Sismos de magnitud de 4.0 y mayores (1970 - 2019), las zonas claras indican las áreas que han presentado más sismos que otras*



Nota. (ESRI, 2022)

**Figura 8**

*Boletín de sismicidad mundial entre los años 1964 hasta la actualidad*



Nota. (ISC, 2022)

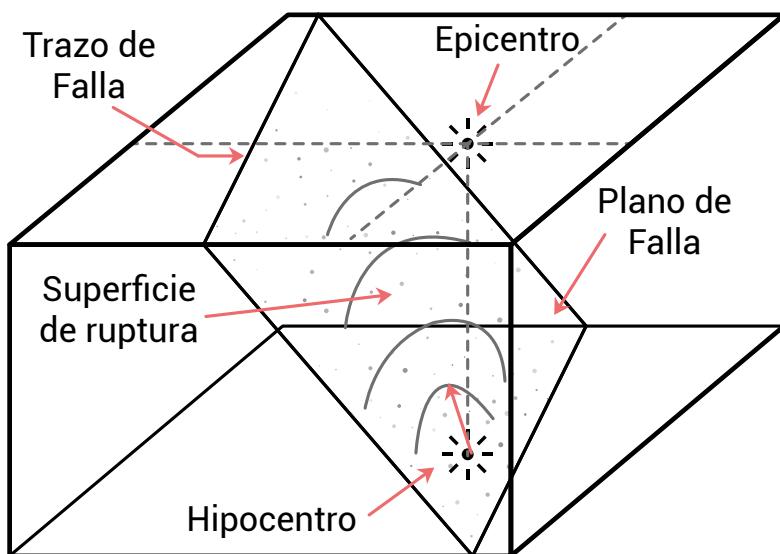
Por otro lado, es posible responder a las siguientes preguntas: 1) ¿Qué son y en qué se diferencia un terremoto de un temblor, sismo o movimiento telúrico?, 2) ¿Cómo se producen? y 3) ¿Dónde ocurren?

Son términos sinónimos. Coloquialmente, se habla de terremoto cuando la sacudida ha provocado daños sobre la población o perjuicios en las construcciones, y utilizamos temblor cuando el sismo no ha ocasionado ninguna afectación. Estos son el resultado de la liberación súbita de gran cantidad de energía interna de la corteza terrestre, los cuales se propagan alejándose de su punto de origen en forma de vibraciones u ondas sísmicas que pueden ocasionar commoción en la superficie terrestre (SGR, 2018).

Un sismo comienza en un punto conocido como foco o hipocentro, que se ubican en el área de ruptura de la falla geológica, la cual se localiza por una latitud, longitud y profundidad, y una proyección en la superficie de la Tierra conocida como epicentro que cuenta con coordenadas de latitud y longitud. Según Bonett (2003) la ruptura avanza desde el foco a través de la superficie de ruptura de falla, donde se detiene (figura 9).

**Figura 9**

Origen de un terremoto, con su proyección en la superficie terrestre



Nota. (Bonett, 2003)

Un sismo puede ser detectado, ya que las ondas sísmicas que provocan el movimiento del suelo, son movimientos registrados a través de equipos especializados denominados sismógrafos o acelerógrafos. Ahora, los sismos tienen dos tipos de duración: 1) la percibida por el humano, la cual detecta generalmente la parte más intensa del movimiento provocado por el sismo; y 2) la duración instrumental, que mediante instrumentos especializados (sismógrafos) permiten detectar el instante del inicio del sismo (IGM, 2017).

Ahora, le invito a reforzar sus conocimientos, desarrollando las siguientes actividades.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Revisar el [visualizador de terremotos mundiales](#) desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional de España, el cual nos permite identificar la magnitud, fecha, hora, localización, profundidad e información adicional de los sismos en tiempo real que suceden en el planeta.
2. Revisar el boletín de sismicidad mundial entre los años 1964 hasta la actualidad, donde se puede observar la localización histórica de los sismos y su profundidad ([International Seismological Centre](#))

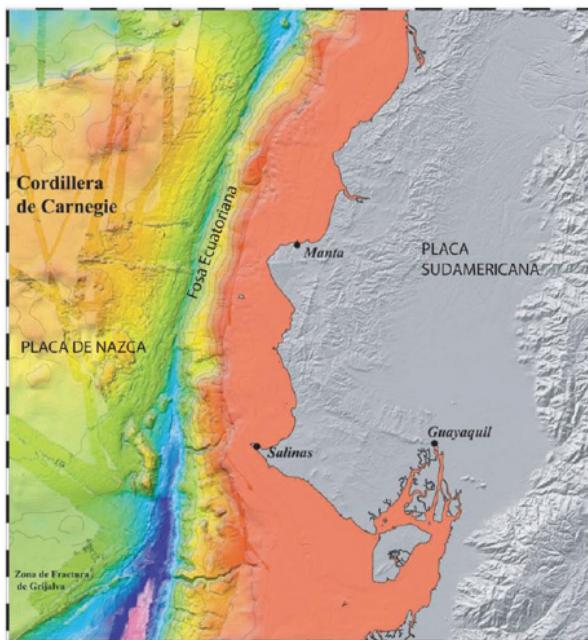
### 2.2. Sismicidad en el Ecuador

Según el IGEPN (s.f.) en Ecuador se han producido sismos de gran magnitud, los cuales han generado serias afectaciones a la población y construcciones. Un estimado aproximado de unas 65.000 víctimas desde la llegada de los españoles. Siendo el último gran sismo el de Manabí y el sur de Esmeraldas el 16 de abril de 2016, con una magnitud Mw de 7.8. Estos llegan a ser catastróficos por los fallos en las construcciones, las cuales están caracterizadas por su informalidad y falta de criterios técnicos para su edificación, haciéndolas muy vulnerables ante los movimientos o sacudidas del suelo. Donde los sismos o terremotos sacan a la luz las condiciones de vulnerabilidad presentes antes de que suceda el fenómeno natural.

Al enfocarnos en las costas del Océano Pacífico, y recordando lo mencionado en la unidad anterior, podemos comprender cuáles son las fuerzas dinámicas que hacen que el Ecuador se encuentre en el denominado "Cinturón de Fuego del Pacífico". Donde la Placa de Nazca empuja y se desliza bajo la Placa Sudamericana a una velocidad aproximada de 60 mm año<sup>-1</sup>, y en dirección Este – Oeste (Rivadeneira et al., 2007) (figura 10). Pero, estas placas no se mueven con libertad (se encuentran bloqueadas entre sí), y cuando la resistencia de los materiales que las conforman es superada, estos materiales se rompen, ocasionando los sismos. El fenómeno de subducción de igual manera es el responsable de la actividad volcánica.

## Figura 10

Contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana teniendo como referencia el perfil costanero del Ecuador



Nota. (Sage et al., 2006)

Ahora, en la tabla 2, podemos diferenciar dos tipos de fuentes sísmicas: 1) la subducción (interplaca e intraplaca), y del tipo corticales (superficiales). Según Quinde & Reinoso (2016), en cada una de estas fuentes se da un proceso de acumulación y liberación de energía.

## Tabla 2

### Tipos de fuentes sísmicas

Fuente sísmica	Profundidad	Descripción
Interplaca	< 40 km	Producidos por el choque entre la placa de Nazca la cual subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia.
Fuente sísmica	Profundidad	Descripción
Intraplaca	40 – 300 km	Sacudidas de falla normal, con profundidad intermedia, que se ubican al interior de la placa de Nazca la cual subduce bajo la placa Sudamericana
Corticales	< 40 km	Sismos superficiales que se dan dentro de la placa Sudamericana

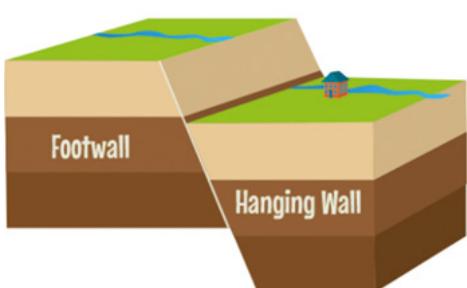
Nota. (Quinde & Reinoso, 2016)

Es necesario tener claro que no todos los sismos ocurren directamente en la zona de contacto entre placas, ya que muchos fenómenos sísmicos son generados en fallas geológicas locales denominados sismos interplaca. Estos se generan cuando las rocas de la corteza se deforman, se pliegan y se fracturan debido a las fuerzas ocasionadas por el desplazamiento de las placas tectónicas (Sauter, 1989).

Ahora, podemos responder a la pregunta ¿Qué es una falla?, se presentan como fracturas en las rocas, formadas en las placas tectónicas, siendo producidas por las fuerzas a las que se encuentran expuestas cuando interactúan entre sí.

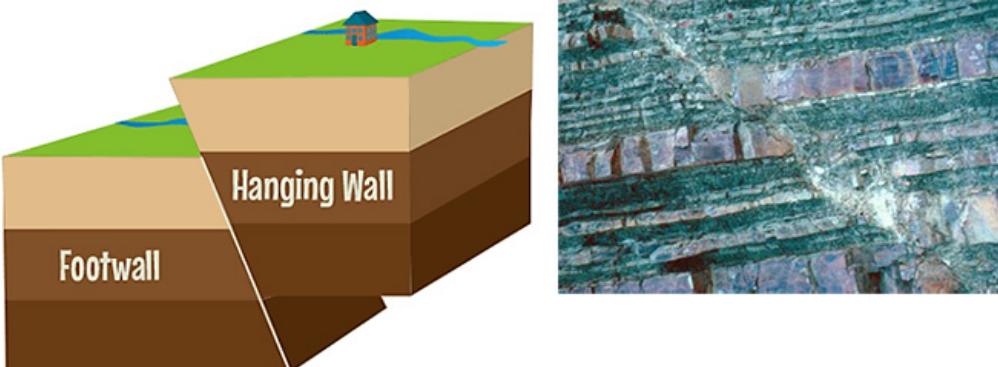
Tipos de fallas: 1) **fallas normales**, cuando el bloque de arriba desciende por acción de la gravedad debido a la falta de sustento en el plano de falla (o escarpe) (figura 11); 2) las **fallas inversas** son aquellas en las que el bloque superior sube respecto al otro usando como “rampa” el plano de falla localizado entre ellos (figura 12); y 3) **falla estructurante**, cuando las fuerzas que provocan el movimiento de los bloques son diagonales a la dirección del plano de falla, en este tipo de fallas se pueden dar dos tipos de movimiento. **Fallas transcurrentes dextrales** (figura 13), cuando un bloque se mueve en dirección derecha respecto del otro, y cuando un bloque se mueve hacia la izquierda respecto del otro, se las conoce como **fallas transcurrentes siniestrales**.

**Figura 11**  
*Falla normal*



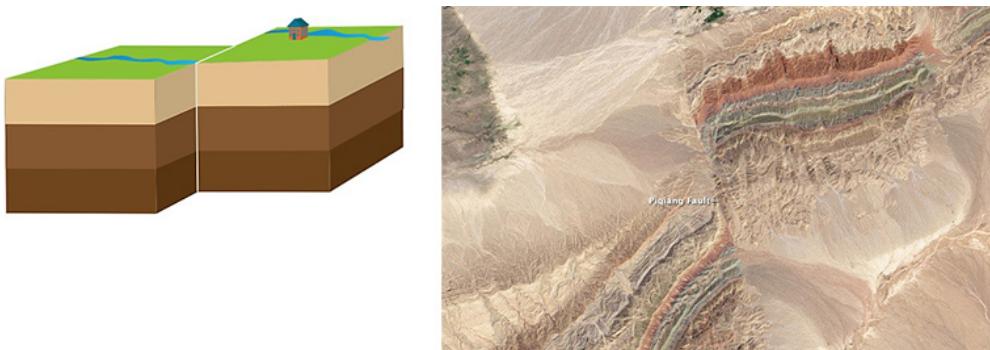
Nota. (Yön et al., 2017)

**Figura 12**  
*Falla inversa*



Nota. (Yön et al., 2017)

**Figura 13**  
*Falla estructurante*

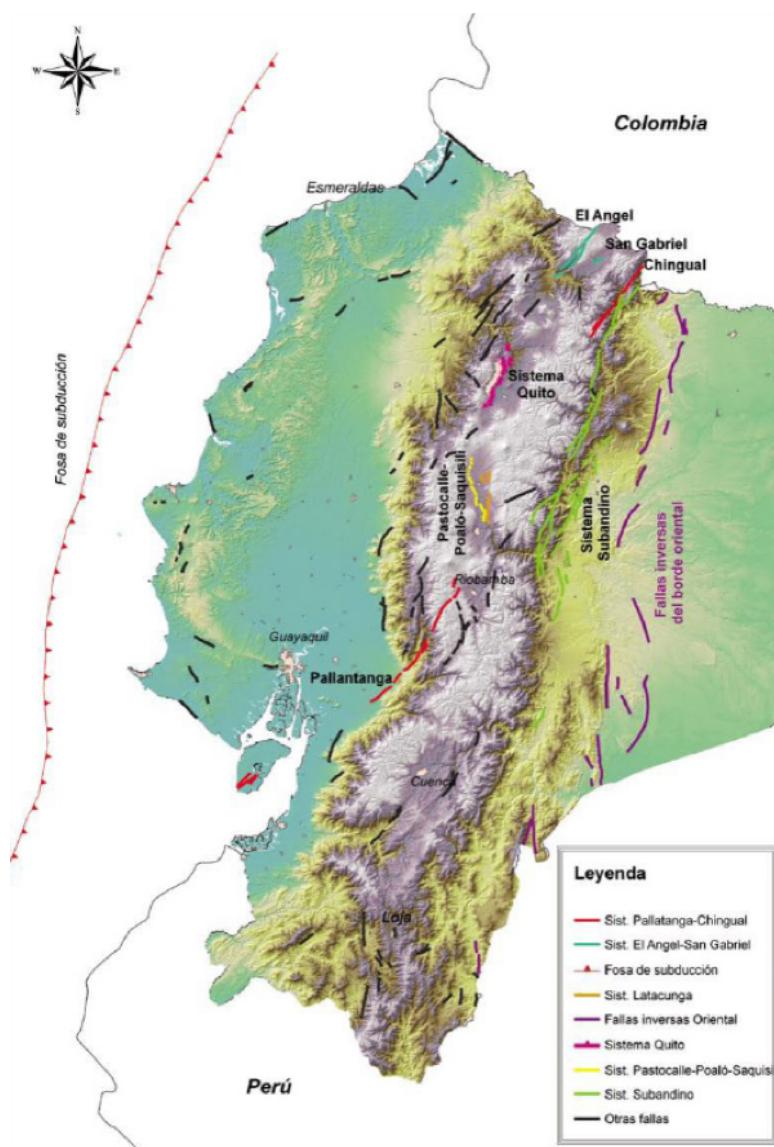


Nota. (Yön et al., 2017)

Hay cientos de estas fallas presentes en el Ecuador y están agrupadas en sistemas (figura 14), a continuación, mencionamos los más importantes:

- Sistema de falla Pallatanga-Chigual
- Sistema de fallas Quito
- Sistema Latacunga
- Sistema de fallas de Pastocalle-Poaló-Saquisilí
- Sistema de fallas de El Ángel-San Gabriel

**Figura 14**  
Fallas presentes en el Ecuador



Nota. (Rivadeneira et al., 2007)

Con el objetivo de complementar su aprendizaje, los invito a realizar las siguientes actividades:



## Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Leer el [Atlas del Sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016](#), que en sus páginas 7 a 8 expone lo visto sobre las fallas geológicas, y en sus páginas 10 a 11 sobre la historia sísmica en el Ecuador.
2. Leer la siguiente publicación del IGEPN sobre la [Red Nacional de Sismógrafos implementada en el Ecuador](#).
3. Leer sobre los tipos de fallas y los sistemas más importantes presentes en el Ecuador, pág. 69 a la 73 ([Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador](#)).
4. Leer esta interesante publicación titulado "[El terremoto de 1797 ha sido el más devastador de Ecuador](#)"



## Semana 4

---

### 2.3. Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se generan en una fuente, que puede ser natural, como un sismo, o artificial, como una explosión. Las ondas resultantes se propagan a través del medio y se registran en un receptor. El sismograma registra el movimiento del suelo en un receptor llamado sismómetro, que contiene información tanto de la fuente como del medio, esta información puede adoptar varias formas, donde las ondas proporcionan información sobre la ubicación y la naturaleza de la fuente que las generó. Por ejemplo, si se conoce el momento en que las ondas salieron de la fuente, y su tiempo de llegada al receptor, sabremos el tiempo de viaje necesario para atravesar el medio y, por tanto, información sobre la velocidad a la que viajaron y, por ende, sobre las propiedades físicas del medio. Además, como la amplitud y la forma de los impulsos de las ondas que salieron de la fuente, las cuales se ven afectadas por la propagación a través del medio, las señales observadas en los sismogramas proporcionan información adicional sobre el contorno (Stein & Wysession, 2003).

### **2.3.1. Tipos de ondas sísmicas**

Con el fin de predecir o determinar la forma en que va a vibrar el terreno durante un sismo, la intensidad del movimiento y su duración; es justo conocer las características de las ondas sísmicas y la forma en que la energía es irradiada a través del medio sólido de la Tierra.

Es necesario recordar que cualquier medio elástico responde vibrando ante un impacto a un disturbio externo; ya que las ondas elásticas se propagan a través del cuerpo o medio en todas las direcciones a partir del punto que originó el impacto.

Ahora, como se ha mencionado anteriormente, vivimos en un planeta dinámico donde sus partes están en constante movimiento, en especial las placas de la corteza terrestre, la cual tiene propiedades físicas que hacen que esta se deforme y vibre elásticamente cuando fuerzas externas actúan sobre esta. Cuando la roca se fractura por la deformación de la corteza, se libera energía acumulada en el material, la cual es disipada principalmente en forma de calor, y la otra es irradiada en forma de ondas sísmicas que tienen la característica de propagarse por el medio sólido del planeta.

Estas ondas se propagan en todas las direcciones desde la zona donde se inició la ruptura, conocida también como epicentro o foco, las cuales hacen vibrar la superficie de la Tierra y son percibidas por las personas como sismos o terremotos; fenómenos naturales, los cuales tienen el potencial de causar destrucción.

Existen dos clases de ondas sísmicas: 1) las ondas que se propagan a través del medio sólido de la Tierra, conocidas como ondas internas o de cuerpo, y 2) las ondas superficiales que se propagan por la superficie.

#### **2.3.1.1. Ondas primarias u ondas P (longitudinales o de comprensión)**

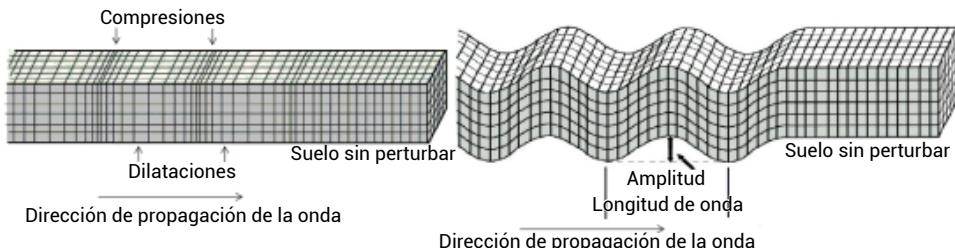
Son las que hacen vibrar una partícula en el sentido de propagación de las ondas; presentando un movimiento parecido al de las ondas sonoras, comprimiendo y dilatando alternativamente el medio sólido a través del cual viajan, estas ondas tienen un potencial de daño relativamente pequeño (figura 15, A).

### 2.3.1.2. Ondas secundarias u ondas S (transversales o de cizalla)

Estas ondas presentan un sentido perpendicular a la trayectoria de las ondas, con un movimiento horizontal y vertical, que producen esfuerzos de cizalla (cortante) en el medio sólido en que se propagan (figura 15, B).

**Figura 15**

A (Ondas primarias); B (ondas secundarias)



Nota. (Yön et al., 2017)

Además, se presentan otro tipo de ondas que se denominan de superficie, las cuales se transmiten por las capas superiores de la corteza, estas son generadas por las ondas de cuerpo que se desplazan en paralelo a la superficie a una profundidad aproximada de 30 m; estos tipos de ondas pueden provocar grandes desplazamientos, generalmente se producen en sismos poco profundos, estas se dividen a su vez en dos clases:

### 2.3.1.3. Ondas Love u ondas L

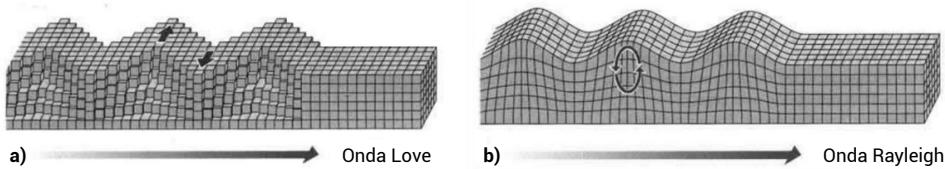
Con movimiento similar a las ondas S, pero estas hacen vibrar la partícula horizontalmente en sentido perpendicular a la dirección de propagación, sin movimiento vertical (figura 16, A).

### 2.3.1.4. Ondas Rayleigh u ondas R

Estas hacen vibrar una partícula sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas, con movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente (figura 16, B).

**Figura 16**

A (ondas Love); B (ondas Rayleigh)



Nota. (Yon et al., 2017)

### 2.3.2. Propagación de las ondas

Como se mencionó anteriormente, las ondas longitudinales, pueden propagarse por un medio sólido (por ejemplo, los materiales que conforman los continentes), y también a través de un medio líquido (como el magma en el interior de la Tierra o el agua de los océanos). Las ondas P al ser similares a las ondas sonoras, cuando estas emergen a la superficie desde el interior de la Tierra, una fracción puede transmitirse a la atmósfera en forma de sonido, el cual es perceptible a los animales y a las personas, siempre y cuando su frecuencia se encuentre en su rango audible. Ahora, es conocido que, si un líquido es deformado lateralmente por esfuerzos de cizalla, este no regresará elásticamente a su posición original, siendo el motivo por el cual las ondas tipo S no se pueden propagar a través de medios líquidos (océanos o el núcleo externo de la Tierra (Stein & Wysession, 2003).

La velocidad de propagación depende de la densidad y propiedades elásticas del material por el cual se transmiten. Las ondas P se transmiten a mayor velocidad que las S, siendo estas las primeras percibidas. Poco tiempo después llegan las ondas secundarias S las cuales hacen vibrar la superficie horizontalmente, teniendo una mayor amplitud y contenido de energía, causando los mayores daños a las edificaciones, sabiendo que la velocidad de propagación aumenta con la profundidad y en el interior del planeta es mucho mayor.

### 2.3.3. Detección de sismos

Cuando se presenta un movimiento telúrico, las ondas sísmicas generadas ocasionan que el suelo se mueva, en este punto, son relevantes equipos especiales como los sismómetros y acelerómetros, los cuales detectan estos movimientos. Estos equipos tienen un principio de funcionamiento que es la inercia de los cuerpos (resistencia que presenta un cuerpo al

movimiento). Donde, de manera simple, lo podemos describir como una masa que cuelga de un resorte, que a su vez se encuentra suspendido sobre una base que se sacude con los movimientos que se presentan en la superficie terrestre. Ahora, este movimiento entre la base y la masa, puede ser expresado mediante un sismograma.

Con el objetivo de complementar su aprendizaje, los invitamos a realizar las siguientes actividades:



### Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Observar el siguiente video sobre los [Tipos de ondas sísmicas y su propagación](#).
2. Leer el [Atlas del Sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016](#), que en sus páginas 12 y 13 expone sobre las ondas sísmicas y su propagación.
3. Una vez finalizada la presente unidad, les sugerimos realizar la Autoevaluación 2 y seguir adelante con dedicación y empeño con su formación académica.



## Autoevaluación 2

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 2, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente actividad.

1. ¿El último gran sismo ocurrido en Ecuador fue el de Manabí y el sur de Esmeraldas el 16 de abril de 2016?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. ¿A finales del siglo XIX se establecieron las primeras estaciones sismológicas en varios países del mundo, lo que permitió determinar de una manera precisa la localización de los focos sísmicos y su profundidad?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. Las zonas del planeta Tierra caracterizadas por su baja o casi nula presencia de actividad sísmica son:
  - a. Anillo de Fuego Circum-Pacífico.
  - b. Franja Sísmica Alpino-Asiática.
  - c. Brasil.
  - d. Las costas pacíficas de EEUU.
4. Las zonas de mayor inestabilidad tectónica y sísmica del planeta corresponden al Anillo de Fuego Circum-Pacífico y Franja Sísmica Alpino-asiática.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. ¿Generalmente se utiliza el término terremoto cuando un sismo ha ocasionado daños sobre las personas o afectaciones notorias sobre las construcciones?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. ¿Los sismos corticales, son los que se ubican a una profundidad entre los 40 y 300 km?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
7. ¿Las ondas primarias u ondas P?
  - a. Ocasionan la vibración de una partícula en sentido perpendicular a la trayectoria de las ondas.
  - b. Son las que hacen vibrar una partícula en el sentido de propagación de las ondas.
  - c. Hacen vibrar la partícula horizontalmente en sentido perpendicular a la dirección de propagación.
  - d. Hacen vibrar una partícula sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas.
8. Las ondas Rayleigh, presentan un movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. Las ondas P al ser similares a las ondas sonoras, cuando emergen a la superficie, pueden transmitirse a la atmósfera en forma de sonido:
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
10. ¿Las ondas de superficie viajan más rápido que las ondas de cuerpo?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

Culminada la Autoevaluación 2, les recomendamos verificar sus respuestas mediante el solucionario que se encuentra al final de la presente guía.

[Ir al solucionario](#)



### Unidad 3. Escalas de medición de sismos y sus efectos en las personas y objetos

---

Empezamos la tercera unidad, en la cual usted apreciado estudiante será capaz de identificar y profundizar sobre las distintas escalas de intensidad y magnitud, haciendo énfasis en los tipos de estructuras y sus clases de vulnerabilidad.

#### 3.1. Escalas de los sismos

En el transcurso del tiempo se han utilizado varios métodos para obtener dos medidas en esencia diferentes que describen el tamaño de un sismo: 1) la intensidad y 2) la magnitud. La primera mide el grado de temblor del sismo en un punto determinado, la cual se basa en la cantidad de daños. Ahora, con el avance tecnológico y el desarrollo de los sismógrafos, se desarrolló la medición de la magnitud, la cual se establece mediante los datos proporcionados por los registros sísmicos (y otras técnicas) la cual calcula la cantidad de energía liberada en la fuente del sismo. Estas dos medidas proporcionan información bastante útil, aunque diferente, sobre la fuerza de un sismo, por tal motivo ambas medidas se utilizan en la actualidad (Tarbuck & Lutgens, 2005).

#### 3.2. Escalas de intensidad

Mientras que la magnitud es una medida relacionada a la energía liberada por un sismo, la intensidad mide como lo sienten o perciben las personas y el daño que causa en la naturaleza y en los objetos. Los valores de intensidad para cada sismo varían según la zona geográfica alrededor del epicentro. La intensidad mide el valor de las sacudidas que se producen en cada lugar en superficie, dependiendo principalmente de: 1) la zona de ruptura de la falla, 2) la dirección en la que se ha producido la ruptura y 3) el tipo de geología presente. Las intensidades se expresan en números romanos, por ejemplo, VI, VI, X, etc. (USGS, s.f.).

Tradicionalmente, la intensidad es una medida subjetiva derivada de las observaciones humanas, los informes sobre las sacudidas y los

daños percibidos. Anteriormente, los datos solían recogerse a partir de cuestionarios postales, pero con la llegada del *Internet* esta información se recolecta mediante formularios web, por ejemplo, el [formulario rápido](#) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) o el [cuestionario macrosísmico](#) del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN, por sus siglas en español).

Por ello, a lo largo del tiempo se han confeccionado varias escalas descriptivas de los hechos para una normalización a nivel mundial, donde las principales se describen a continuación:

### 3.2.1. Escala de Intensidad de Mercalli Modificada

Desarrollada en el año de 1902 por Giuseppe Mercalli, en 1931 fue modificada por Wood y Neumann, razón por lo cual se la conoce como la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada. Esta escala mide cualitativamente la intensidad de un sismo mediante la percepción de un observador el cual establece los efectos de movimiento sísmico en un punto determinado de la superficie terrestre, clasificando los sismos sobre la base de los efectos o daños que éstos producen en las edificaciones, objetos, naturaleza y en las personas.

Es necesario indicar, que a un sismo al cual se le asigna un grado Richter, se le puede atribuir distintos grados en la escala de Mercalli, la cual se expresa en números romanos y cuenta con doce grados del I al XII, como se muestra en la Tabla 3:

**Tabla 3**  
*Escala de Mercalli Modificada*

Grado	Descripción
I	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II	Se percibe solo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V	La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen.

Grado	Descripción
VI	Lo perciben todas las personas. Se atemorizan y huyen hacia el exterior. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se producen grietas en algunos estucos. Se visibiliza el movimiento de árboles o se les escucha crujir.
VII	Los objetos colgantes comienzan a temblar. Se experimenta la dificultad para mantenerse en pie. Se presentan daños considerables en las estructuras mal construidas o mal proyectadas. Se precipitan pedazos de estucos, ladrillos, barricadas o muros, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos y el agua se enturbia.
VIII	Se dificulta manejar vehículos. Se producen daños de consideración y se producen derrumbes parciales en estructuras de albañilería bien construidas. Se caen monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Se rompen las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX	Se produce pánico general.
X	Se destruye gran parte de las estructuras de toda clase. El agua de canales, ríos, lagos, etc., sale proyectada a las riberas.
XI	Quedan muy pocas estructuras en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de servicio.
XII	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas del terreno quedan distorsionados.

Nota. (Rivadeneira et al., 2007)

En la Tabla 4 podemos apreciar los valores de intensidad máxima que se han dado en cada provincia del Ecuador (Rivadeneira et al., 2007).

**Tabla 4**

*Intensidad máxima que se ha presentado en cada provincia del Ecuador*

Provincia	Intensidad máxima
Chimborazo	XI
Cotopaxi	X
Tungurahua	X
Imbabura	X
Esmeraldas	IX
Loja	VIII
Manabí	IX
Napo y Sucumbíos	IX
Pichincha y Santo Domingo de los Tsachilas	VIII
Bolívar	VIII
Carchi	VIII
El Oro	VIII

Provincia	Intensidad máxima
Azuay	VIII
Guayas y Santa Elena	VIII
Los Ríos	VIII
Morona Santiago	VIII
Pastaza y Francisco de Orellana	VII
Zamora Chinchipe	VII
Cañar	VII
Galápagos	IV

Nota. (Rivadeneira et al., 2007)

### 3.2.2. Escala MSK

En 1964, S. V. Medvenev, W. Sponheuer y V. Karnik, publicaron la primera versión de la escala MSK, basada en la escala MCS (desarrollada por Mercalli – Cancani – Sieberg), en las de Mercalli Modificada y en la de Medvedev realizada en Rusia en 1953 (también conocida como GEOFIAN), la cual integraba nuevos aspectos cuantitativos haciéndola más poderosa y completa. Esta fue ligeramente modificada a mediados de los 70's, y para 1981 pasó a ser la escala más utilizada en Europa (Bonett, 2003), la misma que se detalla en el siguiente recurso interactivo

#### [Escala MSK](#)

#### Tipos de construcciones:

- **Tipo A:** con muros de mampostería en seco o con barro, de adobe o tapial (muros compuestos de tierra arcillosa húmeda)
- **Tipo B:** con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería, de mortero, de sillarejo, entramados de madera.
- **Tipo C:** con estructura metálica o de hormigón armado.

#### Términos de cantidad:

- **Algunos:** 5 %
- **Muchos:** 50 %
- **La mayoría:** 75 %

## **Clasificación de los daños en las construcciones:**

- **Clase 1 (daños ligeros):** fisuras en los revestimientos, caída de pequeños trozos de revestimiento.
- **Clase 2 (daños moderados):** fisuras en los muros, caídas de grandes trozos de revestimientos, caída de tejas, pretilles (muros pequeños), se presentan grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales.
- **Clase 3 (daños graves):** grietas en los muros, caída de chimeneas de fábrica u otros elementos exteriores.
- **Clase 4 (destrucción):** se presentan brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial y pérdida de enlace entre las distintas partes de la construcción, se destruyen ladrillos y muros de cerramiento.
- **Clase 5 (colapso):** pérdida completa de la construcción.



### **Semana 6**

#### **3.2.3. Escala EMS-98**

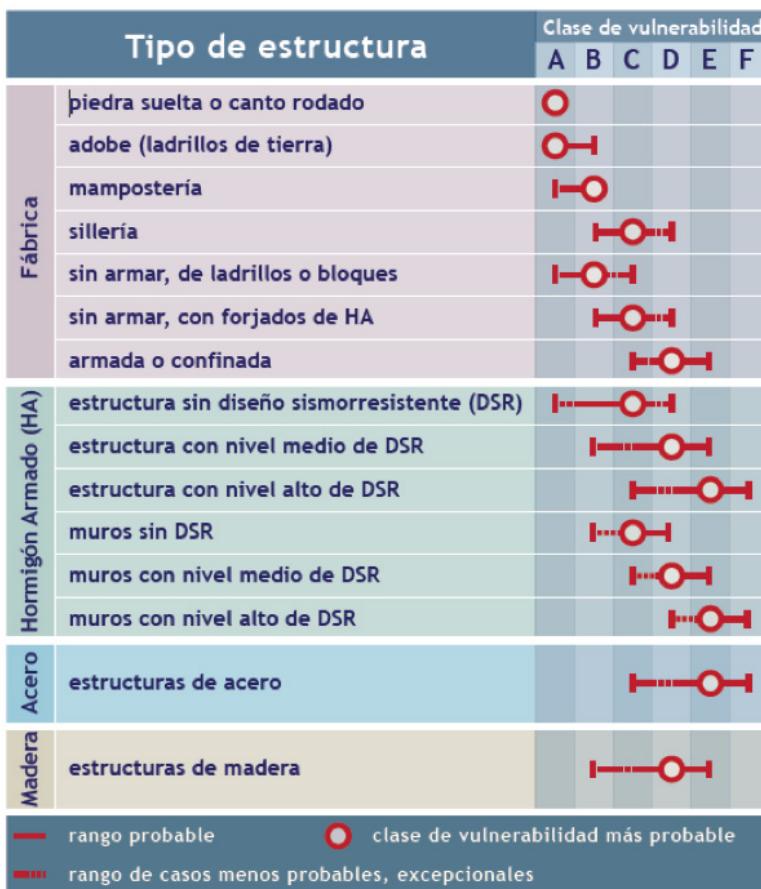
Por último, tenemos la Escala Macrosísmica Europea (en inglés, *European Macroseismic Scale*, o EMS, por sus siglas en inglés), la cual fue resultado de la mejora de la escala MSK, teniendo dos versiones, una en 1992 y la definitiva que se publicó en 1998, conocida como EMS-98, la última versión fue desarrollada por Grünthal (2009) y se detalla a en el recurso a continuación:

#### [\*\*Escala EMS-98\*\*](#)

Según el Instituto Geográfico de España (2022) y Grünthal (2009) se ha desarrollado una tabla de vulnerabilidad (figura 17), en donde se diferencian las estructuras (construcciones) y sus clases de vulnerabilidad, los tipos de estructuras de fábrica han de leerse, por ejemplo, fábrica de mampostería, mientras que los tipos de estructuras de hormigón armado (H A) han de leerse, por ejemplo, pórticos de H A o muros de H A.

**Figura 17**

Clase de vulnerabilidad para los distintos tipos de estructuras



Nota. (IGN, s.f.)

### 3.1.4.1. Clasificación de daños

El modo en que un edificio se deforma bajo la carga de un terremoto depende del tipo de edificio. En una clasificación genérica se pueden distinguir los tipos de edificios de fábrica (Tabla 5) y los de hormigón armado (Tabla 6), estos se clasifican en daños, los cuales se detallan a continuación.

## Tabla 5

### Clasificación de daños en edificios de fábrica

---

**Grado 1:** daños de despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)

- Fisuras en muy pocos muros.
- Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento.
- Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.



**Grado 2:** daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)

- Grietas en muchos muros.
- Caída de trozos bastante grandes de revestimiento.
- Colapso parcial de chimeneas.



**Grado 3:** daños de importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)

- Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.
- Se sueltan tejas del tejado.
- Rotura de chimeneas por la línea del tejado.
- Se dañan elementos individuales no-estructurales (tabiques, hastiales y tejados).



---

**Grado 4:** daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)

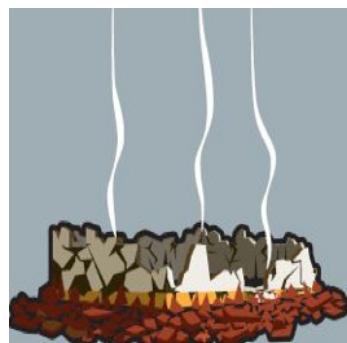
- Se dañan seriamente los muros.
- Se dañan parcialmente los tejados y forjados.



---

**Grado 5:** destrucción (daños estructurales muy graves)

- Colapso total o casi total.



---

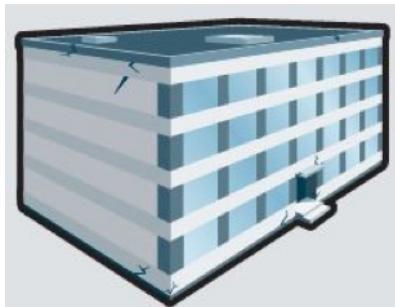
Nota. (IGN, s.f.; Grünthal, 2009 )

## Tabla 6

### Clasificación de daños en edificios de HA

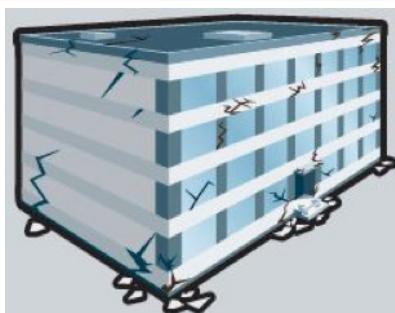
**Grado 1:** daños de despreciables a ligeros  
(ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)

- Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros.
- Fisuras en tabiques y particiones.



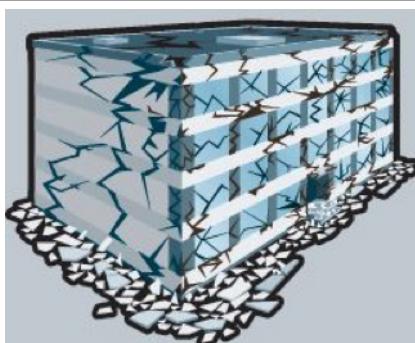
**Grado 2:** daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)

- Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales.
- Grietas en tabiques y particiones; caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.



**Grado 3:** daños de importantes a graves  
(daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)

- Grietas en pilares y en juntas viga/pilar en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo.
- Grandes grietas en tabiques y particiones; se dañan paneles de particiones aislados.



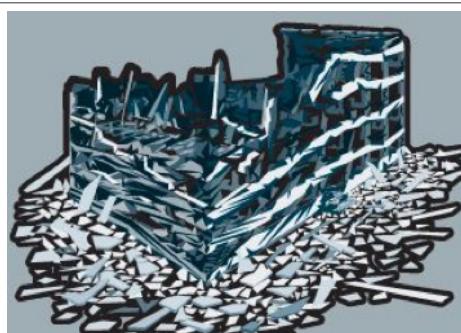
**Grado 4:** daños muy graves (daños estructurales graves, daños no estructurales muy graves)

- Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de pilares.
- Colapso de algunos pilares o de una planta alta.



**Grado 5:** destrucción (daños estructurales muy graves)

- Colapso de la planta baja o de partes (por ejemplo, alas del edificio).



Nota. (IGN, s.f.; Grünthal, 2009)



Semana 7

### 3.3. Escalas de magnitud

A diferencia de la intensidad, la cual varía según la distancia y la posición del observador, la magnitud es el parámetro más fácil de medir, debido a que representa una constante única que cuantifica el tamaño de un sismo, siendo independiente del sitio de observación. La magnitud mide la máxima amplitud de las ondas que son registradas en el sismograma.

La hora, el lugar y la magnitud de un sismo pueden determinarse a partir de los datos registrados por un sismómetro, los cuales registran las vibraciones derivadas de los sismos que recorren el planeta. Registrando la sacudida del suelo que se genera bajo el sismómetro, siendo estos capaces de detectar fuertes sismos procedentes de cualquier parte del mundo.

### 3.3.1. Tipos de magnitudes

Los sismos tienen una única magnitud, pero la sacudida (movimiento del suelo) y los efectos que pueda tener varía de un lugar a otro en función de la distancia, el tipo de material de la superficie, entre otros. La magnitud se expresa en números enteros y fracciones decimales. Por ejemplo, una magnitud de 5,3 es un sismo moderado y una de 6,3 es un sismo fuerte, debido a la base logarítmica de la escala, donde cada aumento de un número entero en la magnitud representa un aumento de diez veces en la amplitud medida por un sismógrafo.

Cuando se desarrollaron inicialmente se pensó que todas las escalas de magnitud basadas en las mediciones de la amplitud de onda eran equivalentes, pero en el caso de sismos muy grandes algunas magnitudes sobreestiman o subestiman el tamaño real del sismo, en la actualidad se emplean mediciones las cuales describen los efectos físicos de un sismo en lugar de utilizar mediciones que se basan únicamente en la amplitud de la onda sísmica registrada. Por tal razón, existen varias escalas de magnitud, las cuales se detallan a continuación.

#### 3.3.1.1. Escala de Richter (ML)

Probablemente la escala de magnitud que la mayoría de las personas han escuchado mencionar, pero que actualmente no es muy utilizada, salvo para pequeños sismos registrados localmente, desarrollada en 1935 por el sismólogo Charles F. Richter del Instituto Técnico de California, introdujo el concepto de magnitud de los sismos, donde su definición original solo era válida únicamente para los sismos que se producían en California en un radio de 600 km para un tipo particular de sismógrafo (instrumento de torsión horizontal de tipo Wood Anderson).

La idea de Richter era bastante sencilla, al conocer la distancia entre un sismo y el sismógrafo, y al observar la amplitud de la máxima señal registrada, se podía hacer una clasificación cuantitativa de su tamaño o fuerza. La mayoría de los sismos que se dan en California se producen dentro de los 16 km superiores de la corteza terrestre, por ende, en una primera aproximación no era necesario realizar correcciones por variaciones en la profundidad focal. La magnitud de Richter se determina en la ecuación 1:

$$M = \log A - \log A_0 \quad (1)$$

**Donde:**

**M:** magnitud de Richter.



**A:** máxima amplitud del trazo registrada por un sismómetro a cierta distancia del foco.

**A<sub>0</sub>:** trazo máximo para un evento tomado como patrón, sea un evento normalizado.

En la tabla 7 podemos observar los rangos de magnitud de Richter en relación con los efectos del sismo cerca del epicentro, además, de un número aproximado de eventos con ciertas magnitudes que nos dan una idea de la cantidad de sismos con ciertas magnitudes calculados por año, y en la tabla 8 podemos apreciar la correspondencia entre escalas sísmicas, en este caso entre la escala de intensidad de Mercalli Modificada y la escala de magnitud de Richter.

**Tabla 7**

*Magnitudes de los sismos y su incidencia mundial prevista*

Magnitudes Richter	Efectos cerca del epicentro	Número calculado por año
< 2,0	Generalmente no se sienten, pero se registran	600.000
2,0 - 2,9	Potencialmente perceptible	300.000
3,0 - 3,9	Sentido por algunos	49.000
4,0 - 4,9	Sentido por la mayoría	6.200
5,0 - 5,9	Produce daños	800
6,0 - 6,9	Destrucción en regiones suficientemente pobladas	266
7,0 - 7,9	Terremotos notables, generan graves daños	18
≥ 8	Magnos terremotos, causan una destrucción extensa en las poblaciones cercanas al epicentro	1,4

Nota. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

**Tabla 8**

Correspondencia entre escalas sísmicas

Correspondencia entre escalas sísmicas			
Escala de Richter		Escala de Mercalli	
Valores	Descripción	Valores	Descripción
2,5	En general no es sentido, pero es registrado por los sismógrafos	I	Sentido por casi nadie
		II	Sentido por muy pocas personas
3,5	Sentido por mucha gente	III	Tremor notado por mucha gente, pero que no suele darse cuenta que es un sismo
		IV	Sentido en el interior de los edificios por muchas personas
		V	Sentido por casi todas las personas, mucha gente se despierta, se pueden apreciar árboles y postes oscilando
4,5	Pueden producirse algunos daños locales pequeños	VI	Sentido por todos, mucha gente evaca los edificios, los muebles se mueven y pueden producirse pequeños daños
		VII	Todas las personas corren fuera de los edificios, las estructuras mal construidas quedan severamente dañadas y se presentan pequeños daños en el resto
6,0	Sismo destructivo	VIII	Las construcciones con diseño sismorresistente se dañan ligeramente, las otras se derrumban
		IX	Todas las estructuras quedan muy dañadas, se presentan desplazamientos en los cimientos y se producen grietas apreciables en el suelo
7,0	Sismo importante	X	Muchas construcciones destruidas, el suelo queda muy agrietado
> 8,0	Grandes sismos	XI	Se derrumban casi todas las construcciones y puentes, además el suelo presenta grietas muy amplias
		XII	Destrucción total

Nota. Anónimo

### 3.3.1.2. Magnitud del Momento (Mw)

También conocida como la escala del momento sísmico, desarrollada por Hanks y Kanamori en 1979. Esta presenta una ventaja sobre otras escalas, ya que ante sismos de gran intensidad la escala no se satura, se basa en las propiedades físicas del fenómeno sísmico, derivada de un análisis de todas las formas de onda registradas durante el evento. Primero se calcula el momento sísmico ( $M_o$ ) y luego se convierte en una magnitud diseñada para que sea aproximadamente igual a la escala de Richter (Ecuación 2).

$$M_o = \text{rigidez} * \text{área} * \text{deslizamiento} \quad (2)$$

**Donde:**



**rigidez:** resistencia de la roca a lo largo de la falla.

**área:** área de la falla que se deslizó.

**deslizamiento:** distancia en que la falla se movió.

Por lo tanto, un material más fuerte, un área más grande o un mayor movimiento de la falla contribuirán a producir una magnitud mayor, obteniendo la ecuación 3.

$$M_w = \left(\frac{2}{3}\right) \log M_o - 10.7 \quad (3)$$

En el Ecuador además se suele emplear la magnitud MLv, correspondiente a la magnitud local calculada en la componente vertical, la cual usa una corrección para adecuarla a la escala ML.

Estimado estudiante, es momento de complementar su aprendizaje con las siguientes actividades:



## Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Leer el [Atlas sobre el Sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016](#), que en las páginas 16 y 17 expone los conceptos y particularidades de las escalas de magnitud e intensidad.
2. En la página [VADEMECUM REMER: terremotos y maremotos](#), revisar el contenido referente a las escalas de intensidad sísmica MSK, EMS-98, Mercalli modificada, JMA, Rossi – Forel y GEOFIAN o Medvedev.
3. Y, por último, revisar el siguiente material sobre [las magnitudes de un sismo, la liberación de energía y la intensidad](#) de las sacudidas del suelo producto de un sismo.
4. Una vez finalizada la presente unidad, les sugerimos realizar la Autoevaluación 3 y seguir adelante con dedicación y empeño con su formación académica.



## Autoevaluación 3

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 3, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente Autoevaluación.

1. ¿La intensidad y la magnitud son las dos medidas principales que describen el tamaño de un sismo?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. ¿La magnitud mide el valor de las sacudidas que se producen en cada lugar en la superficie, y se expresa en números romanos?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. Cuál de las siguientes no es una escala de intensidad:
  - a. Escala de Mercalli Modificada.
  - b. Escala de Richter.
  - c. Escala MSK.
  - d. Escala EMS-98.
4. ¿La Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) fue el resultado de la mejora de la escala MSK?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. ¿La versión definitiva de la EMS se publicó en 1998?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. ¿Un valor de V en la EMS-98 corresponde a qué grado de daño en un edificio de clase de vulnerabilidad A y B?
- Grado 1.
  - Grado 2.
  - Grado 3.
  - Grado 4.
7. Según la tabla de vulnerabilidad de la EMS-98 las estructuras de acero, presentan una clase de vulnerabilidad E
- Verdadero.
  - Falso.
8. Dentro de la clasificación de daños en edificios de hormigón armado, el grado de daño 2 corresponde a:
- Daños despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no estructurales ligeros).
  - Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no estructurales moderados).
  - Daños importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no estructurales graves).
  - Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves).
9. ¿Un sismo entre 5,0 y 5,9 en la magnitud de Richter, será un terremoto notable con capacidad de generar graves daños cerca del epicentro?
- Verdadero.
  - Falso.
10. La escala del momento sísmico (Mw) presenta una ventaja sobre otras escalas, ya que ante sismos de gran intensidad la escala no satura, y se basa en las propiedades física del fenómeno sísmico
- Verdadero.
  - Falso.

[Ir al solucionario](#)



### Actividades finales del bimestre

#### Repaso general de los contenidos

Se recomienda realizar un repaso minucioso de los contenidos analizados en las unidades 1, 2 y 3, con el objeto de reforzar los conocimientos adquiridos y prepararse para la evaluación presencial, debido a la cercanía de la misma.

#### Evaluación presencial primer bimestre

- Preparación para la evaluación presencial correspondiente al primer bimestre.



## Segundo bimestre

### Resultado de aprendizaje 1 y 2

- Evalúa, detecta y reporta daños de estructuras frente a un sismo.
- Conoce elementos de construcción estratégicos para la prevención del daño de estructuras ante un sismo.

En este segundo bimestre nos basaremos principalmente en lecturas y actividades, en especial sobre lo que señala nuestra normativa y guías prácticas, además de los métodos de evaluación utilizados en el país para realizar la evaluación de estructuras.

### Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



#### Semana 9

### Unidad 4. Efectos y daños de los sismos sobre las estructuras

En la presente unidad abordaremos los efectos y daños ocasionados por los sismos sobre las estructuras, nos centraremos en conocer las fuerzas que generan el movimiento del suelo y el efecto que esta manifestación causa sobre los distintos tipos de edificios y materiales de construcción.

#### 4.1. Introducción

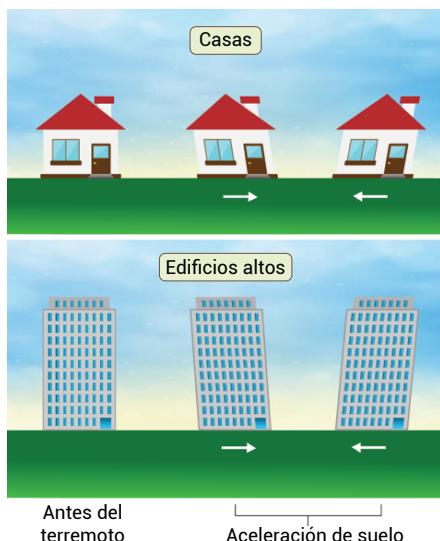
El sismo es el fenómeno natural más peligroso que genera destrucción considerable sobre las construcciones. El potencial destructivo de estos fenómenos depende de varios factores como: 1) la profundidad del foco, 2) la distancia del epicentro, 3) las condiciones específicas de cada lugar; pero las víctimas mortales y el alcance de los daños dependen principalmente de la falta de ingeniería al momento de construir una edificación, los fallos en los diseños estructurales, la calidad de los materiales de construcción y la mano de obra no calificada (Yon et al., 2017).

Arya et al. (2013) señala que las mayores pérdidas, se han producido por el colapso de edificaciones, las cuales no fueron diseñadas en un inicio para ser resistentes a sismos, además de ser construidas con materiales tradicionales. En la actualidad las construcciones no-sismorresistentes siguen presentándose alrededor del mundo, en especial en Ecuador, país caracterizado por un alto riesgo sísmico, razón por lo cual es relevante conocer el efecto y fuerzas que ocasionan los sismos sobre este tipo de estructuras.

Ahora, el comportamiento de una construcción respecto a un sismo está en función de las características físico-mecánicas del suelo. Donde las ondas sísmicas mueven las edificaciones con una aceleración que varía durante el sismo (figura 18), donde cobra real importancia el objetivo del diseño estructural sismorresistente, el cual es tratar de minimizar los daños que pueden generar las aceleraciones del suelo sobre las edificaciones.

**Figura 18**

*Efectos de los sismos los cuales generan aceleraciones del suelo*



Nota. (IGM, 2018)

#### 4.2. Daños ocasionados por sismos

Existen cuatro causas básicas de daños ocasionados por sismos: 1) sacudida o movimiento del suelo; 2) fallas en el terreno; 3) tsunamis y 4) incendios. Sin embargo, la causa principal de las afectaciones derivadas de

un sismo corresponde a la sacudida o movimiento del suelo, debido a que las restantes son desastres secundarios derivados del fenómeno sísmico.

#### **4.2.1. Sacudida o movimiento del suelo (ground shaking)**

Cuando la tierra vibra, todas las construcciones situadas en la superficie del suelo responden a esa vibración en distintos grados, donde las aceleraciones, velocidades y desplazamientos inducidos por los sismos pueden llegar a dañar o destruir la construcción, a menos que éste haya sido diseñado, construido o reforzado para soportar estos movimientos. Las cargas de diseño sísmico son extremadamente difíciles de determinar debido a la naturaleza aleatoria de estos movimientos. Sin embargo, con base a experiencias obtenidas de sismos anteriores y de fuerte magnitud e intensidad, han demostrado que las prácticas razonables y responsables de construcción pueden mantener a un edificio seguro durante un sismo.

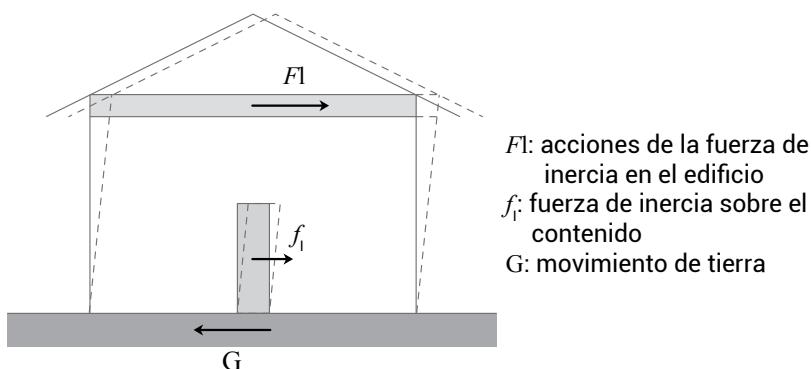
##### **4.2.1.1. Efectos de la sacudida o movimiento del suelo en estructuras**

###### **4.2.1.1.1. Fuerzas de inercia en las estructuras**

Cuando una estructura se asienta sobre el suelo, ante un sismo su base se moverá (incluyendo su contenido), lo que hace que esta tienda a sacudirse y vibrar de forma muy irregular, esto debido a la inercia de las masas. Por ejemplo, cuando de manera repentina el movimiento del suelo desplaza la base del edificio hacia la izquierda, la construcción se desplazará hacia el lado contrario con respecto a su base, es decir, hacia la derecha, imaginándonos que fuera empujado por una fuerza invisible a la cual llamaremos “fuerza de inercia”. Pero en realidad no existe tal empuje, ni fuerza invisible, esto se ocasiona debido a la masa que tiene el edificio, el cual se resiste a cualquier movimiento externo, donde cada parte del edificio tiene que soportar estas fuerzas de inercia (figura 19); es necesario indicar que este proceso es mucho más complejo, ya que el movimiento del suelo se puede presentar de manera diferente, y depende de otros factores como el tipo de suelo, la composición de los materiales, magnitud del sismo, etc.

**Figura 19**

Fuerzas de inercia originadas por el movimiento del suelo ante un sismo



Nota. (Arya et al., 2013)

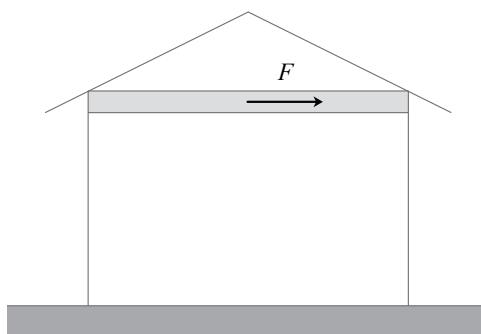
#### 4.2.1.1.2. Carga sísmica

En la figura 20, se muestra la fuerza lateral resultante o carga sísmica representada por la fuerza  $F$ , la cual difiere de otras cargas como las muertas (pesos de aquellos elementos que permanecen fijos e inmóviles, y son soportados por la estructura), vivas (depende de la ocupación, pesos de personas y objetos), de viento o de impacto. La acción horizontal del movimiento del suelo es similar al efecto de una fuerza horizontal que actúa sobre el edificio, de ahí que se utiliza el término “carga sísmica” o “carga lateral”. Ahora, la base de la estructura al moverse de forma extremadamente complicada, provoca la creación de fuerzas de inercia en toda la masa del edificio, incluyendo su contenido. Estas fuerzas pueden provocar cizallamiento en la estructura, ya que las tensiones se concentran en los muros más débiles o en las juntas, lo cual puede ocasionar un fallo de la estructura o hasta su colapso total.

En los forjados, vigas, voladizos y pilares se produce un efecto de carga vertical adicional y ascendente debido a las vibraciones verticales, con el suficiente potencial de causar daños. Es importante indicar que estas cargas son reversibles, es decir, que en ciertos instantes de tiempo la carga efectiva aumenta y en otros disminuye.

**Figura 20**

Fuerza sísmica, equivalente  $F$



Nota. (Arya et al., 2013)

Es necesario tener claro que las cargas sísmicas son dinámicas e imposibles de predecir con anticipación, ya que cada movimiento sísmico es distinto. Por ende, para realizar un diseño sísmico se utiliza la fuerza  $F$ , la cual se expresa como el producto de la masa de la estructura ( $m$ ) y la aceleración ( $a$ ), o como el coeficiente sísmico ( $k$ ) y el peso total de la estructura incluyendo su contenido ( $W$ ) (ecuación 4).



$$F = m * a = k * W$$

Las fuerzas de inercia son proporcionales a la masa (o peso) de la construcción, donde, solo los elementos del edificio o sus contenidos que poseen masa darán lugar a una fuerza sísmica, por lo tanto, cuanto más ligero sea el material, menor será la fuerza sísmica que actúa sobre él.

El coeficiente sísmico ( $k$ ) está en función de varios factores, y suele determinarse por la Ecuación 5:



$$k = Ag * S * D * I$$

**Donde:**

**Ag:** definida como la aceleración de diseño normalizada, producto de la aceleración del suelo dividida por la aceleración debida a la gravedad. Pudiendo de igual manera expresarse como el factor de zonificación sísmica ( $Z$ ), el cual depende de la intensidad relativa de un suelo para un sismo, suele representarse en mapas como líneas isosísmicas de intensidad sísmica o contornos de aceleración máxima, obviamente, cuanto mayor sea la intensidad o la aceleración, mayor será la fuerza sísmica (mapa para diseño sísmico del Ecuador).

**S:** se refiere al espectro de respuesta de diseño normalizado, el cual depende principalmente del periodo de vibración de un edificio ( $T$ ) y del perfil del suelo.

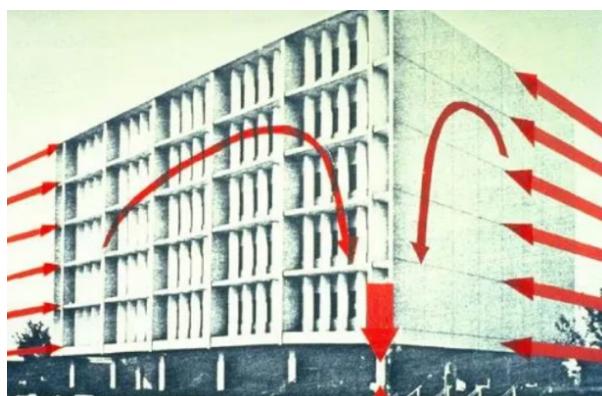
- **D:** factor estructural, que depende de la ductilidad y la amortiguación de la estructura, donde a mayor ductilidad, será mayor la energía que podrá absorber y por ende tendremos un valor menor de  $D$ . Ahora, la amortiguación es la propiedad que causa la disipación de energía de un edificio, cuanto mayor sea esta, tendremos un valor menor de  $D$ .
- **I:** referido al factor de importancia de ocupación el cual depende del uso de la edificación, cuanto mayor sea la importancia o el peligro causado por un posible fallo del edificio, mayor será el valor de  $I$ .

#### 4.2.1.1.3. Efectos de las deformaciones en las estructuras

Al momento de darse un sismo se producen sacudidas en el suelo, donde la base de la edificación se moverá. Sin embargo, el movimiento de los pisos superiores o techos sería diferente al de la base de la estructura. Esta diferencia en el movimiento crea fuerzas internas en las columnas que tienden a devolver la columna a su posición original (fuerzas de rigidez). Estas fuerzas serán mayores a medida que aumente el tamaño de las columnas o pilares (se debe evitar el efecto de la columna corta). Siendo la fuerza de rigidez en un pilar, la rigidez del pilar por el desplazamiento relativo entre sus extremos (figura 21).

**Figura 21**

*Fuerzas sobre columnas*



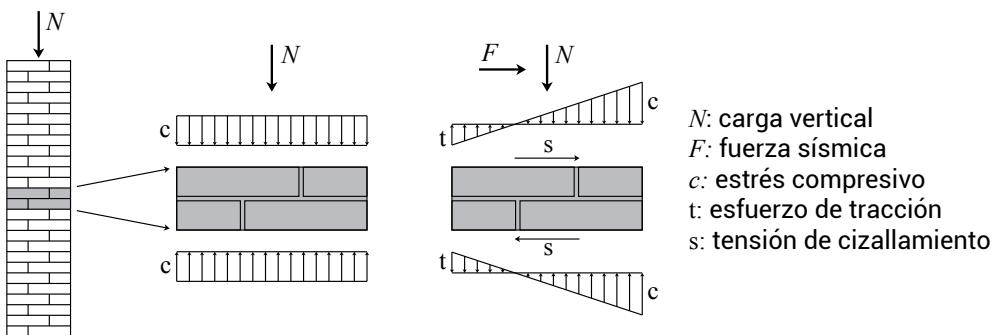
Nota. Anónimo

#### 4.2.1.1.4. Naturaleza de los esfuerzos sísmicos

Al efectuarse un sismo, los elementos estructurales como vigas, muros, columnas entre otros, que antes sólo soportaban cargas verticales, ahora deben soportar efectos horizontales como la flexión o el cizallamiento. Cuando la tensión de flexión debida a un sismo supera la compresión vertical, se produce una tensión neta de tracción. Si el material del edificio es débil en tensión (ladrillo, mampostería de piedra, entre otros) se produce un agrietamiento que reduce el área efectiva para resistir el momento de flexión (figura 22). Concluyendo que la resistencia del material de construcción, en especial sobre las fuerzas de tracción y el corte, es muy importante para que una estructura presente resistencia ante los sismos.

**Figura 22**

Efectos de la tensión en un muro o pared por un evento sísmico



a) Muro      b) Antes del terremoto    c) Durante el terremoto

Nota. (Arya et al., 2013)

#### 4.2.2. Daños en el suelo (ground failure)

Los sismos pueden inducir a daños o fallos en el suelo, estos se pueden presentar como ruptura del suelo a lo largo de la zona de falla (de pocos metros a cientos de km), además, de desprendimientos, asentamientos y licuefacción. Los edificios que se sitúen sobre alguna ruptura sufrirán daños graves o colapsaran, de igual manera un desprendimiento de suelo puede ocasionar la destrucción de un edificio, mientras que un asentamiento solo lo dañará.

Otro fenómeno derivado de la acción de un sismo es la licuefacción (liqueo = ser fluido; facio = hacer) donde los materiales no consolidados (generalmente en arenas saturadas de baja densidad y de tamaño de grano uniforme) que se encuentran en ciertas áreas o suelos saturados en agua, los hace más susceptibles a las vibraciones sísmicas (Tarbuck & Lutgens,

2005). Suelos que antes se consideraban estables se convierten en un fluido móvil que no es capaz de soportar edificios ni otro tipo de estructuras, lo que aumenta la posibilidad de que se hundan o colapsen.

#### 4.2.3. Tsunamis

Este fenómeno se produce generalmente por un movimiento repentino del fondo oceánico, a medida que las olas del mar se acercan a tierra, su velocidad disminuye, pero su altura aumenta (de 5 a 8 m aproximadamente, o incluso más), evidentemente los tsunamis pueden ser devastadores para las construcciones ubicadas en zonas costeras. Como antecedente podemos mencionar el tsunami del 26 de diciembre de 2004 en Aceh, Indonesia, el cual causó la muerte de más de 200.000 personas (Arya et al., 2013).

#### 4.2.4. Incendios

Cuando se produce un incendio tras un sismo, este resulta complicado de extinguir, ya que el evento sísmico suele ir acompañado de la pérdida del suministro de agua y de la conmoción propia del evento. Por tal motivo, un incendio provocado por un sismo es parte de los daños que sufren las edificaciones, por ejemplo, en el caso del gran terremoto de Kanto en Japón en 1923, donde se quemó el 50 % de Tokio y el 70 % del total de las casas y más de 100.000 personas murieron a causa del fuego (Arya et al., 2013).



### Semana 10

## 4.3. Tipos de edificios y su vulnerabilidad ante los sismos

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, por sus siglas en español) (2014) define a material de construcción, como el procesado o fabricado destinado a ser incorporado con carácter permanente en cualquier obra (edificación o de ingeniería civil), siendo los más empleados la mampostería, el hormigón armado y el acero para estructuras.

En los últimos años, se ha realizado varias investigaciones con el fin de evaluar los daños estructurales de edificaciones, tras el efecto que han tenido los sismos en diferentes regiones del mundo, como, por ejemplo, los terremotos de Hyogoken-Nambu en 1995, el de Adana-Ceyhan en 1998 o el

terremoto de Bhuj en la India en 2011, los cuales significaron centenares de personas afectadas con millonarias pérdidas (Yön et al., 2017).

Ahora, los tipos de edificios según menciona Grünthal (2009) pueden ser clasificados según consideremos la sismorresistencia, donde:

- En el nivel más bajo se encuentran los edificios sin diseño sismorresistente (DSR, por su abreviatura en español), incluyendo a las construcciones con y sin técnicas de ingeniería, siendo construcciones comunes en zonas que presentan baja sismicidad y las regulaciones para el diseño sísmico no existen o solo se presentan en forma de recomendaciones.
- Los edificios con DSR, corresponden a edificaciones diseñadas y construidas de acuerdo a las especificaciones y códigos de la construcción, siguiendo una filosofía de diseño, basándose en mapas peligro sísmico y de zonificación con parámetros que describen la actividad sísmica esperada en una locación; estos edificios se pueden encontrar en lugares donde se deben tener en consideración las regulaciones sismorresistentes (por ejemplo, Ecuador).
- En el nivel superior, se encuentran los edificios con requerimientos antisísmicos especiales, por ejemplo, el aislamiento de la base, los cuales se comportan de manera especial bajo cargas sísmicas sin presentar daños, a menos que el proceso de aislamiento de su base llegará a fallar de alguna manera.

#### 4.3.1. Estructuras de mampostería

Empezamos describiendo la mampostería, sistema constructivo que consiste en levantar muros a base de bloques (natural o de fábrica), y siendo uno de los históricamente más utilizados en la construcción, estas estructuras se clasifican según la NEC (2014) en:

- **Mampostería reforzada:** que se integra de mampostería de perforación vertical, unidas por un mortero (masa compuesta fundamentalmente por material ligante, arena y agua; empleado para unir piedras o ladrillos, alisar superficies y proteger mamposterías), reforzada internamente con barras y alambres de acero. Aquí el mortero puede colocarse en todas las cavidades o únicamente en aquellas donde se encuentra el refuerzo.

- **Mampostería parcialmente reforzada:** integrada por piezas de mampostería de perforación vertical, agrupadas por mortero y fortalecida internamente con barras y alambres de acero.
- **Mampostería simple (no reforzada):** conformada por piezas de mampostería unidas por mortero, y las cuales no cumplen con los requerimientos mínimos de refuerzo establecidos para tener una mampostería parcialmente reforzada.

Por otra parte, podemos señalar que la mampostería es un material generalmente concebido para resistir cargas verticales (resistencia a la compresión), pero además pueden ser sometidos a fuerzas horizontales por la acción de los sismos, fuerzas que deben ser soportadas por la estructura, en este punto es importante considerar la resistencia al cizallamiento. Los sismos que han ocurrido en el pasado nos dan una idea que las estructuras de mampostería no reforzada han sido las más afectadas al compararlas con otros sistemas constructivos.

Según Bonett (2003) el fallo de este tipo de construcción se debe a un comportamiento de muy poca ductilidad, donde el colapso se presenta de forma muy rápida, estando relacionado con las malas conexiones, diafragmas de piso excesivamente flexibles, morteros de mala calidad, entre otros. Ante sismos menos intensos, este tipo de estructuras se han visto afectadas ligeramente sin presentar daños de consideración, lo cual no indica que en zonas con una peligrosidad sísmica baja o moderada y empleando reforzamiento se podría garantizar un buen desempeño de estas estructuras.

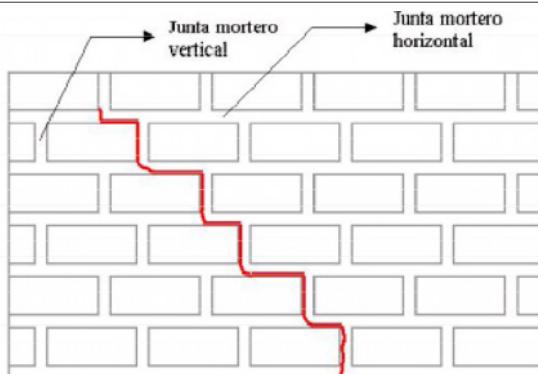
La mampostería se caracteriza por dos efectos importantes: 1) respuesta frágil de los bloques de mampostería en tracción y 2) la debilidad derivada por las juntas de mortero, como se detalla en la tabla 9.

## Tabla 9

### Fallos en mampostería

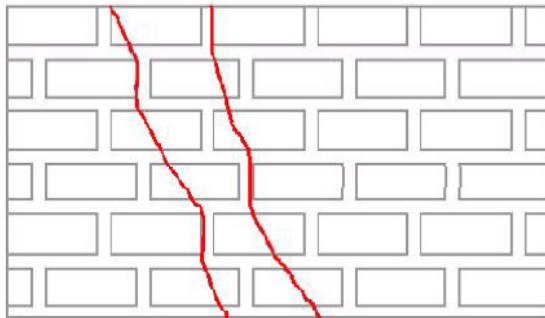
#### Fallo fricción-cortante

Ocasionalo por esfuerzos de compresión generados por la unión débil entre el mortero y los bloques, lo que produce esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales



### Fallo por tensión diagonal

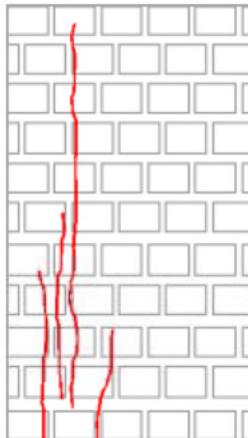
Se genera de manera directa sobre las unidades de mampostería para valores de esfuerzos normales de compresión moderados, donde la resistencia al cizallamiento de las juntas de mortero, se incrementa debido al efecto de los esfuerzos normales de compresión. Donde las grietas se producen en los bloques, como el resultado de los esfuerzos de tracción inducidos por el estado de esfuerzos de compresión y cizalla.



---

### Fallo a compresión

Este fallo se da para valores muy elevados de esfuerzos normales en comparación con los esfuerzos cortantes.



---

Nota. (Bonett, 2013)

#### 4.3.2. Paredes de roca de cantera, roca simple y masiva

En las construcciones de roca de cantera se emplean rocas desnudas, ligadas a un mortero (generalmente de mala calidad) originando edificaciones pesadas y con poca resistencia a cargas laterales.

Una construcción de roca simple dista de la construcción de roca de cantera al haber sido labrada antes de ser usada, este tipo de rocas son usadas en la construcción según ciertas técnicas que mejoran la resistencia de la estructura, por ejemplo, utilizando rocas grandes para enlazar los muros en las esquinas; y los edificios de roca masiva son los que cuentan con rocas muy grandes las cuales se limitan a construcciones monumentales (castillos o grandes edificios civiles) (Grünthal, 2009).

#### 4.3.3. Adobe o ladrillos de tierra

Este tipo de construcción es común en zonas rurales y en Ecuador en áreas declaradas como patrimoniales, requieren de mano de obra sencilla, ya que únicamente demandan muros gruesos de adobe o ladrillos de tierra; los métodos de construcción varían ampliamente, introduciendo algunas variaciones en la resistencia contra las vibraciones sísmicas; por ejemplo, cuando se construyen muros de adobe sin la presencia de ladrillos, estos se vuelven rígidos y débiles; al añadir ladrillos la construcción se puede comportar en un mejor grado dependiendo de la calidad del mortero, y en menor grado si contamos con un ladrillo de mala calidad (Grünthal, 2009).

Por ejemplo, podemos citar los daños a construcciones de adobe debido al sismo del 25 de julio de 2022 en la provincia de Carchi, el cual según el IGEPN tuvo una magnitud de 5,2; causando 332 viviendas afectadas (figura 23) (El Mercurio, 2022).

**Figura 23**

*Daños a construcciones de adobe debido al sismo suscitado en la provincia de Carchi el 25 de julio de 2022*



Nota. Anónimo.

Igualmente, el peso del techo es un factor determinante en el rendimiento sísmico de este tipo de edificaciones, siendo los techos pesados más peligrosos. Las construcciones de adobe o ladrillo de tierra que incorporan armazones conectados de madera poseen una mayor resistencia, resultando en un mayor rendimiento ante un evento sísmico, presentado únicamente daños en los muros, cuando se incorporan columnas o vigas de madera no unidas, estas proporcionan una rigidez horizontal extra, lo cual mejor el rendimiento, pero comparativamente menor a un armazón conectado (tabla 10).

Sin embargo, estos edificios presentan ciertas ventajas como sus propiedades térmicas y la sencillez que requiere su construcción. Los servicios de ingeniería no son requeridos para construir este tipo de edificaciones, ya que los bloques de adobe se producen a partir del material local que básicamente contiene tierra mezclada con paja y esta se la deja secar al sol.

## Tabla 10

### Efectos en estructuras de adobe o ladrillos de tierra

#### Daños en techos

Cierto tipo de construcciones cuentan con un tejado o techo de tierra, los cuales generalmente se apoyan sobre las dos paredes principales, cuyo objetivo es proporcionar aislamiento térmico y de humedad. Estos techos suelen ser pesados y pierden eficacia debido a las condiciones climáticas (por ejemplo, la lluvia). Y al momento de repararlos se aumenta su peso añadiendo nuevas cubiertas de tierra, teniendo como resultados techados pesados, donde las estructuras están sometidas a mayores fuerzas de inercia durante los sismos.



## **Daños en las esquinas**

Estos tipos de daños son comunes en las construcciones de adobe y mampostería, ya que suelen presentarse en las conexiones entre paredes, y entre paredes y tejados cuando las construcciones se someten a desplazamientos fuera del plano. Durante un sismo las concentraciones de esfuerzos aumentan especialmente en los muros o paredes que se intersectan, apareciendo grietas verticales o inclinadas en las esquinas de las edificaciones. Por ende, es importante utilizar vigas de unión en las esquinas o en las conexiones, lo que disminuye la intensidad y el tamaño de las grietas a lo largo de los muros.



Nota. (Yön et al., 2017)

### **4.3.4. Ladrillo no reforzado o bloques de hormigón**

En este tipo de construcciones la vulnerabilidad se ve afectada por el número, tamaño y posición de las aperturas, por ejemplo, cuando se tienen aperturas grandes, pequeños entrepaños entre las aperturas y esquinas, como largos muros que no cuentan con elementos de rigidez perpendiculares la construcción será altamente vulnerable. Otro problema derivado de las unidades de roca manufacturada es el uso de sistemas de muros huecos con revestimientos internos y externos, que en el caso de no conectarse apropiadamente pueden generar muros muy débiles con poca sismorresistencia

### **4.3.5. Ladrillo no reforzado con piso de HA**

Las construcciones que se conforman con muros de ladrillo no reforzado pero que tienen pisos de hormigón armado tendrán un comportamiento

mucho mejor que las viviendas normalmente edificadas únicamente con ladrillo. Teniendo muros unidos entre sí mediante una solera rígida con vigas perimetrales, creando de esta manera una estructura de cajón, la cual merma significativamente el riesgo de colapso de los muros fuera del plano. Esta mejora sustancial en el rendimiento de la construcción se obtiene únicamente si el piso de HA está conectado adecuadamente a la estructura (lo que generalmente no sucede en edificaciones informales las cuales son realizadas sin criterio técnico).

#### **4.3.6. Ladrillo reforzado y mampostería confinada**

Como se mencionó anteriormente en la mampostería reforzada se insertan barras o mallas de acero, conjuntamente con mortero en los huecos o entre capas de ladrillo de mampostería, creando de esta manera un material compuesto que actúa como un muro caracterizado por su alta resistencia y ductilidad (tanto en direcciones verticales como horizontales). Ahora, la mampostería confinada está caracterizada por ser construida rígidamente entre columnas estructurales y vigas en los cuatro lados, la cual brinda un nivel de resistencia similar a la mampostería reforzada.

#### **4.3.7. Estructuras de hormigón armado**

Podemos definir al hormigón como la mezcla de cemento (portland o cualquier otro cemento hidráulico), con agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos (NEC, 2014). Por sí solo el hormigón no posee un buen comportamiento respecto a la flexión y a la tracción, por tal motivo es frecuente que se presente con armaduras de acero en su interior, denominándose hormigón armado. Este tipo de estructuras son muy comunes en las ciudades modernas, las cuales varían ampliamente en apariencia, diseño y resistencia.

##### **4.3.7.1. Estructuras de armazón de hormigón armado**

Consiste en un sistema de vigas y columnas que forman un armazón de HA, acopladas mediante uniones monolíticas de vigas y columnas resistentes a momentos y esfuerzos de cizalla, siendo capaces de resistir cargas verticales como laterales. El comportamiento de estos armazones se determina por: 1) la proporción entre la altura y 2) la resistencia (secciones transversales) de vigas y columnas. Dónde columnas débiles y unas vigas fuertes indican un sistema que es vulnerable a fuerzas laterales. Añadiendo,

que para los armazones de HA (acero o madera) generalmente los daños se suelen presentar en las columnas.

Estas estructuras son comunes y se encuentran muy extendidas alrededor del mundo, siendo caracterizadas por tener una alta variabilidad en su sismorresistencia, por ejemplo, en el caso de desplome, los daños sobre este tipo de estructuras suelen ser imprevistos. Ahora, es muy común que se presenten armazones de HA con rellenos de mampostería, donde una posible interacción entre el armazón de HA y los rellenos frágiles pueden contribuir a tener un sistema con un grado mayor de vulnerabilidad. Donde las columnas y enlaces tienen que reaccionar a soportar cargas adicionales para las cuales no están diseñadas en primera instancia. Si el relleno presenta aperturas o alguna otra discontinuidad, es posible que se genere un efecto de “columna corta” los cuales resultan en fallos como la presencia de cortes en las columnas (grietas diagonales e inclinación del reforzamiento de la columna) teniendo una edificación vulnerable.

Como síntesis podemos mencionar que la vulnerabilidad de los armazones de HA se ve afectada por todos los factores mencionados anteriormente, como la irregularidad, la calidad, la fabricación o la ductilidad, siendo generalmente vulnerables a las interrupciones de rigidez lateral en toda la altura del edificio, donde un primer piso blando puede provocar el colapso de toda una edificación, haciéndolos muy susceptibles a las cargas laterales. Ahora, si los edificios presentan irregularidades en planta, el daño se enfocará en los lugares alejados del centro de rigidez, siendo más claros, si algunas columnas exteriores se ven afectadas, esto es un aviso de que la edificación presenta efectos torsionales y un armazón vulnerable (tabla 11).

#### **4.3.7.2. Estructuras de muros de hormigón armado**

Estas estructuras se caracterizan por tener una mayor rigidez que las estructuras de armazón de HA, pero si los muros no están colocados en forma regular y en todos los lados exteriores de la edificación, se pueden generar efectos torsionales que pueden contribuir a la generación de fallos parciales del sistema. Además, las irregularidades en la planta o los defectos internos deben ser considerados como defectos serios aun cuando el exterior de la estructura se presente uniforme, ya que son capaces de aumentar considerablemente su vulnerabilidad, dichos efectos se abordan en el siguiente recurso.

#### **Efectos en estructuras de hormigón armado**

#### 4.3.8. Estructuras de acero

Según Grünthal (2009) bajo esta categoría se clasifican los edificios en los cuales el sistema estructural principal lo proporciona un armazón de acero, según las evaluaciones macrosísmica de este tipo de estructuras, indican un alto nivel de sismorresistencia, pero siendo necesario indicar que los daños estructurales pueden presentarse en los revestimientos de paredes o guarneidos, paredes de mampostería o en añadidos de hormigón (los cuales son incluidos para aumentar la resistencia a los incendios).

Este tipo de estructuras son bastante utilizadas en áreas de alta peligrosidad sísmica, dadas las ventajas constructivas del acero, pero este sistema puede exhibir ciertas desventajas, por ejemplo, presentar una alta flexibilidad frente a fuerzas horizontales, por lo cual es necesario que se refuerzen mediante diagonales (conocidas como Cruces de San Andrés), donde la ubicación de estos refuerzos suele verse limitado por razones de espacio (Vielma, 2014).

#### 4.3.9. Estructuras de madera

Las construcciones de madera no han sido muy estudiadas debido a que las mismas generalmente no se encuentran con frecuencia en regiones de elevada actividad sísmica (especialmente en Europa); la flexibilidad innata de la madera proporciona una mayor resistencia a la edificación ante los daños, lo cual puede variar dependiendo de las condiciones en que se encuentre la estructura, donde la madera podrida o uniones flojas pueden volver a una construcción muy vulnerable al colapso, por ejemplo en el sismo de Kobe en 1995, fue llamativo que ciertas edificaciones de madera tradicionales tuvieran una baja respuesta debido a su mala condición, lo que nos da a entender que la vulnerabilidad depende de algo más que el tipo de construcción (Grünthal, 2009).

Ahora, en estructuras de madera es necesario considerar con precaución que las vigas y columnas no están conectadas mediante placas clavadas (de yeso u otros materiales débiles o quebradizos), donde la estructura colapsará si las conexiones fallan.



Como texto de lectura y aprendizaje guía usted estimado estudiante debe revisar la sección 2 del documento “[Escala Macrosísmica Europea 1998](#)” (Grünthal, 2009), páginas de la 31 a la 48.

Apreciado estudiante, ahora les sugerimos ahondar en la temática vista en la presente unidad al realizar las siguientes actividades recomendadas:



### Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Leer el siguiente artículo sobre “[El comportamiento de estructuras de acero durante los sismos de septiembre de 2017](#)” en México.
2. Revisar el siguiente artículo titulado “[El secreto de los edificios que no se cayeron durante el terremoto de Ecuador](#)”.
3. Ahora es momento de realizar la Autoevaluación 4 con el fin de evidenciar los conocimientos adquiridos en la presente unidad.



## Autoevaluación 4

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 4, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente actividad.

1. ¿Cuál de las siguientes no es una causa básica de daños ocasionados por sismos?
  - a. Sacudía o movimiento del suelo.
  - b. Tsunamis.
  - c. Incendios.
  - d. Erosión del suelo.
2. ¿La cantidad de víctimas mortales y el alcance de los daños dependen principalmente de la falta de ingeniería al momento de construir una edificación?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. La base de una estructura se moverá (incluyendo su contenido) debido a la inercia de las masas
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. ¿La carga sísmica o lateral se refiere a la acción horizontal del movimiento del suelo la cual es similar a una fuerza horizontal que actúa sobre el edificio?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. ¿Los efectos horizontales como la flexión o el cizallamiento sobre los elementos estructurales generalmente siempre están presentes?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. ¿Cuál de los siguientes no es un daño o fallo en el suelo derivado de un sismo?
  - a. Ruptura del suelo a lo largo de la zona de falla.
  - b. Licuefacción.
  - c. Asentamientos.
  - d. Incendios.
7. ¿Los sismos que han ocurrido en el pasado nos dan una idea que las estructuras de mampostería no reforzada han sido de las más afectadas?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
8. Se denomina piso blando a aquellas edificaciones, que poseen una planta inferior diseñada y destinada a actividades comerciales, lo cual causa que la planta baja tenga menos rigidez que los pisos superiores
  - a. Verdadero
  - b. Falso
9. ¿El fallo de fricción-cortante es ocasionado por la unión débil entre el mortero y los bloques?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
10. ¿La mala calidad del hormigón puede influir en el rendimiento de la edificación?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

Culminada la Autoevaluación 4, le sugerimos comprobar sus respuestas con las del solucionario que se encuentra al final de la presente guía.

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 5. Riesgo, peligro y vulnerabilidad sísmica

---

Ahora estimado estudiante continuamos con el estudio de la unidad 5, en la cual se explicará en detalle las principales metodologías empleadas para determinar la vulnerabilidad sísmica, partiendo de los conceptos de riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad hasta profundizar en los métodos de clasificación de esta última.

### 5.1. Riesgo sísmico

Según la RAE la palabra riesgo significa “contingencia o proximidad de un daño”, además, como menciona el glosario de términos de gestión de riesgos y desastres (SGR, 2018) lo podemos definir como “la probable pérdida de vidas o daños ocurridos en una sociedad o comunidad en un periodo de tiempo específico”, siendo conformado por la peligrosidad y la vulnerabilidad. La RAE define la peligrosidad como “calidad de peligro” que en términos más técnicos la podemos expresar como “amenaza impuesta por ciertos fenómenos naturales, como los sismos o erupciones, entre otros, que pueden ocasionar consecuencias desfavorables como pérdidas de vidas humanas y económicas” (Bonett, 2003). Por último, podemos definir a la vulnerabilidad según la RAE como “que puede ser herido o recibir lesión, física o moralmente” y según la SGR como la “condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas”.

De los conceptos anteriormente descritos existe una frecuente confusión, por ende, es necesario encontrar una definición estándar, que según Bonett (2003) las define de la siguiente manera:

- **Riesgo sísmico (*seismic risk*):** corresponde a los efectos sociales y económicos provocados por un sismo, como consecuencia de la falla de estructuras cuya capacidad de resistencia fue superada por el fenómeno sísmico.

- **Peligrosidad sísmica (*seismic hazard*):** posibilidad de que suceda un fenómeno físico como consecuencia de un sismo, lo que causa una serie de efectos negativos sobre las actividades humanas.
- **Vulnerabilidad sísmica (*seismic vulnerability*):** permite calificar a las estructuras de acuerdo a su calidad estructural y a la cuantificación del daño o grado que se espera que sufra.

Según UNESCO (1980) estos conceptos se pueden expresar según la siguiente expresión, donde se integra el concepto de pérdidas sísmicas, que se refiere a la valoración de los costes materiales y pérdidas humanas generadas por un evento sísmico (Ecuación 6).



$$\text{Riesgo sísmico} = \text{peligrosidad sísmica} * \text{vulnerabilidad sísmica} * \text{pérdidas sísmicas} \quad (6)$$

El riesgo sísmico depende directamente de la peligrosidad y de la vulnerabilidad sísmica, por ejemplo, las estructuras de una zona o comunidad caracterizada con una cierta peligrosidad sísmica pueden verse afectados en menor o mayor grado dependiendo de su grado de vulnerabilidad, lo cual motivara un cierto nivel de riesgo sísmico en el lugar.

## 5.2. Peligrosidad sísmica

Según D'Ercole & Trujillo (2003) en Ecuador se consideran seis tipos de amenazas o peligros, en función de su ocurrencia y de sus potenciales consecuencias negativas, teniendo: 1) las amenazas geofísicas (sismos, tsunamis, erupciones volcánicas) y las amenazas climáticas y morfoclimáticas (inundaciones, movimientos en masa, sequías). De todas estas, si se compara el impacto de los desastres en la historia del Ecuador, entre los eventos de origen natural, son los sismos los que han tenido las consecuencias más graves, en especial si nos referimos al número de víctimas mortales.

Ahora, se define a la peligrosidad sísmica como la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico consecuencia de un terremoto (por ejemplo, efectos de sacudida o movimientos del suelo, licuefacción, deslizamientos de tierra, entre otros). Tanto la localización y tamaño de estos fenómenos derivados de un sismo dependen de las características del sismo, como la

profundidad de su foco, intensidad, magnitud, duración, entre otros, además de factores como las características geológicas y geotécnicas del lugar.

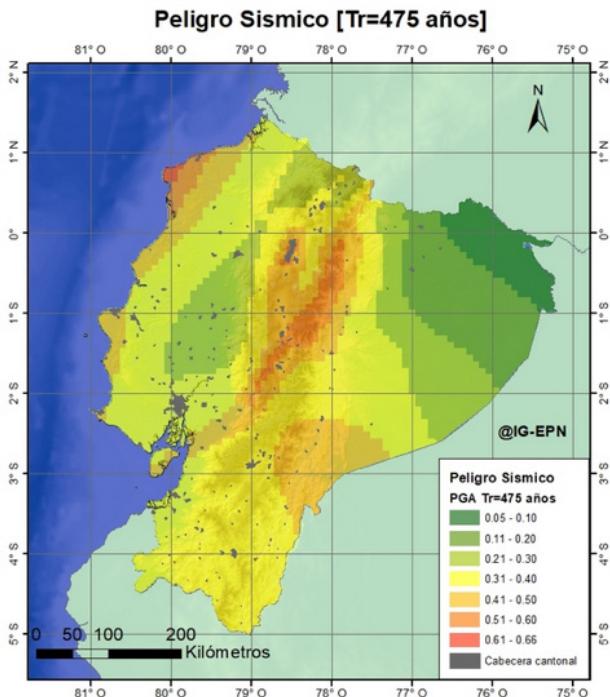
En este sentido, el primer paso para evaluar la peligrosidad sísmica es identificar y categorizar las zonas de mayor a menor peligrosidad, que se basan en la utilización de métodos o modelos numéricos probabilísticos, los cuales pretenden establecer: 1) la sismicidad presente en cierta zona, 2) las fuentes sísmicas y 3) la minoración del movimiento del suelo. Estos resultados se pueden expresar en forma de: 1) probabilidad de ocurrencia de los distintos tamaños de los sismos, 2) probabilidad de excedencia de diferentes niveles de intensidad del movimiento o 3) los valores máximos de aceleración esperados (Bonett, 2003).

Pero, estos modelos generalmente tienen algunas incertidumbres, lo que los lleva a ser calculados utilizando extrapolación de datos y adaptación de estudios de otras regiones, resultando en modelos simplificados. Donde esta incertidumbre es más grande en áreas con una baja intensidad sísmica o con información escasa, donde los expertos deben realizar los ajustes a los modelos con el fin de evaluar la peligrosidad (Bonett, 2003).

Para el caso de Ecuador se definió un mapa de peligro sísmico para un 10 % de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años), dividiendo país en ocho zonas de peligro sísmico (figura 24), mediante un análisis probabilístico del peligro sísmico (PSHA, por sus siglas en inglés) el cual tuvo el objetivo de cuantificar las incertidumbres en el conocimiento de la generación de los eventos sísmicos y combinarlas para producir una descripción explícita de la distribución de las sacudidas futuras que pueden ocurrir en un sitio dado, como se detalla en el [Mapa digital interactivo de peligro sísmico para Ecuador](#) (IGEPN, 2021).

**Figura 24**

Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años. (IGEPN, 2021)



### 5.3. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica permite calificar a las estructuras de acuerdo a su calidad estructural y a la cuantificación del daño o grado que se espera que sufran ante un evento sísmico intenso, estando asociada directamente con las características físicas y estructurales de diseño.

Al querer realizar estudios sobre el riesgo sísmico que busquen minimizar las afecciones y pérdidas ocasionadas por los sismos, es preciso siempre contemplar la amenaza y sobre todo la vulnerabilidad, ya que al disminuirlas se mitigara en cierto grado el riesgo sísmico de un lugar. Aunque es importante tener un conocimiento adecuado de la amenaza o peligrosidad (posibilita describir las acciones que se deben considerar en el diseño como el sitio donde puedan ser construidas), pero siendo realistas es difícil disminuirla, siendo necesario en este caso intervenir sobre la vulnerabilidad.

En tal sentido, se vuelve un punto relevante el conocer el comportamiento sísmico de las estructuras, ya que esto permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo necesarios para reducir los efectos provocados por el movimiento del suelo derivados de un fenómeno sísmico. Teniendo el caso, que para construcciones nuevas se puedan plantear nuevos y modernos sistemas constructivos y/o nuevas filosofías de diseño, las cuales garanticen un buen desempeño.

En la actualidad se han llevado a cabo varios análisis de vulnerabilidad sísmica sobre distintas estructuras, lo cual conlleva un trabajo investigativo de por medio, resultando en muchas propuestas de evaluación de la vulnerabilidad, pero en ciertos países denominados como “en vía de desarrollo” y con un bajo control en el diseño sismorresistente, se ha hecho poco para reducir la vulnerabilidad, con lo cual ante eventos sísmicos de intensidad moderada o alta, estos se pueden convertir en verdaderas catástrofes.

### 5.3.1. Clasificación de los métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica

Según menciona Herrera et al. (2014) para realizar una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones se pueden emplear modelos numéricos, inspecciones o pruebas de laboratorio. Siendo primordial distinguir entre la vulnerabilidad observada y la vulnerabilidad calculada. La primera se refiere a la vulnerabilidad obtenida de la observación de los daños posteriores a un sismo y de análisis estadísticos para un tipo específico de estructura y, la segunda, describe la vulnerabilidad obtenida por medio de un análisis matemático empleando modelos estructurales o ensayos de laboratorio de modelos reducidos, donde sus resultados se expresan en términos probabilísticos.

Durante el transcurso del tiempo, se han propuesto distintos esquemas de clasificación de los distintos métodos y técnicas de evaluación sísmica, pero, estos se diferencian notablemente según ciertos factores como: 1) naturaleza y objetivo de la evaluación; 2) calidad y disponibilidad de la información; 3) características propias de las edificaciones; 4) escala de evaluación; 5) criterios de la metodología; 6) grado de confiabilidad de los resultados obtenidos y 7) el uso de la información obtenida por parte del usuario final.

De manera general, se presentan tres metodologías de evaluación de la vulnerabilidad: 1) la clasificación según Corsanego y Petrini desarrollada en

1990; 2) la clasificación desarrollada por Dolce et al., en 1994 y por último 3) la clasificación de acuerdo a Calvi et al., publicada en 2006, las cuales se detallan a continuación:

### 5.3.2. Clasificación según Corsanego y Petrini

Esta metodología es una de las más completas y reconocidas, basada en el tipo de resultado producido, las técnicas para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica que conforman esta metodología se dividen en cuatro grandes grupos.

**Técnicas directas:** posibilitan predecir directamente y en una sola etapa, el daño ocasionado por un evento sísmico, destacando dos métodos:

- **Tipológicos**, que clasifican las edificaciones en clases, las cuales dependen de los materiales, técnicas, características de la construcción, etc. La evaluación de la probabilidad del daño se fundamenta en los daños observados y registrados después de los sismos, y también en el reconocimiento por expertos, en estos métodos es importante la precisión estadística de los datos, debido a que se basan en trabajos de campo sencillos. Es necesario indicar que los resultados obtenidos son únicamente válidos para el área evaluada, o para otras áreas de similar tipología o riesgo sísmico, por ejemplo, podemos mencionar las funciones de vulnerabilidad y las matrices de probabilidad de daño.
- **Mecánicos**, pronostican el efecto del sismo sobre la estructura por medio de modelos mecánicos; diferenciando dos grupos que se encuentran relacionados con el modelo utilizado para representar la estructura, los que se basan en modelos simples (deben permitir analizar un gran número de edificios en un periodo corto de tiempo, y que requiere unos pocos parámetros de entrada) y lo que se basan en modelos detallados, enfocados a evaluar estructuras individuales, que requieren de un análisis más completo y de modelos precisos. Este tipo de métodos emplean procedimientos de análisis lineal (estático y dinámico) y no lineal (estático y dinámico), por ejemplo, en relación con los análisis estáticos no lineales tenemos los métodos del espectro de capacidad (MEC), del coeficiente de desplazamiento o el método N2.

**Técnicas indirectas:** este tipo de técnicas comienzan determinando un índice de vulnerabilidad que luego será relacionado con el daño de la intensidad sísmica, mediante estudios post-sismo y estudios estadísticos, siendo bastante útiles en evaluaciones sísmicas a gran escala, pudiendo nombrar el método del índice de vulnerabilidad (IVM), el método propuesto por Benedetti y Petrini en 1984 o la técnica de selección rápida del ATC-21, la cual se basa en la asignación de puntajes para obtener una puntuación final de la vulnerabilidad.

**Técnicas convencionales:** este tipo de técnicas establecen un índice de vulnerabilidad, el cual es independiente de la predicción del daño, se emplean esencialmente para comparar la vulnerabilidad relativa de distintas edificaciones de una misma tipología que se encuentran en una determinada zona, de acuerdo a algunos factores, los cuales contribuyen a la resistencia sísmica y es calibrada por expertos. Los índices que dan estas técnicas proporcionan una medida relativa de la vulnerabilidad, pero siendo resultados difíciles de comparar para distintas clases de construcciones, debido a las diferencias entre los factores considerados. Se presentan dos grupos de métodos, los primeros que se basan en calificar empíricamente las distintas características físicas de las estructuras, y los segundos se fundamentan en los mismos criterios empleados en las normas sismorresistentes, que evalúan la relación demanda/capacidad de las estructuras de manera simplificada, por ejemplo, el método ATC-13 el cual contiene matrices de probabilidad de daño que parten de la opinión de expertos, donde el grado de incertidumbre se asume como una limitación que es tratada a través del procesamiento probabilístico. También podemos mencionar la técnica HAZUS desarrollada por el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción (NIBS, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Gestión Federal de Emergencias de EEUU (FEMA, por sus siglas en inglés), el cual emplea los desplazamientos y aceleraciones espectrales como una medida de la acción sísmica, además de utilizar la subjetividad relativa de la opinión de expertos para poder clasificar los daños de 36 tipos de modelos estructurales.

**Técnicas híbridas:** son técnicas combinadas que pueden integrar algunos de los métodos antes mencionados, como funciones de vulnerabilidad basadas en la vulnerabilidad observada conjuntamente con juicios de expertos, este tipo de vulnerabilidad se define en clases según la EMS-98, como es el caso del modelo macrosísmico y mecánico desarrollado por Lagomarsino

y Giovinazzi en 2006, el cual combina las características de los métodos tipológicos y técnicas indirectas.

### 5.3.3. Clasificación según Dolce et al.

Esta clasificación examina por separado las etapas fundamentales que integra un análisis de vulnerabilidad (datos de entrada, método empleado y resultado obtenido), siendo posible incluso obtener distintas combinaciones de estas etapas. Este método considera tres tipos, los cuales se detallan a continuación:

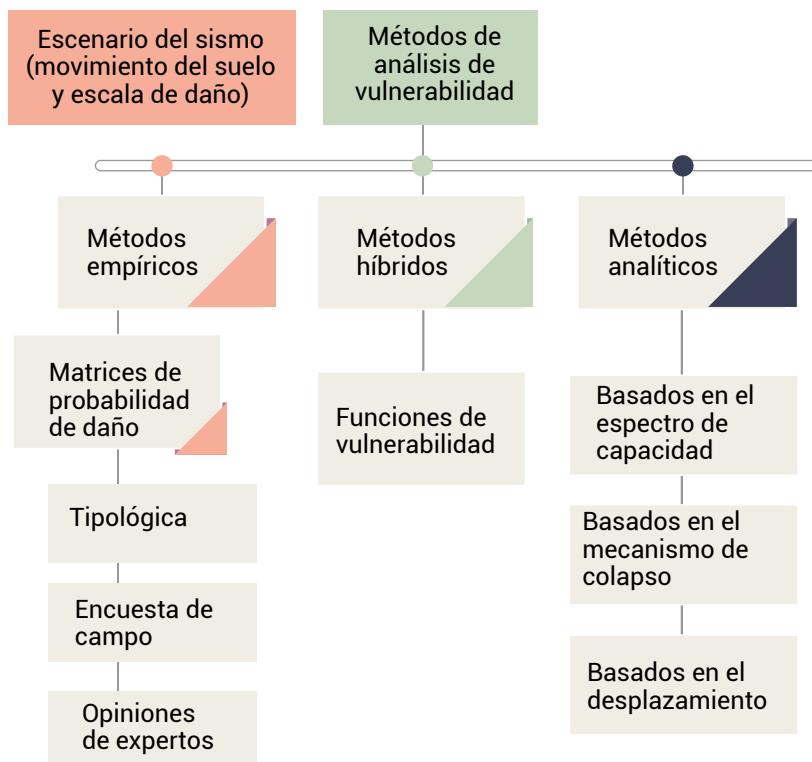
#### [Etapas del análisis de vulnerabilidad y métodos](#)

### 5.3.4. Clasificación según Calvi et al.

Esta es una de las técnicas más recientes para medir la vulnerabilidad, la cual tiene como objetivo el obtener la probabilidad de que una edificación sufra un determinado daño por acción de un sismo de una determinada intensidad o magnitud, esta clasificación se divide en tres categorías: 1) métodos empíricos, 2) métodos analíticos y 3) métodos híbridos, los cuales se detallan en la figura 25.

**Figura 25**

Métodos y su clasificación para medir la vulnerabilidad según Calvi et al



Nota. (Herrera et al., 2014)

Comúnmente, los métodos de análisis de la vulnerabilidad cuantifican la afectación por medio de ciertas escalas de intensidad, las cuales suelen adoptar valores discretos, por ejemplo, la escala MSK o la EMS-98. Ahora, cuando se utilizan métodos empíricos, la escala del daño se basa en observaciones y consideraciones estadísticas; y cuando se emplean los métodos analíticos, se relaciona la escala del daño con las características mecánicas de la estructura (por ejemplo, los estados límite de la capacidad de desplazamiento lateral); estos se detallan a continuación:

#### 5.3.4.1. Métodos empíricos o estadísticos

Se basan en la información obtenida de daños observados después de la ocurrencia de un evento sísmico, estos métodos se han empleado para definir la vulnerabilidad estructural desde la década de los 70's; son caracterizados por tener un alto grado de subjetividad debido a: 1) la falta

de datos, por ejemplo, escasa información de daños ocasionados por sismos de magnitud alta, y 2) su insuficiencia al evaluar de una manera precisa y directa los efectos físicos sobre las estructuras. Se presentan dos métodos empíricos para evaluar la vulnerabilidad sísmica, que se detallan a continuación:

#### **5.3.4.1.1. Método de matrices de probabilidad de daño (MPD)**

Este método fue desarrollado por Whitman en 1973, según estudios sobre distintas construcciones se produjeron MPD para cada tipo de sistema constructivo, donde cada matriz expresa la probabilidad que una edificación de cierta tipología o clase sienta un nivel de daño por cada intensidad sísmica que se presente, estableciendo de esta manera una relación entre la tipología y el daño observado.

Las MPD que se basan en el criterio de expertos se desarrollaron por primera vez en el ATC-13, elaborado por FEMA con el fin de evaluar los daños sísmicos originados por los sismos en California; Giovinazzi y Lagomarsino crearon el método macrosísmico a partir de la escala EMS-98.

#### **5.3.4.1.2. Método del índice de vulnerabilidad (IVM)**

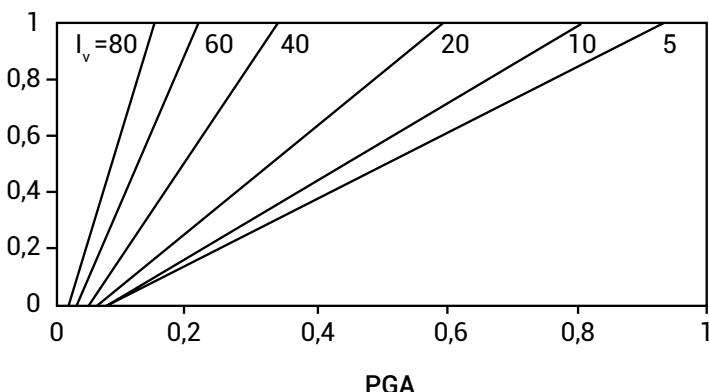
Este método se basa en datos empíricos y se lo clasifica como una técnica indirecta, fue desarrollado en Italia mediante datos emanados de los daños presentes en las edificaciones y encuestas realizadas posteriormente al evento sísmico. Por medio de los datos obtenidos de inspecciones, las cuales pretenden proporcionar una calificación de la calidad de la infraestructura y su construcción sismorresistente mediante un coeficiente llamado índice de vulnerabilidad ( $I_v$ ) el cual integra parámetros que controlan el daño ocasionado por el sismo.

Se basa en relacionar el  $I_v$  obtenido, con el grado de daño global  $d$  que sufre la construcción, esto por medio de funciones de vulnerabilidad para cada grado de intensidad macrosísmica del sismo o para distintos niveles de aceleración máxima (PGA). El factor de daño varía entre 0 y 1, definiéndose como la relación entre el coste de reparación y el coste de reposición (figura 26).

**Figura 26**

Funciones de vulnerabilidad para distintos valores del índice de daño

Factor de daño, d



Nota. (Herrera et al., 2014)

Se presentan once parámetros a evaluar en función de la clasificación de las edificaciones, donde los valores de los coeficientes de calificación aplicados ( $K_i$ ), varían según las condiciones de calidad de A (óptimo) hasta D (desfavorable), estos coeficientes a su vez se ponderan mediante un factor de importancia relativa ( $W_i$ ), empleando la Ecuación 7:

$$Iv = \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i \quad (7)$$

Por otra parte, este método presenta una ventaja con respecto al método de las MPD, ya que es capaz de caracterizar la vulnerabilidad de una estructura o grupo de estructuras que poseen una similar tipología (mediante  $Iv$ ) en vez de basarse en una definición de vulnerabilidad general para toda la tipología. Este enfoque fue adaptado e incorporado como una de las metodologías aplicadas dentro del proyecto europeo RISK-UE, en el cual se evaluó la vulnerabilidad sísmica para siete ciudades europeas. Destacando dos métodos los cuales se detallan a continuación:

- **Método de Índice de Vulnerabilidad (GNDT)**

Durante las últimas décadas, las metodologías para determinar el índice de vulnerabilidad han sido desarrolladas en Italia por el "Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) o Grupo Nacional de Defensa contra los Terremotos, este método se clasifica en dos niveles el GNDT nivel I y nivel II.

De esta manera, es necesario recopilar un gran número de datos e información sobre los daños, mediante inspecciones o estudios de campo y el llenado de formularios; los cuales tienen como objetivo proporcionar una idea de los parámetros más fundamentales que influyen y controlan la vulnerabilidad estructural del edificio, por ejemplo, la configuración estructural en planta y en elevación, el tipo de material entre otros; constando de once parámetros en total y sus coeficientes de calificación ( $K_i$ ) se distribuían en cuatro clases de vulnerabilidad (A, B, C y D) para cada uno de ellos.

Cada uno de estos parámetros evalúa un atributo estructural que está relacionado con la respuesta sísmica del edificio, donde los parámetros se ponderan teniendo en cuenta la importancia de cada uno, desde los menos significativos hasta los más importantes, los valores de ponderación se desarrollaron según el juicio y la opinión de los expertos. Desarrollando de esta manera el índice de vulnerabilidad ( $Iv$ ) el cual clasifica los daños que se producen en el edificio bajo la acción del evento sísmico.

La ecuación 8 nos permite estimar el índice de vulnerabilidad sísmica para cada edificio o grupo de edificios:

$$Iv = \sum_{i=1}^{i=11} \frac{K_i \cdot W_i}{382,5} \quad (8)$$

- **Enfoque macrosísmico europeo (EMS) (RISK-UE)**

En Europa, otro enfoque que se ha desarrollado para evaluar la vulnerabilidad ha sido el proyecto RISK-UE, apoyado por la Unión Europea (UE), el cual tiene como objetivo principal integrar una metodología global de evaluación del riesgo sísmico en los países europeos, introduciendo el método del índice de vulnerabilidad (VIM), el cual se basa en la clasificación tipológica de los edificios, los cuales se distribuyen en seis clases de vulnerabilidad (desde A hasta F) (desde las tipologías más vulnerables a las menos vulnerables); estos se clasifican en cuatro tipologías generales: 1) mampostería; 2) hormigón armado; 3) acero y 4) madera. Además, presenta una escala de daño en cinco grados denominados (D1, D2, D3, D4 y D5) desde los ligeramente dañados hasta el colapso total.

El método mide la vulnerabilidad de un solo edificio o de un conjunto de edificios considerando su tipología, variando de 0 (menos vulnerable) a 1 (más vulnerable). Para esto, los valores de los índices de vulnerabilidad

se presentan para cada clase de vulnerabilidad (de A - F) para un conjunto de cinco valores ( $V_1^{(-)}$ ,  $V_1^{(+)}$ ,  $V_1^{(*)}$ ,  $V_1^{(+)}$ ,  $V_1^{(++)}$ ; donde  $V_1^{(-)}$  y  $V_1^{(++)}$  corresponden al límite inferior y superior de los valores tolerables, mientras que  $V_1^{(-)}$  y  $V_1^{(+)}$  son los valores de rango de incertidumbre para  $V_1^{(*)}$ ; teniendo de esta manera distintos índices de vulnerabilidad para quince tipologías de edificaciones.

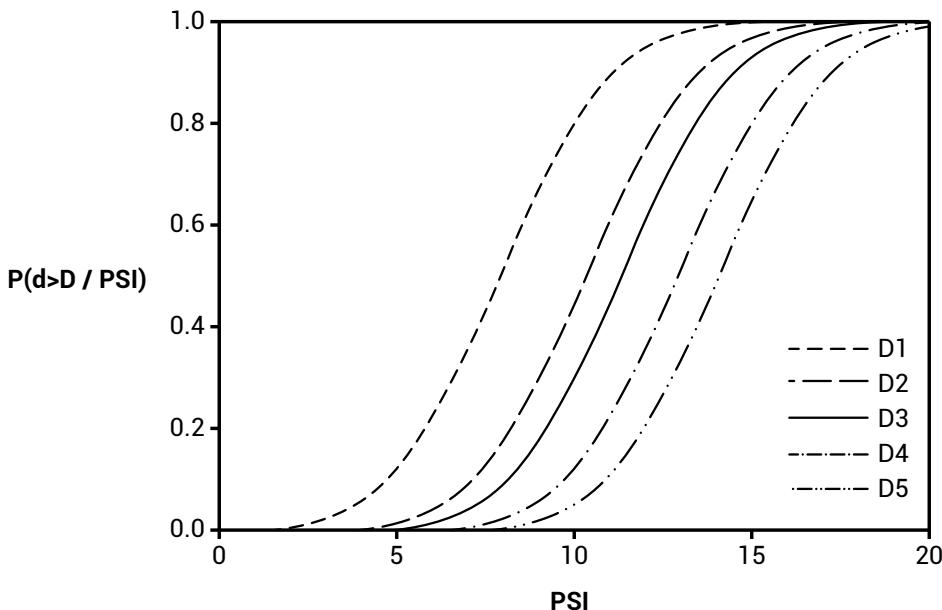
También, podemos señalar que el índice de vulnerabilidad tipológica  $V_1^{(*)}$  fue rectificado sobre la base de algunos modificadores estructurales, en especial para edificios de hormigón armado y mampostería, donde sabemos que el comportamiento estructural de una edificación depende de su sistema estructural, pero existen otros factores que influyen en el rendimiento del edificio conocido como “modificadores”, por ejemplo, irregularidades en planta o en elevación, el número de plantas, la calidad de la construcción entre otros, las puntuaciones de estos se atribuyen a juicios de expertos.

#### 5.3.4.1.3. Método de las curvas continuas de vulnerabilidad (fragilidad)

Consiste en un método del tipo empírico, concebido poco tiempo después del método MPD, que se basa principalmente en los daños observados en las edificaciones que han sufrido sismos anteriores. Al formular este método surgieron inconvenientes al tener que manejar la intensidad macrosísmica, la cual no es una variable continua, por tal motivo, este problema se fue solventando al emplear una escala de intensidad sin parámetros (PSI), para derivar funciones de vulnerabilidad en términos de aceleración pico efectiva (PGA) y sustentado en el daño observado en edificios empleando la escala MSK (figura 27).

**Figura 27**

Curvas de vulnerabilidad



Nota. (Herrera et al., 2014)

Ahora, como indica Kassem et al. (2020) en transcurso del tiempo se han desarrollado varios métodos de evaluación rápida, como, por ejemplo, el RVS (*Rapid Visual Screening*, en español: evaluación visual rápida), método de evaluación cualitativa que puede ser empleado en gran variedad de construcciones para clasificar su vulnerabilidad.

Por otro lado, las normas FEMA en EEUU han desarrollado varias directrices para evaluar el riesgo, como la FEMA 310, o el método de evaluación visual rápida FEMA P-154, siendo este método un primer paso de evaluación, antes de emplear un método de evaluación más detallado, el cual básicamente consiste en detectar y observar los parámetros de la edificación y calcular una puntuación básica de rendimiento estructural que permite determinar el grado de vulnerabilidad presente en el edificio (por ejemplo, un edificio con una puntuación final menor a 2 deberá someterse a una evaluación mucho más minuciosa).

En Canadá, el *National Research Council* (Consejo Nacional de Investigación), propuso el procedimiento de evaluación sísmica ampliamente utilizado, cuyo propósito es establecer el SPI (*Seismic Priority Index*, en español: índice de prioridad sísmica), resultante de la suma de los

índices estructurales y no estructurales, el cual considera ciertos parámetros como la ubicación de la edificación, el tipo de suelo, su edad, entre otros.

En Japón, predomina el Índice Sísmico Japonés, el cual se presenta en tres etapas de evaluación: 1) en la primera se evalúan las resistencias a la compresión de los elementos verticales, esto con el fin de cuantificar el comportamiento de la estructura durante una carga sísmica lateral; 2) en la segunda etapa se evalúa la ductilidad y resistencia de los elementos resistentes; y 3) en la tercera etapa se incluyen la resistencia y ductilidad de los elementos verticales y horizontales (pilares, muros y vigas) para evaluar su comportamiento durante un evento sísmico.

#### 5.3.4.2. Métodos de evaluación analíticos

A diferencia de los métodos de evaluación vistos anteriormente (basados en el índice de vulnerabilidad, juicios de expertos, RVS), los métodos analíticos se basan en observaciones centradas en la simulación de los movimientos del suelo. En la actualidad se presentan varios métodos analíticos que permiten evaluar con precisión el comportamiento y el rendimiento de las edificaciones durante un evento sísmico, como los: 1) análisis estáticos lineales; 2) dinámicos lineales; 3) estáticos no lineales y 4) dinámicos no lineales.

Estos predicen los efectos sísmicos sobre las construcciones mediante modelaciones mecánicas, suelen ser más exactos que los métodos empíricos, debido a que emplean leyes físicas consideradas en las modelaciones. Al emplear esta metodología se pueden realizar estudios de sensibilidad detallados y también la calibración de varias características del inventario de edificios y de la amenaza. Además, han sido utilizados para generar curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño a través de análisis computacionales (Kassem et al., 2020).

Es importante que estos métodos sean comparados con las observaciones de daños para su validación, lo cual puede ser difícil debido a las incertidumbres relativas a los movimientos del suelo y a la falta de datos o de la subjetividad en los juicios de expertos. En este sentido, cobran notoriedad los métodos híbridos, donde los métodos analíticos y empíricos se combinan, pudiendo ser ventajoso al hacer falta información o datos del daño en ciertos niveles de intensidad sísmica para la zona geográfica en consideración, o también para calibrar los modelos analíticos que se utilizan en las simulaciones.

Ahora, por medio de los métodos analíticos se pueden obtener las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño (MPD), las cuales generalmente se obtenían de datos observados después de los sismos, aunque en los últimos años se ha empleado el análisis computacional, mejorando de esta manera algunos inconvenientes que presentan estos métodos.

De esta manera, con el fin de evaluar con precisión las demandas sísmicas de las estructuras, el análisis no lineal es el método que se suele utilizar, este a su vez se puede clasificar en dos: 1) el *Non-linear Times History Analyses (NLTHA) – Incremental Dynamica Analysis (IDA)* (en español: análisis cronológico no lineal – análisis dinámico incremental) y 2) el *Non-Linear Static or Pushover Analysis (NLSA/POA)* (en español: análisis estático no lineal o análisis de empuje).

#### 5.3.4.2.1. NLSA/POA

En el campo de la ingeniería sísmica, este método se ha hecho muy popular debido a su simplicidad. Convirtiéndose en una herramienta útil para estimar la seguridad estructural contra el colapso inducido por un sismo. Este método se presentó inicialmente en FEMA 273, donde se utilizó el “Método del Coeficiente” para determinar el desplazamiento objetivo, y luego se actualizó en FEMA 356.

El análisis estático no lineal se refiere al análisis de empuje que dará como resultado una curva conocida e identificada como “Curva de Capacidad”. El objetivo final de este enfoque es obtener las propiedades dinámicas de la estructura, como la rigidez, la resistencia y la ductilidad bajo cargas sísmicas.

#### 5.3.4.2.2. NLTHA/IDA

El NLTHA es el método más exacto y preciso para evaluar el comportamiento sísmico de una estructura. Recientemente, los métodos computacionales se han desarrollado rápidamente, y el IDA, como versión mejorada y ampliada de la metodología NLTHA, se ha convertido en una potente herramienta para evaluar el comportamiento dinámico de las estructuras sometidas a movimientos sísmicos. Fue propuesto en 1977 por Bertero y después fue estudiado ampliamente por varios investigadores.

Fue aprobado por la FEMA 2000 como técnica para investigar la capacidad de colapso global. Recientemente, los análisis dinámicos incrementales han desempeñado un papel importante en el estudio del comportamiento general de las estructuras. Además, el IDA ha aportado una visión notable sobre el comportamiento de una estructura bajo acciones sísmicas. Por lo tanto, para desarrollar un análisis dinámico incremental suele ser necesario contar con un conjunto de registros de movimientos del suelo basados en NLTHA. En el que se selecciona la intensidad del movimiento del suelo para investigar el comportamiento estructural. Esto puede hacerse aplicando un incremento sucesivo de la intensidad sísmica hasta que la estructura alcance la capacidad de colapso global. El resultado del IDA puede representarse mediante el trazado del *ground motion intensity* (IM) (en español: intensidad del movimiento del suelo), frente a un *structural response parameter* (EDP) o parámetro de respuesta estructural.

Las principales ventajas de este método son: 1) la capacidad de modelar una amplia diversidad de comportamientos no lineales de los materiales, 2) la irregularidad de las estructuras con no linealidad geométrica, 3) el efecto del golpeteo y movimientos en los pisos superiores de los edificios altos. Sin embargo, este tipo de análisis presenta desventajas, tales como: 1) necesita una plataforma compleja para crear el modelo analítico, 2) consume tiempo para realizar el análisis, 3) requiere de supercomputadoras para llevar a cabo el análisis, 4) requiere información bastante específica del movimiento del suelo y 5) requiere de muchos registros de sismos, lo cual lo hace un método que requiere de un análisis computacional extenso.

Con el objetivo de profundizar lo visto en la presente unidad, les sugerimos llevar a cabo las siguientes actividades:



### Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Revisar este interesante artículo sobre el [mapa de peligrosidad sísmica de Ecuador](#).
2. Leer el siguiente artículo desarrollado por Herrera et al. (2014) sobre las metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios (EVA).

3. Revisar el siguiente artículo sobre las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica desarrollado por Kassem et al. (2020) (EVA).
4. Ahora es momento de realizar la Autoevaluación 5 con el fin de evidenciar los conocimientos adquiridos en la presente unidad.



## Autoevaluación 5

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 5, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente Autoevaluación.

1. ¿El riesgo sísmico corresponde a los efectos sociales y económicos provocados por un sismo?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. ¿La peligrosidad sísmica se refiere a la posibilidad de que no suceda un fenómeno físico como consecuencia de un sismo?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. ¿La vulnerabilidad sísmica nos permite calificar a las estructuras de acuerdo a su calidad estructural y a la cuantificación del daño o grado que se espera que sufra?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. ¿El riesgo sísmico no depende directamente de la peligrosidad, sino de la vulnerabilidad sísmica?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. En el caso de Ecuador se desarrolló un mapa de peligro sísmico para:
  - a. Un 5 % de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años).
  - b. Un 10 % de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años).
  - c. Un 10 % de excedencia para 100 años (periodo de retorno de 450 años).
  - d. Un 15 % de excedencia para 100 años (periodo de retorno de 475 años).

6. ¿La vulnerabilidad sísmica está asociada directamente con las características físicas y estructurales de diseño?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
7. La clasificación según Corsanego y Petrini se dividen en:
  - a. Directas, indirectas, convencionales.
  - b. Directas, indirectas, convencionales e híbridas.
8. La clasificación según Dolce et al. (1994), examina por separado las etapas fundamentales que integra un análisis de vulnerabilidad (datos de entrada, métodos empleados y resultado obtenido)
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. ¿Cuál de los siguientes no es un dato de entrada o input?
  - a. Características geométricas y cualitativas.
  - b. Información geológica y geotécnica.
  - c. Intensidad sísmica de la zona.
  - d. Análisis estadístico.
10. ¿Los métodos mecánicos o analíticos, definen la probabilidad condicional de que una estructura de cierto tipo sufra un nivel de daño para una intensidad sísmica?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

Finalizada la Autoevaluación 5, les invitamos a verificar sus respuestas mediante el solucionario que se encuentra al final de la presente guía.

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 6. Estructuración sísmica o sismorresistente

---

Muy bien apreciados estudiantes, avanzamos a la unidad 6 en la cual abordaremos los conceptos relacionados con la sismorresistencia palabra que la podemos definir como la capacidad con la cual se dota a una edificación para resistir sismos, además abordaremos lo que señala nuestro marco legal en relación a este interesante tema.

¡Continuemos trabajando con ánimo!

### 6.1. Introducción

La constante evolución que se da en el campo de la ingeniería es producto de la permanente actualización de las normas de diseño estructural y de construcción, el avance de la tecnología permite el desarrollo de nuevas investigaciones, las cuales nos proporcionan un mayor conocimiento sobre el comportamiento de las estructuras, lo que resulta en diseños y procesos de construcción, que garantizan edificaciones de buena calidad y alto desempeño ante eventos sísmicos (figura 28) (Rincón & Sánchez, 2020).

**Figura 28**

Ciclo que muestra el progreso en el mejoramiento de estructuras sísmicas



Nota: (Rincón & Sánchez, 2020)

Sabemos que la amenaza propia de un sismo está siempre latente, en especial en las estructuras o edificaciones donde su potencial para causar pérdidas humanas y económicas es considerable, por esta razón, todo profesional debe considerar la respuesta sísmica en su diseño y construcción. La respuesta dinámica como los daños que puedan presentar los elementos estructurales y no estructurales, no solo dependen del fenómeno sísmico como tal, sino que depende gran parte del comportamiento estructural.

Ahora, para que una estructura sea considerada como sismorresistente, esta debe presentar un funcionamiento adecuado durante su vida útil y un buen desempeño ante eventos sísmicos de gran magnitud. Donde las estructuras deben basarse en un código de la construcción, siendo sencillo suponer que las estructuras de menor edad lograrán un mejor desempeño que aquellas construidas durante los años de vigencia de códigos anteriores, por ejemplo, para el caso de Ecuador, se supone que el desempeño ante un sismo de una estructura que fue construida bajo el código de la construcción vigente antes del 2001 es menor que una construida bajo los parámetros de diseño del actual código de la construcción vigente desde el 2015.

Por otro lado, en el Ecuador y en otros países existen diversas edificaciones informales que no cumplen con las normas de diseño y construcción sismorresistente, en las cuales no ha participado un profesional ni en fase de diseño ni en fase de construcción, lo cual eleva drásticamente la vulnerabilidad sísmica de estas, y las hace mucho más propensas a sufrir daños inminentes. Por el contrario, cuando se diseña una edificación tomando en cuenta las normas sismorresistentes y se fiscaliza debidamente su ejecución, las posibles afecciones que presente ante un sismo serán mucho menores en comparación a aquellas construcciones que no consideren un diseño sismorresistente.

Entonces, nos hacemos la pregunta ¿Qué es la sismorresistencia?: decimos que una estructura o edificación es sismorresistente cuando se diseña y construye con una adecuada composición estructural, caracterizada por poseer componentes de dimensiones apropiadas y materiales con proporciones y resistencias suficientes para tolerar las fuerzas ocasionadas por los sismos. Según la RAE el término sismorresistente, se refiere a ser construido para resistir terremotos.

A pesar de que se diseñe y construya una estructura o edificación cumpliendo con lo estipulado en las normativas o manuales de construcción (Norma Ecuatoriana de Construcción para Ecuador), siempre existe la posibilidad de que se presente un sismo más fuerte de los normalmente previstos, los cuales de igual manera deben ser resistidos por la estructura sin que ocurran daños. Siendo este el motivo, por el cual no existen estructuras absolutamente sismorresistentes, por ende, la sismorresistencia es una propiedad o capacidad que se brinda a la estructura con el objetivo primordial de salvaguardar la vida de las personas que la ocupan, además de evitar la pérdida total de la propiedad.

## 6.2. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción desarrollada en 2014 (NEC, por sus siglas en español) está conformada por varios capítulos referentes a: 1) la seguridad estructural de las edificaciones; 2) las guías prácticas de diseño; 3) habitabilidad y salud y 4) servicios básicos; la parte de la norma que nos habla del peligro sísmico se divide a su vez en cuatro partes, las cuales describen el análisis estructural que debe tener una edificación mediante un diseño basado en fuerzas.

Esta norma detalla un análisis lineal, ya sea en el rango estático o dinámico, siendo su objetivo minimizar el riesgo sísmico a niveles tolerables para el contexto ecuatoriano (NEC, 2014), como se mencionó anteriormente, el riesgo sísmico está en función del: 1) peligro sísmico, detallado para todo el territorio nacional (mapa para diseño sísmico) y 2) de la vulnerabilidad de las edificaciones, la cual se reducirá con la aplicación de los criterios y métodos de diseño sismorresistente, teniendo que ser de cumplimiento a nivel nacional, por todos los profesionales, empresas e instituciones públicas y privadas.

Asimismo, esta norma establece un conjunto de requisitos mínimos para el diseño de edificaciones que están sujetas a los efectos de sismos, los cuales podrían presentarse en algún momento de su vida útil, siendo necesario indicar que, para el caso de estructuras distintas a una edificación, como, por ejemplo, estructuras hidráulicas, presas, reservorios, tanques, puentes, silos, tuberías entre otros, las cuales presentan un comportamiento dinámico distinto al de una estructura de edificación, se deben considerar acciones adicionales que complementen lo señalado en esta norma.

En relación con las bases del diseño, la norma nos recuerda que la respuesta de una edificación ante el movimiento del suelo derivado de un evento sísmico, se caracteriza por aceleraciones, velocidades y desplazamientos de sus elementos estructurales, y en particular de los pisos para el caso de edificios.

La norma aplica una filosofía de diseño basada en desempeño, que permite comprobar el nivel de seguridad de vida, ya que el diseño estructural se lo realiza para el sismo de diseño, como un evento sísmico que tiene una probabilidad del 10 % de ser excedido en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años.

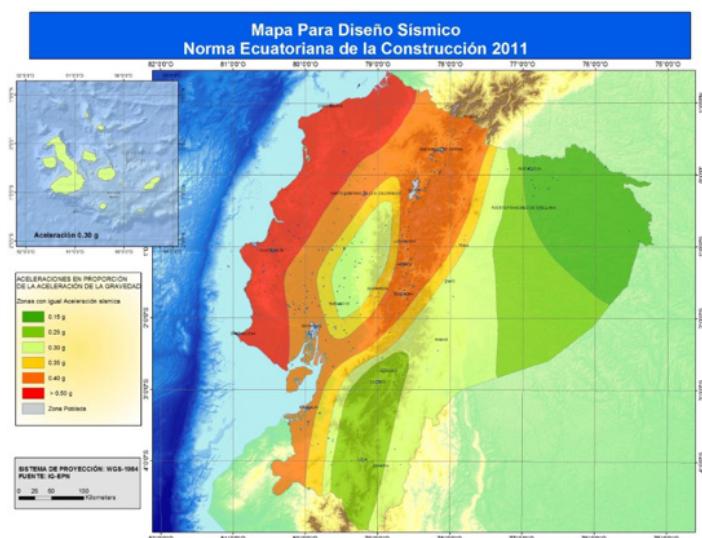
La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014), muestra un mapa para diseño sísmico, para estructuras de uso normal, donde el factor de zona Z representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. La aceleración de un cuerpo mide los cambios de velocidad en el tiempo. Durante un sismo, el suelo se mueve de manera variable debido al efecto de las ondas sísmicas las cuales llegan en diferentes velocidades, por tal motivo, el tamaño de un sismo también se puede expresar en términos de la aceleración del suelo.

El Ecuador se divide en seis zonas sísmicas, las cuales se caracterizan por tener un valor de Z como se puede apreciar en la figura 29 y la tabla 11. Donde la mayoría del territorio continental ecuatoriano presenta una amenaza sísmica alta, exceptuando:

- La parte nororiental del país, que presenta una amenaza sísmica intermedia (de 0,15 a 0,30 g), y
- El litoral ecuatoriano que posee una amenaza sísmica muy alta (> 0,40 g)

**Figura 29**

*Mapa para diseño sísmico*



Nota: (NEC, 2014)

**Tabla 11**

*Valores del factor Z en función de la zona sísmica*

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor z	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	>= 0,50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota: (NEC, 2014)

El sismo de diseño se establece a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio donde se emplaza la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden

modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño (proporcionados en la norma) y para caracterizar el evento, se pueden emplear acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio.

Es importante destacar los principios que rigen la filosofía del diseño sismorresistente, en especial los referentes a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014) que son: 1) prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante sismos pequeños y frecuentes, que se puedan dar en la vida útil de la estructura; 2) prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales ante terremotos moderados y poco frecuentes y 3) evitar el colapso ante sismos severos que se puedan esporádicamente durante la vida útil de la estructura, en especial buscando salvaguardar la vida de las personas que los ocupan.

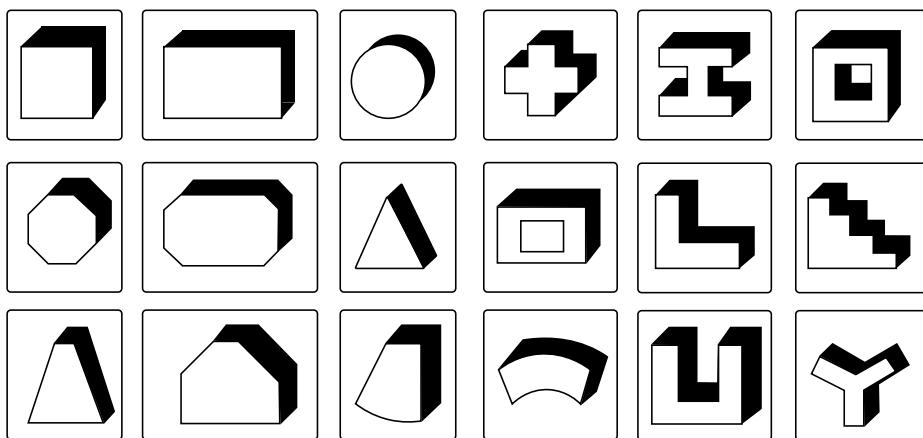
Como señala la guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción desarrollada por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI, por sus siglas en español) (2016), buena parte de los daños que sufre una edificación ante un sismo puede deberse a fallas de uno o más elementos estructurales lo cuales no poseen una adecuada resistencia o ductilidad o a irregularidades en su configuración estructural en planta o elevación, las cuales derivan en problemas que se detallan a continuación:

### 6.3. Configuración estructural

Es recomendable que la estructura tenga una geometría sencilla, regular o simétrica en planta y en elevación, ya que las formas complejas, irregulares o asimétricas originan un inadecuado comportamiento ante los sismos. Las geometrías irregulares propician que la estructura sufra torsión o que gire en forma desordenada, generalmente cuando existe una falta de uniformidad, en algunas esquinas se despliegan intensas concentraciones de fuerza, las cuales pueden ser difíciles de resistir (figura 30 y 31).

**Figura 30**

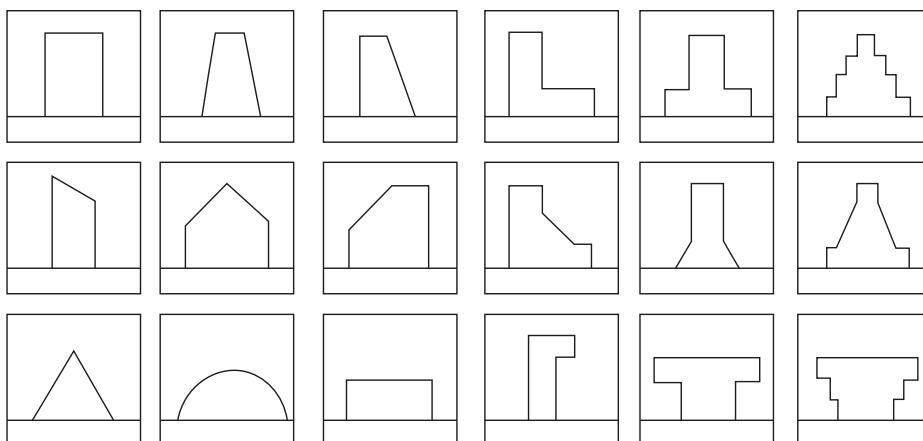
*Configuraciones estructurales en planta*



Nota: (MIDUVI, 2016)

**Figura 31**

*Configuraciones estructurales en elevaciones*



Nota: (MIDUVI, 2016)

La configuración de una estructura se la debe considerar desde la primera etapa del diseño arquitectónico, debiendo evitar las configuraciones estructurales peligrosas, independiente del tipo, uso, o nivel de sofisticación que se desee. La configuración estructural es vital, y tiene que obligatoriamente ser comprendida de la mejor manera por los profesionales involucrados en la actividad de la construcción.

## Conflictos de la configuración estructural en planta

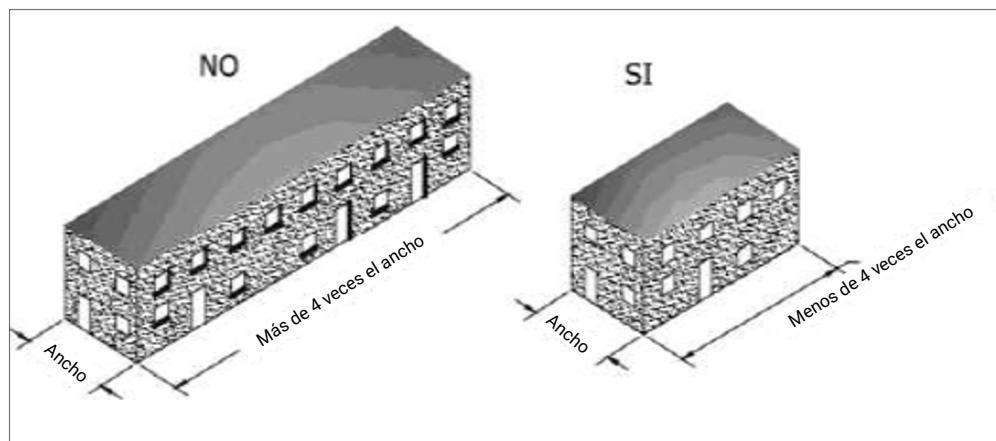
Según la NEC (2014) las estructuras deben ser los más regulares y simétricas posibles en planta, se deben priorizar las formas cuadrangulares o rectangulares. En relación, a los problemas que representan las estructuras o edificaciones con irregularidad estructural en su plano horizontal, podemos mencionar los siguientes:

### 6.3.1. Longitud de la edificación

La longitud excesiva de una planta afecta de manera directa en su comportamiento estructural frente a las ondas sísmicas. Teniendo claro que, a mayor longitud, mayor daño (no todos los puntos de la construcción tendrán la misma acción sísmica, el mismo comportamiento dinámico y además tendrán diferentes demandas de resistencia y ductilidad). Por tal motivo, la NEC recomienda que la relación en largo/ancho de una estructura o edificación no sea mayor a 4 y que ninguna de estas dimensiones exceda los 30 m (figura 32).

**Figura 32**

*Relación largo / ancho en construcciones*



Nota: (MIDUVI, 2016)

Una solución para evitar el problema de la longitud excesiva en planta, son las conocidas juntas de construcción o sísmicas (distancia entre muros de estructuras o edificaciones colindantes) que separan la edificación en dos o más bloques, los cuales tendrán un mejor comportamiento estructural. Las juntas sísmicas se deben realizar en los siguientes casos: 1) cuando la longitud en planta excede la relación largo/ancho en 4; y 2) cuando existan

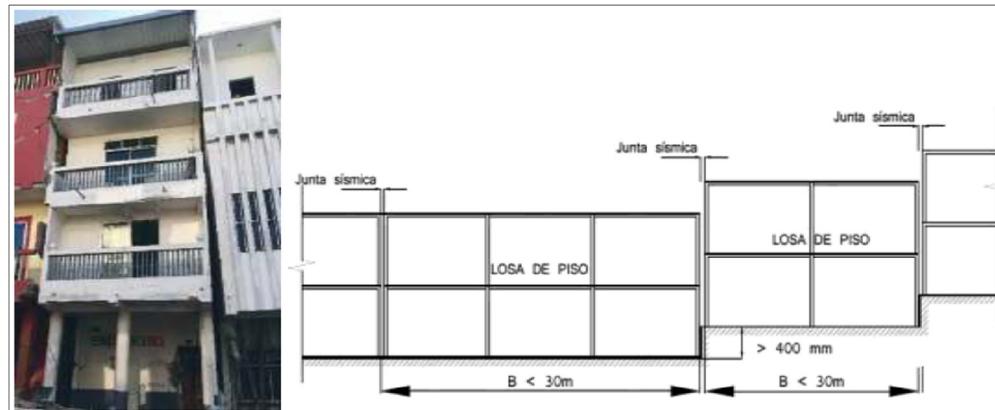
terrenos con pendientes superiores a los 30 %, donde la junta se debe colocar separando cada edificación sin que hayan muros medianeros entre dos edificaciones (MIDUVI, 2016).

Las separaciones de las juntas deberán evitar el posible golpeteo (situación que ocurre cuando dos estructuras que están muy cercanas son sometidas a un sismo fuerte y se impacta unas con otras), debiendo tener un espesor mínimo de 2,50 cm. Las edificaciones separadas por juntas podrán compartir la misma cimentación, pero a nivel de cadenas (sobre-cimiento) se deberán separar para que estas actúen individualmente.

- De igual manera se deberán ubicar las juntas sísmicas o de construcción en los siguientes casos:
- Cuando el terreno presente un desnivel superior a los 400 mm (figura 33).
- Cuando existan cambios significativos en la calidad del suelo (figura 34), y
- en diferencia de niveles entre edificaciones contiguas (figura 35).

**Figura 33**

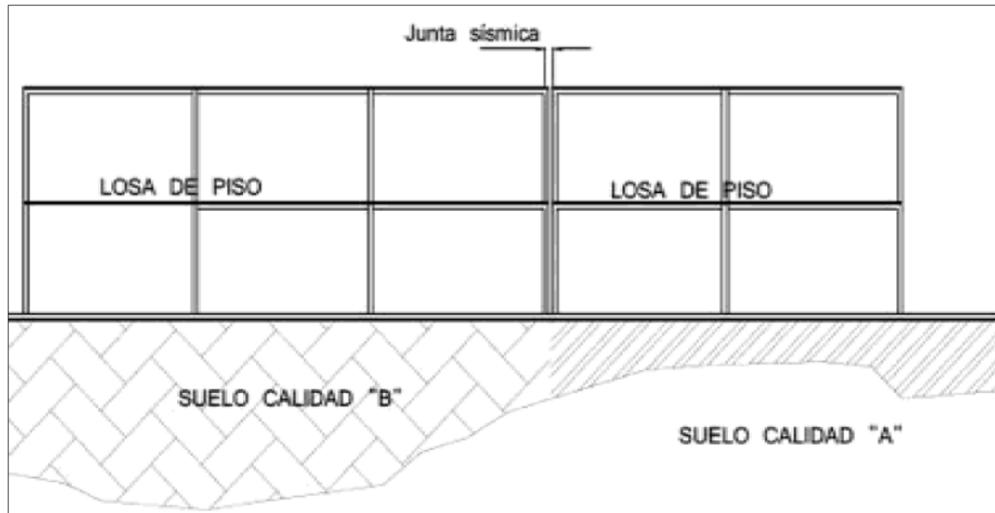
*Colocación de juntas de construcción para desniveles superiores a 400 mm*



Nota. (MIDUVI, 2016)

**Figura 34**

*Colocación de juntas de construcción al presentarse cambios en la calidad del suelo*



Nota. (MIDUVI, 2016)

**Figura 35**

*Colocación de juntas de construcción entre edificaciones con diferencia de niveles*



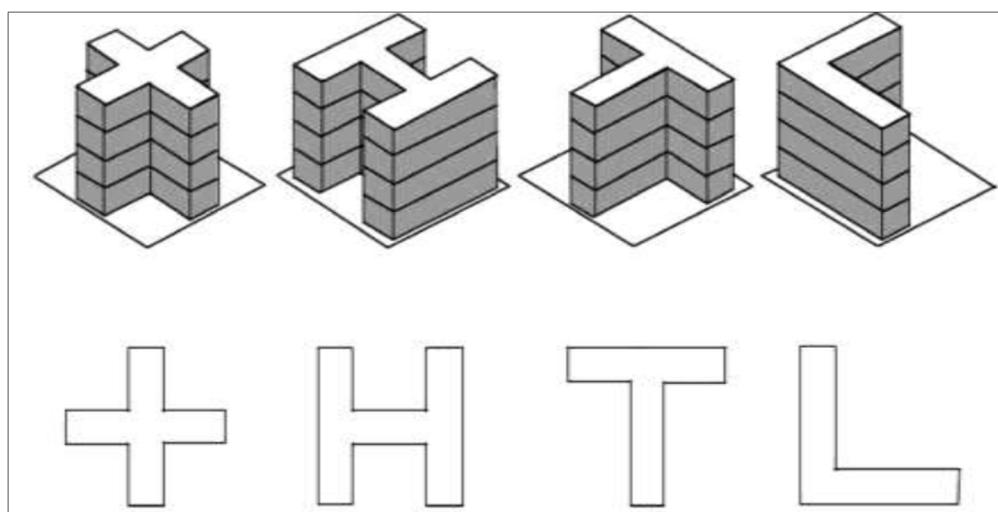
Nota. (MIDUVI, 2016)

### 6.3.2. Geometría y disposición de elementos estructurales en planta

El comportamiento estructural de una edificación está en función de la geometría de la planta, debido a que en ciertos lugares se pueden concentrar más esfuerzos que en otros. Cuando se diseñan plantas complejas o irregulares (por ejemplo, en forma de cruz, L, T, H, O, U, entre otras) (figura 36), existen sitios en la estructura con ángulos de quiebre que hace que se concentren la mayor cantidad de esfuerzos. Este inconveniente se puede resolver colocando juntas sísmicas o de construcción en los puntos de mayor esfuerzo.

**Figura 36**

Geometrías irregulares en planta



Nota. (MIDUVI, 2016)

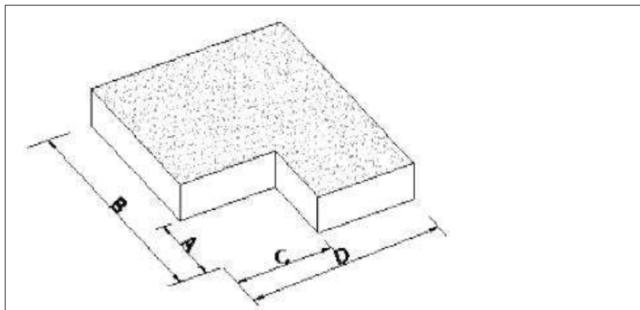
Aunque como se mencionó anteriormente, la construcción de estructuras complejas no es recomendable, pero en el caso de que se requieran construir se las pueden realizar al crear diferentes juntas de construcción, en donde se presentan los ángulos de quiebre.

### 6.3.3. Discontinuidades en planta o en el sistema de piso

Los retrocesos en las esquinas de una estructura se consideran excesivos cuando la protección de la estructura, en ambos lados del entrante, son mayores que el 15 % de la dimensión de la planta (figura 37).

### **Figura 37**

*Retrocesos mayores al 15 % en esquinas*

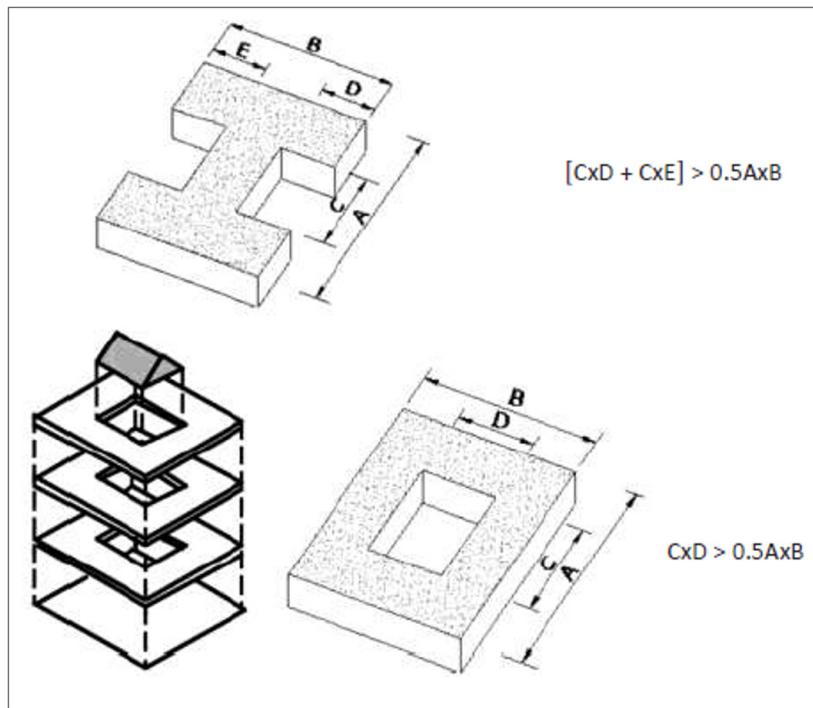


Nota. (MIDUVI, 2016)

La planta de la edificación se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez (capacidad de resistencia de un material a doblarse o torcerse por acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie), como aberturas, entrantes o huecos con áreas mayores al 50 % del área total de la planta o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50 % entre niveles consecutivos (figura 38) (MIDUVI, 2016).

**Figura 38**

Aberturas, entrantes o huecos mayores al 50 % del área total de planta



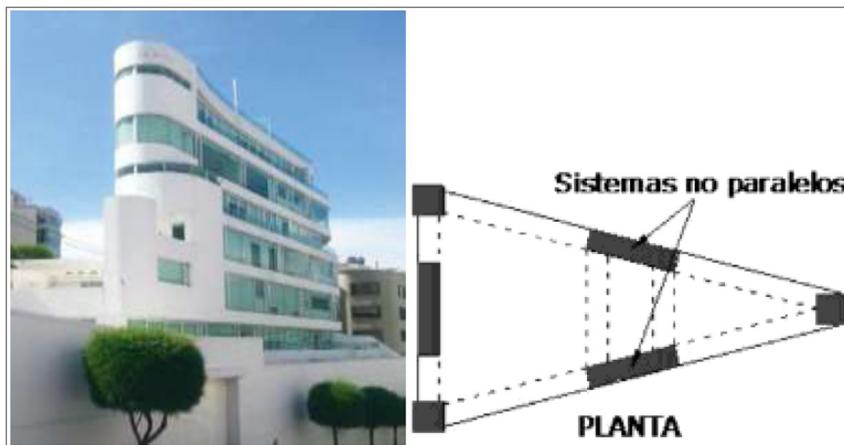
Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.3.4. Ejes estructurales no paralelos

La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales de la estructura (figura 39).

**Figura 39**

Ejes estructurales no paralelos



Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.3.5. Torsión

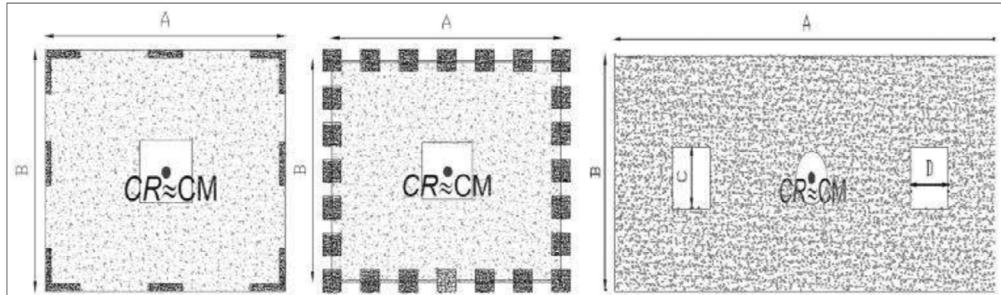
La torsión en una estructura se refiere a la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez. Cuando estos coinciden, se puede decir que existe simetría estructural, teniendo un edificio más simétrico con una menor tendencia a sufrir concentraciones de esfuerzo y torsión (figura 40).

Para disminuir el efecto de los sismos sobre las estructuras es importante que la misma tenga una simetría estructural, la cual integra la geometría de la forma exterior, las distribuciones internas de los elementos resistentes y los componentes no estructurales. En edificios donde se presentan muros, elevadores o algún otro elemento constructivo en cierto lado, el centro de rigidez se desplazará en esa dirección, lo que puede provocar deformaciones no previstas en el cálculo estructural, teniendo una edificación con ausencia simetría estructural (Figura 41) (Blanco, 2012).

Según la NEC (2014) se considera que una excentricidad entre el centro de rigidez y el centro de masa es alta cuando sobrepasa el 10 % de la dimensión en planta analizada. Además, existe irregularidad por torsión cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada, incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia (Figura 42).

**Figura 40**

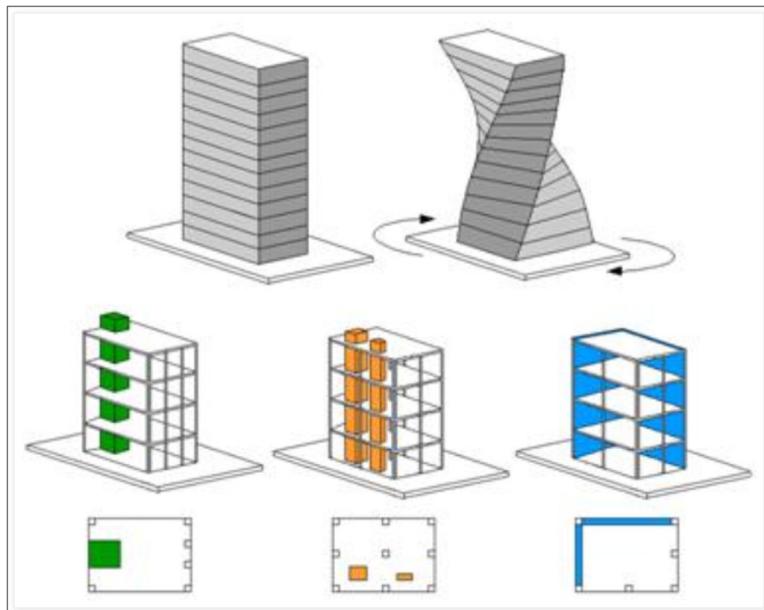
Simetría estructural, ya que el centro de rigidez es semejante al centro de masa



Nota. (MIDUVI, 2016)

**Figura 41**

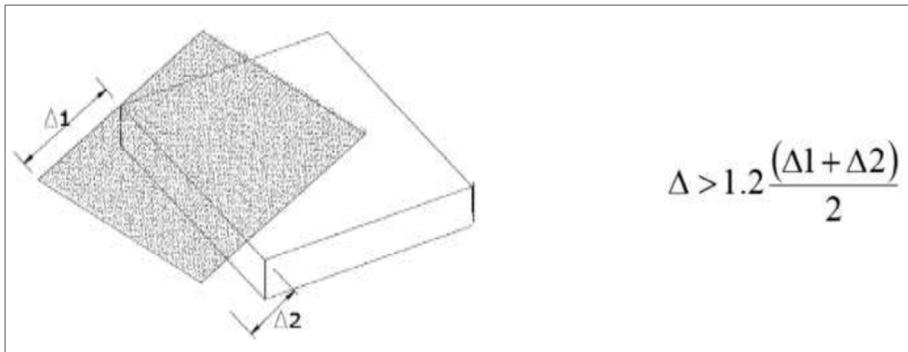
Efecto de torsión debido a la ausencia de simetría estructural, ya que el centro de rigidez no coincide con el centro de masa



Nota. (MIDUVI, 2016)

**Figura 42**

*Irregularidad torsional*

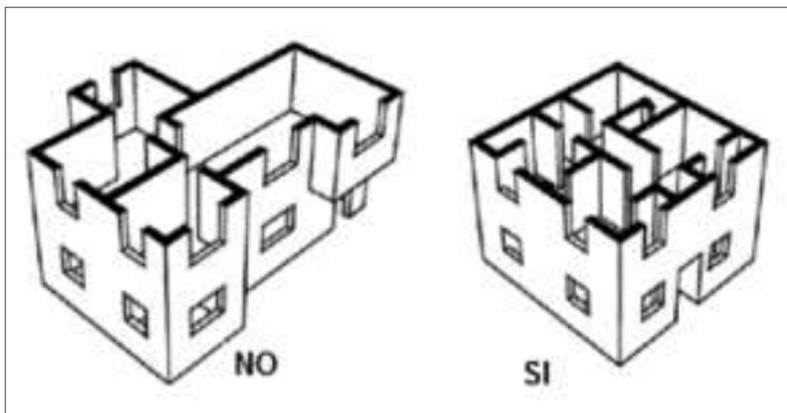


Nota. (MIDUVI, 2016)

Según la NEC (2014) las edificaciones que basen su diseño en muros portantes, deben tener indispensablemente en planta muros en dos direcciones ortogonales o aproximadamente ortogonales, y la longitud de los muros en las dos direcciones, debe ser lo más pareja posible (figura 43).

**Figura 43**

*Distribución adecuada de muros portantes*



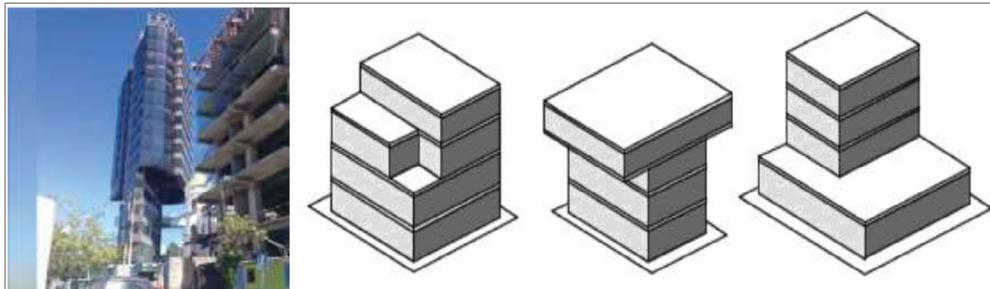
Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4. Problemas de configuración estructural en elevación

Los problemas de configuración estructural se refieren a las irregularidades verticales que se pueden presentar en las edificaciones, los cuales tienden

a ocasionar grandes concentraciones de esfuerzos (figura 44). Las mismas que se especifican a continuación:

**Figura 44**  
*Formas irregulares en elevación*

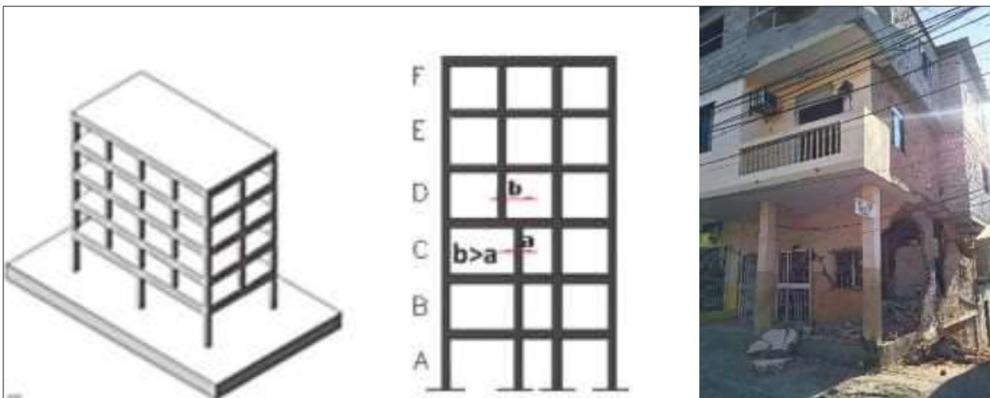


Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4.1. Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas

Según la NEC (2014) una edificación presenta irregularidad vertical cuando se presentan desplazamientos en el alineamiento de elementos estructurales verticales dentro del mismo plano en el cual se encuentren (figura 45).

**Figura 45**  
*Ejes verticales discontinuos*



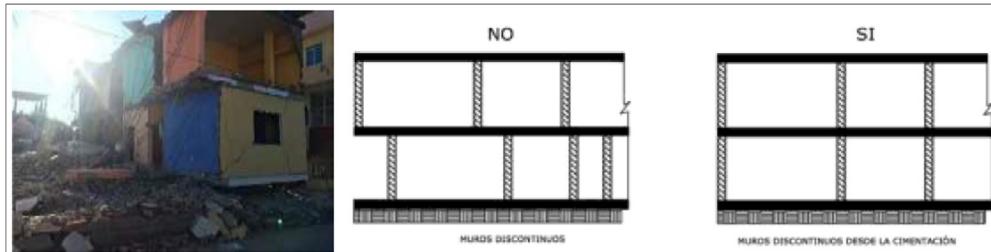
Nota. (MIDUVI, 2016)

En viviendas, pórticos y/o paredes portantes deberán ser continuos hasta la cubierta. Las columnas y/o muros pertenecientes al segundo piso que

no tengan continuidad hasta la cimentación no se considerarán como elementos estructurales resistentes a las fuerzas horizontales (figura 46).

**Figura 46**

*Continuidad de elementos estructurales*



Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4.2. Piso débil y discontinuidad en la resistencia

Un piso débil es aquel que dentro de una estructura tiene una reducción significativa en su rigidez y/o resistencia lateral con respecto a los pisos superiores. Estos son más vulnerables a los daños debido a la mayor concentración de esfuerzos. Es necesario recalcar que existen pisos débiles en planta baja y en pisos intermedios (figura 47).

**Figura 47**

*Piso débil*

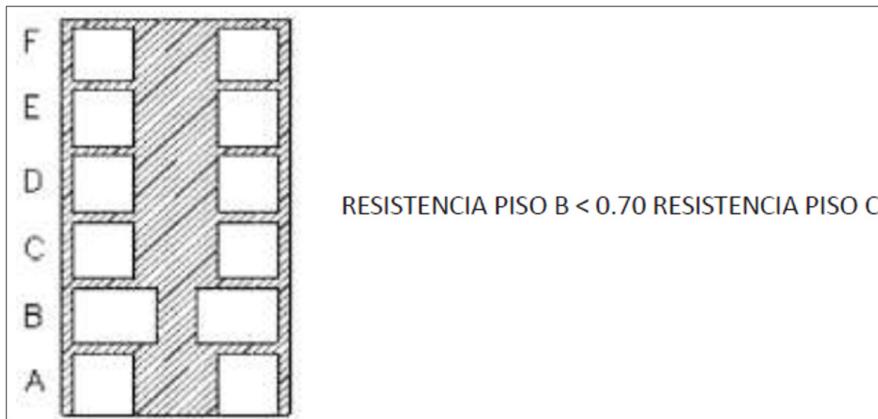


Nota. (MIDUVI, 2016)

Además, la norma de construcción ecuatoriana especifica que la estructura es irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70 % de la resistencia del piso inmediatamente superior. La resistencia de un piso es la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada (figura 48).

**Figura 48**

*Discontinuidad en la resistencia*



Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4.3. Inconvenientes en columnas y vigas

##### 6.4.3.1. Columnas

Las columnas son muy influyentes en una edificación, ya que son las encargadas de transmitir todas las cargas hacia la cimentación. Cualquier daño que se presente en estas puede producir el colapso de la estructura, por ende, es indispensable que en los diseños se eviten los fallos de columnas y de conexiones viga-columna, precautelando que las rótulas plásticas (dispositivo de amortiguación de energía) se formen en las vigas y no en las columnas ni en nudos o conexiones. Se pueden presentar dos tipos de fallas de columnas, las cuales se indican a continuación:

- **Columnas de menor resistencia que las vigas:** las rótulas plásticas se forman en columnas.
- **Columnas cortas o esbeltas:** las columnas cortas causan severos daños a edificaciones frente a un sismo ya que su falla es frágil, estas columnas se presentan generalmente debido a:

La edificación puede estar ubicada en terrenos con inclinaciones (figura 49)

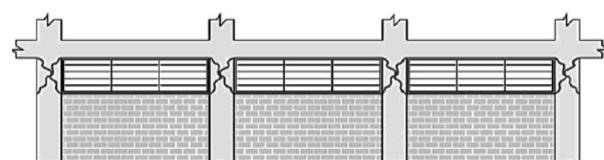
**Figura 49**  
*Columnas cortas o esbeltas: terrenos con inclinaciones*



Nota. (MIDUVI, 2016)

Las columnas de la estructura pueden tener confinamiento lateral parcial en su altura, provocado por paredes divisorias o muros de contención (figura 50).

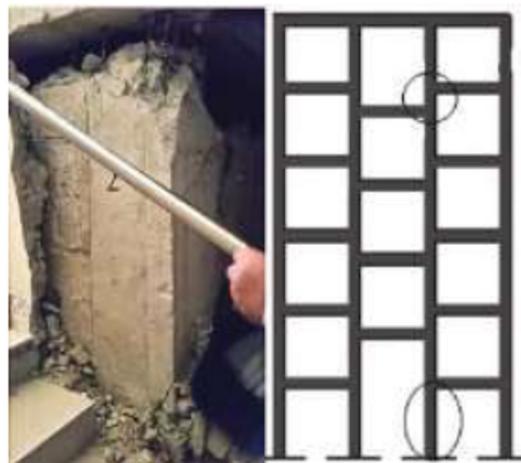
**Figura 50**  
*Columnas cortas: confinamiento lateral de paredes*



Nota. (MIDUVI, 2016)

Las losas pueden estar ubicadas en niveles intermedios (Figura 51)

**Figura 51**  
*Columnas cortas o esbeltas: losas en niveles intermedios*



Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4.3.2. Vigas

De igual manera que con las columnas, las edificaciones con vigas cortas presentan concentración de esfuerzos. Las estructuras con ausencia de vigas (formados únicamente con columnas y losas) ante cargas sísmicas del tipo cílico crean un efecto de punzonamiento de las columnas hacia la losa, lo cual la afecta gravemente. Este sistema tendrá muy poca resistencia frente a un evento sísmico, por la excesiva demanda de ductilidad y resistencia que las conexiones losa-columna no pueden proveer (figura 52).

**Figura 52**

*Losas planas con vigas blandas y fallos por punzonamiento*



Nota. (MIDUVI, 2016)

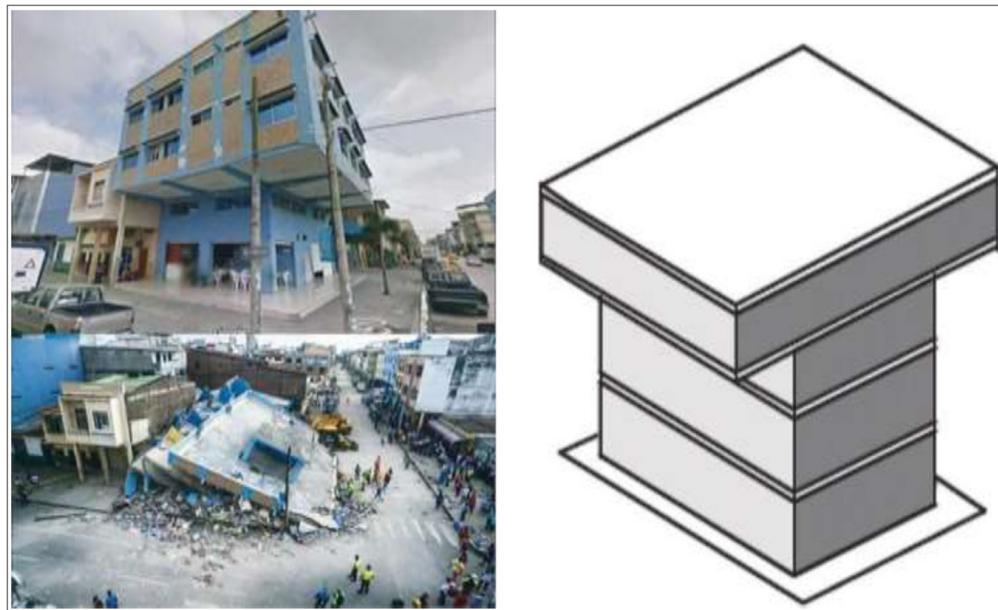
#### 6.4.4. Distribución y concentración de masas

Se presenta cuando existen irregularidades verticales en las concentraciones de masa en uno o varios niveles de la estructura, se puede dar al ubicar tanques, bodegas, piscinas, estacionamientos u cualquier otro elemento pesado en algún piso de la estructura (que no sea en planta baja) y por la excesiva diferencia de masa entre pisos (figura 53).

Es necesario recalcar, que el problema de la distribución y concentración de masas se agrava a mayor altura, debido a que las aceleraciones de respuesta sísmicas aumentan también hacia arriba, aumentando el riesgo de un posible volcamiento de la estructura.

**Figura 53**

*Concentraciones de masa*

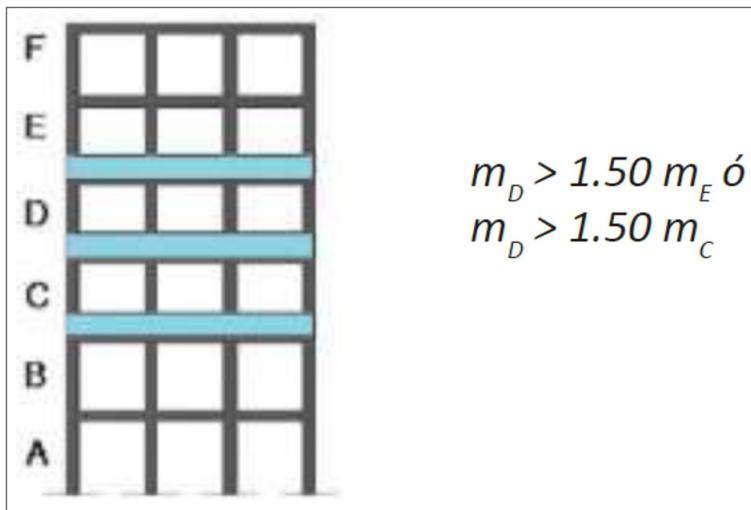


Nota. (MIDUVI, 2016)

La NEC (2014) nos indica que la edificación se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos próximos, pero con la excepción del piso de cubierta, ya que este puede ser más liviano que el piso inferior (figura 54).

**Figura 54**

Distribución de masa



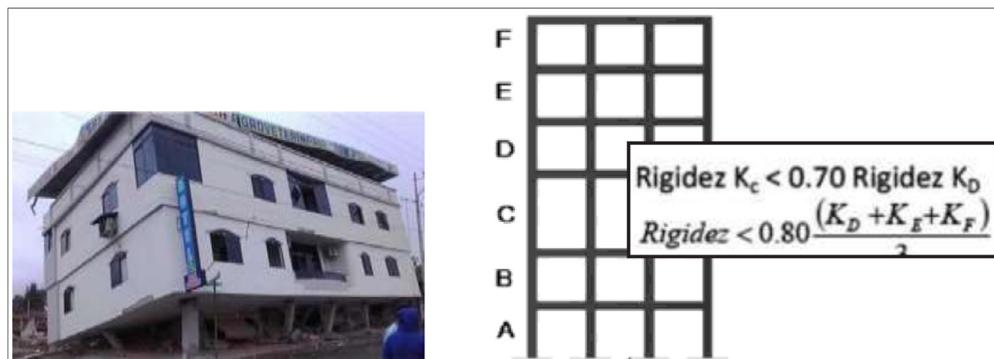
Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4.5. Rigidez variable entre pisos (piso flexible)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014) menciona que una edificación es irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70 % de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores (figura 55).

**Figura 55**

Piso flexible



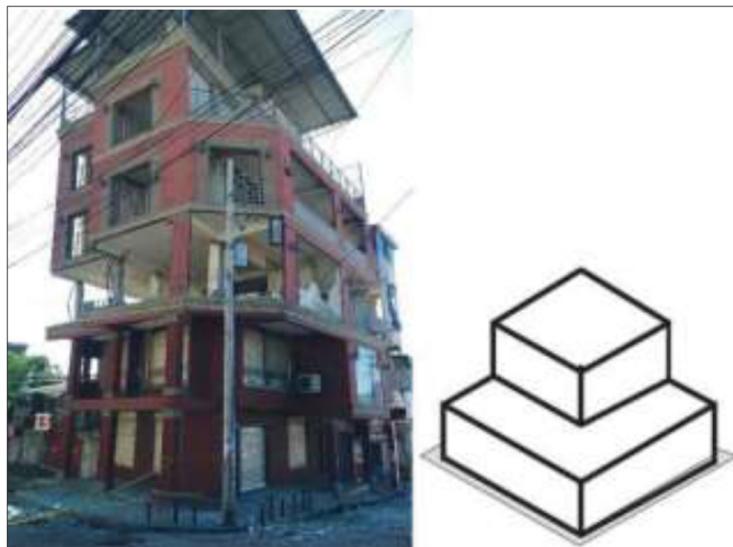
Nota. (MIDUVI, 2016)

#### 6.4.6. Irregularidad geométrica

En el Ecuador son comunes las geometrías con escalonamientos, las cuales tienen la capacidad de desencadenar cambios bruscos de rigidez y de masa, lo cual crea concentraciones de esfuerzos que tienen el potencial de generar daños severos en la estructura (figura 56).

**Figura 56**

*Irregularidad geométrica por escalonamientos*

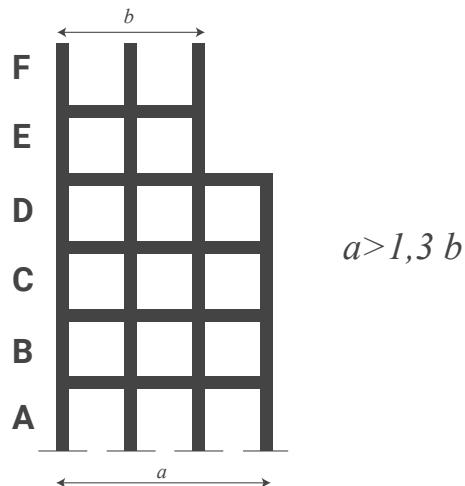


Nota. (MIDUVI, 2016)

Según la normativa, una estructura o edificación es irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente (figura 57).

**Figura 57**

Irregularidad geométrica



Nota. (MIDUVI, 2016)



A continuación, como texto complementario de lectura y aprendizaje, los invito a revisar la sección 1 referente a la estructuración sísmica de la [guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras](#).

Estimado estudiante con el fin de profundizar su aprendizaje, lo invito a realizar las siguientes actividades recomendadas:



### Actividades de aprendizaje recomendadas

1. Revisar la [Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción](#) (MIDUVI, 2016), que en su apartado 1.5. nos menciona sobre otros problemas que pueden ser causados por la irregularidad en estructuras y realizar un cuadro sinóptico.
2. Con el fin de ampliar su conocimiento en relación con los avances tecnológicos e investigaciones en el área de la ingeniería sísmica y estructural, observar el siguiente video: "[Investigadores utilizan un edificio de concreto de 10 pisos para un experimento sísmico](#)".

3. De esta manera hemos llegado al final de esta interesante unidad, es momento de realizar la siguiente autoevaluación con el objetivo de medir los conocimientos adquiridos.



## Autoevaluación 6

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 6, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente actividad

1. ¿Las nuevas investigaciones en el campo de la ingeniería permiten la actualización de las normas de diseño estructural y de construcción?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. ¿Para que una estructura sea considerada como sismorresistente, esta no debe presentar un funcionamiento adecuado durante su vida útil, ni tampoco un buen desempeño ante eventos sísmicos de gran magnitud?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. ¿Aunque una estructura se diseñe y construya cumpliendo con la norma de la construcción (Norma Ecuatoriana de Construcción) existe la posibilidad de que se presente un sismo más fuerte de los normalmente previstos?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. ¿El primer principio que rige la filosofía del diseño sismorresistente de la Norma Ecuatoriana de la Construcción se refiere a prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante sismos pequeños y frecuentes?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. En lo relacionado a la configuración estructural es recomendable que una estructura tenga geometría compleja, irregular o asimétrica
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. Sabemos que la longitud excesiva de una planta afecta de manera directa en su comportamiento estructural frente a las ondas sísmicas, en este sentido, según la guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras (MIDUVI, 2016) se recomienda que la relación, largo/ancho:
- No sea mayor a 3 y que ninguna exceda los 30 m.
  - No sea mayor a 4 y que ninguna exceda los 30 m.
  - No sea mayor a 4 y que ninguna exceda los 20 m.
  - No sea mayor a 5 y que ninguna exceda los 50 m.
7. Los retrocesos en las esquinas de una estructura se consideran excesivos cuando la protección de la estructura, en ambos lados de la entrante, son mayores que el:
- 5 %
  - 10 %
  - 15 %
  - 20 %
8. Una estructura es irregular cuando la resistencia del piso es menor que el \_\_\_\_\_ de la resistencia del piso inmediatamente superior
- 50 %
  - 60 %
  - 70 %
  - 80 %
9. Las columnas son muy influyentes en una edificación, ya que son las encargadas de transmitir todas las cargas hacia la cimentación
- Verdadero.
  - Falso.

10. ¿El problema de la distribución y concentración de masas se agrava a mayor altura?
- a. Verdadero.
  - b. Falso.

Finalizada la Autoevaluación 6, le recomendamos comprobar sus respuestas empleando el solucionario que se encuentra al final de la guía.

[Ir al solucionario](#)



## **Unidad 7. Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras (pre-evento y post-evento)**

Estimado estudiante muchas felicidades por llegar a esta última unidad. Complementando lo visto en las unidades anteriores y buscando cumplir con el objetivo de esta asignatura, en la presente unidad abordaremos los métodos de inspección y evaluación sísmica de estructuras para un pre y post evento sísmico. Al finalizar usted apreciado estudiante estará perfectamente capacitado para realizar este tipo de evaluaciones en la práctica profesional.

### **7.1. Introducción**

Las pérdidas humanas y económicas ocasionadas por las catástrofes naturales han aumentado de forma espectacular en las dos últimas décadas. Esto, a su vez, ha ocasionado un aumento del conocimiento sobre el comportamiento y el desempeño de las edificaciones e infraestructuras, debido a su susceptibilidad y falta de rendimiento ante un evento sísmico. Por tal motivo, la vulnerabilidad sísmica se ha convertido en una preocupación importante, donde a través del tiempo se han desarrollado distintas metodologías útiles para evaluarla, como es el caso del método FEMA P-154 (2015), el cual abordaremos a continuación.

### **7.2. Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras (pre-evento)**

Para realizar la evaluación de una estructura ante un sismo, se deben considerar ciertos parámetros como: 1) el sistema estructural y su capacidad sísmica, 2) las condiciones del terreno; 3) la regularidad en planta y elevación; y 4) la limitación presente en la recogida de datos. Estos parámetros nos proporcionan una estimación realista del comportamiento estructural.

Al presente, para el caso de Ecuador para realizar una evaluación visual rápida de la vulnerabilidad de las edificaciones ante la peligrosidad de un

evento sísmico, la guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2016), se basa en el procedimiento FEMA P-154 (2015), el cual es un método cualitativo enfocado a que los profesionales de la construcción y de gestión de riesgos y desastres evalúen las construcciones existentes, y las puedan clasificar en tres categorías: 1) estructuras con baja vulnerabilidad en cuanto a daños y seguridad de los ocupantes frente a un sismo, 2) las que presentan una vulnerabilidad media (parámetros aceptables) y 3) las que tienen una vulnerabilidad alta, que requieren de un estudio más detallado, el cual debe ser realizado por un profesional en diseño estructural.

Esta es una evaluación rápida, donde el profesional parte de realizar una visita in-situ a la edificación, la cual toma de 15 a 30 min para evaluarla externamente y de 30 a 60 min si se logra ingresar a la misma, la información levantada se recopila en un formulario establecido basándose en lo observado, así de esta manera podemos identificar las edificaciones más vulnerables frente a un evento sísmico, además de, implementar programas de mitigación de riesgos para una región específica, realizar inventarios de edificaciones según su uso, entre otros.

Este método de evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones se centra en tres actividades: 1) planificación, 2) recopilación de datos, y 3) la interpretación de los mismos, los cuales se detallan a continuación:

#### **7.2.1. Planificación**

Al decidir implementar el proceso de evaluación FEMA P-154 (2015), se debe poner en conocimiento de las autoridades, profesionales y dueños de edificaciones a cerca del propósito del proceso y cómo se lo realizará, dentro de la planificación se incluyen ciertos factores como:

- Contar con un presupuesto, en el cual se contemple una posible extensión del proyecto, posterior utilización de los resultados obtenidos, además de considerar el costo de capacitaciones al personal que va a realizar la evaluación.

- Ejecutar un reconocimiento del sitio donde se va a implementar la evaluación, incluyendo la compilación de información relevante como el tipo de construcción, mapas de riesgos sísmico, mapas de deslizamientos de tierras, mapas de fallas, tipo de suelo, etc. Se priorizarán los sitios que presenten estructuras de más antigüedad (mayor vulnerabilidad ante una amenaza sísmica).

En este sentido, es relevante el trabajo conjunto entre distintos profesionales (formación de equipos multidisciplinares) donde se aporte desde cada especialidad o campo del conocimiento (arquitectos, ingenieros civiles, especialistas en riesgos y desastres, etc.) sobre, por ejemplo, el tipo, diseño o edad de las edificaciones, etc. Además de obtener información complementaria desde los municipios (planos, catastros), información georreferenciada (SIG), estudios técnicos, registros históricos, artículos científicos, etc.

También es importante mencionar cómo se identificarán las edificaciones, el método FEMA P-154 (2015) sugiere identificarlas por su dirección (calle principal y secundaria) y mucho mejor con su numeración si la tuviese.

- El formato o formulario para realizar la evaluación debe registrar: la identificación del edificio, boceto de planta y altura de la edificación, fotografías, tipología del sistema estructural, tipo de suelo, entre otros. El mismo debe ser plenamente conocido por la persona que realizará la evaluación.
- El personal encargado de realizar la evaluación tendrá que estar capacitado, se deberán impartir cursos o charlas sobre: el método FEMA P-154 (2015), tipos de sistemas estructurales presentes en el país, tipos de suelos, comportamiento de estructuras frente a sismos, inducción al formulario, datos relevantes a levantar en las visitas, entre otros.
- En medida de lo posible se debe contar con un plano arquitectónico y/o estructural de las edificaciones a evaluar, el mismo facilitará la inspección y el levantamiento de información.

- Al realizar la visita in situ se debe: 1) comprobar si la información contenida en los planos corresponde a la edificación (si fuese posible conseguirlos), 2) se debe caminar rodeando la estructura, recopilando información para realizar un boceto de planta y elevación (si fuese posible); 3) determinar el tipo de ocupación y edad de la estructura, área construida, edad de remodelación y el tipo de suelo (si no se ha determinado en los puntos previos de la planificación).
- Caracterizar el sistema estructural, ingresando a la edificación (subsuelos en caso de un edificio).
- Durante el recorrido se debe llenar el formulario, al verificar que todos o la mayoría de datos estén completos se debe proceder a tomar una fotografía del exterior (acceso principal) de la edificación y se prosigue con la siguiente, la evaluación de la estructura es recomendable realizarla después en gabinete.

### 7.2.2. Recopilación de datos

El Consejo Técnico de Uso y Gestión del Suelo del Ecuador (CTUGS, por sus siglas en español) (2020) desarrolló un formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones basado en el FEMA P-154 (2015). El formulario a utilizar dependerá de la categorización sísmica de la zona donde se realizará la evaluación, teniendo formularios para zonas de: 1) muy alta sismicidad; 2) alta sismicidad; 3) moderadamente alta sismicidad; 4) moderada sismicidad y 5) baja sismicidad.

Por otro lado, este documento en formato Excel que cuenta con dos niveles para la recopilación de datos, donde el primero o Nivel 1 corresponde al formulario básico para realizar una detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones, el cual no requiere de conocimientos técnicos específicos, y puede ser completado por personal que cuente con capacitación sobre el método FEMA P-154 (2015), además de conocimientos sobre sistemas estructurales presentes en el país, tipos de suelos, comportamiento de estructuras frente a sismos, inducción al formulario, datos relevantes a levantar en las visitas, entre otros.

Asimismo, el segundo formulario o nivel 2, es opcional, y requiere de un conocimiento más técnico y específico para ser completado, siendo necesario que sea realizado por un profesional de la ingeniería civil o

estructural, arquitecto o estudiante de posgrado con experiencia en evaluación sísmica o diseño de edificios.

De esta manera, el formulario elegido se completa al momento de realizar la visita in situ a la edificación, este se ha diseñado para ser llenando de manera progresiva y con un mínimo de escritura, usando un formulario para cada estructura, el cual contiene el siguiente tipo de información:

- Datos de la edificación.
- Información del profesional que realiza la evaluación.
- Esquema estructural en planta y elevación de la edificación.
- Fotografía del edificio.
- Tipología del sistema estructural.
- Puntajes básicos, modificadores y puntaje final.
- Observaciones.

El objetivo principal de estos formularios es puntuar la estructura, de la cual se espera conocer su desempeño sísmico para determinar su grado de vulnerabilidad ante un fenómeno sísmico.

#### 7.2.2.1. Datos de la edificación

Ahora, estimado estudiante, nos enfocamos en completar el formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones, desarrollado por el CTUGS (2020). La primera parte de este formulario, presenta un espacio para documentar la información de la edificación (figura 58) (MIDUVI, 2016).

**Figura 58**

Datos de la edificación

CONSEJO TÉCNICO DE USO Y GESTIÓN DEL SUELO		 	EL GOBIERNO DE TODOS
Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES			
Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154			
100 FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE			
Nivel 1 Muy alta sismicidad			
101	DATOS EDIFICACIÓN		
102	Nombre de la Edificación:		
103	Dirección:		
104	Sitio de referencia:	105	Código Postal
105	Altitud:	106	Altitud:
107	Latitud:	108	Longitud:
107a	Zona:	107b	Norte:
108a	Este:	110	S1:
109	Ss:		

Nota. (CTUGS, 2020)

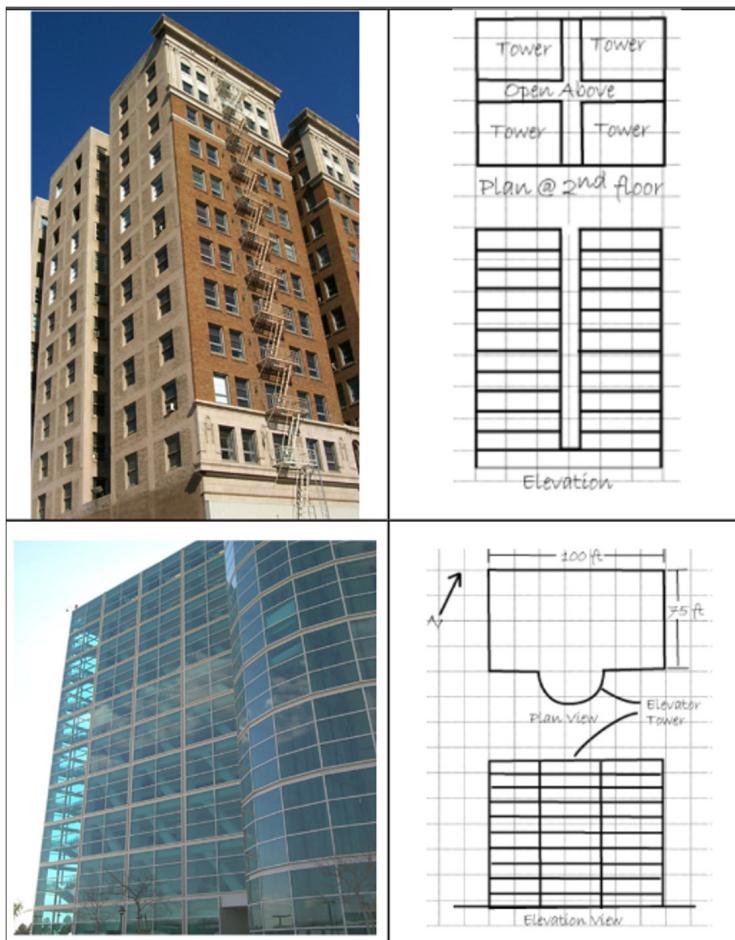
- **Fotografía y esquema estructural del inmueble:** la fotografía debe ser de la parte frontal de la edificación (acceso principal), procurando que la edificación se pueda observar en su totalidad.

Se debe realizar un esquema de la planta y si es posible un esquema en altura de la estructura (figura 59). En el primero se debe indicar las dimensiones de longitud y ancho, además de la ubicación, lo más exacta posible del ducto o ductos de gradas y ascensores (en caso de edificios). Y para el caso del esquema en altura, se deberá colocar la altura del entrepiso.

La utilidad de estos esquemas es determinar posibles irregularidades, además de identificar varios aspectos relevantes de la construcción.

**Figura 59**

*Ejemplo de fotografías y esquemas estructurales del inmueble*



Nota. (FEMA P-154, 2015)

- **Nombre de la edificación:** es común que los edificios tengan un nombre, el cual se debe colocar en este campo. Para el caso de viviendas o construcciones pequeñas, que no tienen un nombre definido, se colocará el nombre del dueño de la edificación (si se lo conoce), o en caso contrario este campo puede quedar vacío.
- **Dirección:** es primordial contar con la ubicación más precisa posible de la estructura con el fin de poder ubicarla de una manera más ágil, en este sentido por lo menos se debe indicar la calle principal y la calle secundaria, y si es posible se tomará la numeración de la edificación, sus coordenadas (geográficas y planas), código postal y un sitio de referencia.
- **Tipo de uso:** determinar el uso que se da a una edificación es importante al momento de dar prioridades para un posible programa de mitigación y prevención de riesgos, pero sabiendo que el uso no tiene relación directa con la probabilidad de sufrir daños estructurales frente a un sismo.

Existe la posibilidad de que algunas edificaciones presenten más de un tipo de uso, en este sentido se deberá colocar el uso principal de la misma. En el caso de que el profesional verifique que la edificación no entra en alguno de los nueve tipos de uso que se detallan a continuación, deberá colocar el uso en la parte correspondiente a las observaciones.

- **Asamblea:** lugares públicos donde la gente se reúne en una sola habitación, por ejemplo: auditorios, centros comunitarios, cines, teatros, iglesias, entre otros.
- **Comercial:** empresas de cualquier tipo que no entran en otras categorías, como: centros comerciales, instituciones financieras, restaurantes, edificios de estacionamiento, entre otros.
- **Servicios de emergencia:** referidas a las edificaciones que prestan sus servicios ante un evento natural, como: estaciones de bomberos, policía, hospitales, centros de salud, etc.
- **Gobierno:** incluyen todas las edificaciones estatales, las cuales no sean consideradas como servicios de emergencia.
- **Histórico:** comprende todas las edificaciones consideradas como patrimoniales.

- **Industrial:** uso referido a todo tipo de industria, como fábricas, naves industriales, grandes almacenes, bodegas, plantas de ensamblaje, etc.
- **Oficina:** lo integran todos los edificios de oficina, casas de oficina y sitios de gestiones.
- **Residencial:** este tipo de uso comprende edificios residenciales, casas, hoteles, moteles, hostales, conjuntos residenciales, hogares o albergues para niños, ancianos y discapacitados.
- **Educativo:** son todas las instituciones educativas, sean públicas o privadas (escuelas, colegios, institutos, universidades).
- **$S_s$  y  $S_1$ :**  $S_s$  corresponde a la aceleración espectral de referencia para períodos cortos ( $T = 0,20$  s) y  $S_1$  es la aceleración espectral de referencia para periodos largos ( $T = 1,00$  s), estos valores se deben obtener del espectro de respuesta de aceleraciones del sitio obtenido según las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014) o realizando un estudio de microzonificación sísmica en el sitio o lugar del proyecto. La tabla 12 muestra los valores de  $S_s$  y  $S_1$  según los valores que presentan la región sísmica basada en la respuesta de aceleración espectral para un MCER (máximo sismo considerado)

**Tabla 12**

*Determinación de la región sísmica a partir de la respuesta de aceleración espectral para un MCER*

Región sísmica	Respuesta de aceleración espectral, $S_s$ (período corto, o 0.2 segundos)	Respuesta de aceleración espectral, $S_1$ (período largo, o 1.0 segundos)
Baja	$S_s < 0.250$ g	$S_1 < 0.10$ g
Moderada	$0.250 \text{ g} \leq S_s < 0.50 \text{ g}$	$0.100 \text{ g} \leq S_1 < 0.200 \text{ g}$
Moderadamente alta	$0.500 \text{ g} \leq S_s < 1.00 \text{ g}$	$0.200 \text{ g} \leq S_1 < 0.400 \text{ g}$
Alta	$1.000 \text{ g} \leq S_s < 1.50 \text{ g}$	$0.400 \text{ g} \leq S_1 < 0.600 \text{ g}$
Muy alta	$S_s \geq 1.500$ g	$S_1 \geq 0.600$ g

Nota: g = Aceleración de la gravedad en dirección horizontal

Nota. (FEMA P-154, 2015)

### 7.2.2.2. Datos del profesional

Posteriormente, debemos registrar la información del profesional a cargo de la evaluación, donde se deben llenar los campos referidos al nombre del evaluador, cédula de identidad, registro SENESCYT, además de la fecha y hora de la evaluación (figura 60) (MIDUVI, 2016).

**Figura 60**

*Datos del profesional*

111 DATOS DEL PROFESIONAL	
112	Nombre del evaluador:
113	Cédula del evaluador
114	Registro SENESCYT
115	Fecha
116	Hora:

Nota. (CTUGS, 2020)

### 7.7.2.3. Datos de construcción

En este apartado se debe completar las características más importantes de la edificación, siendo conveniente en la medida de lo posible llenar esta información en la fase de planificación, como se indica en la figura 61 e incluye:

**Figura 61**

*Datos de la construcción*

117 DATOS CONSTRUCCIÓN			
118	Numero de Pisos:		
119	Sobre el subsuelo	120	Bajo el subsuelo
121	Año de construcción:	122	Área de Construcción
123	Código Año:	124	Año(s) Remodelación:
124	Adiciones: Ninguna <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	125 Número de Predio 126 Clave Catastral

Nota. (CTUGS, 2020)

- **Número de pisos:** el daño que puede sufrir una edificación está estrechamente relacionada con la altura de la estructura, siendo el número de pisos un buen indicador de la altura (aproximadamente de 2,5 a 3 m para viviendas y hasta 3,65 m para locales comerciales u oficinas), contar el número de pisos se puede complicar cuando la estructura está construida en una colina o si tiene varios niveles, en estos casos se debe contar los pisos desde el lado descendente hasta el punto más alto, en el apartado de observaciones se puede indicar las variaciones entre el número de plantas. De igual manera se deben contabilizar los pisos que se ubican sobre y bajo el subsuelo.

- **Año de construcción:** la edad de la edificación está vinculada directamente a las prácticas de diseño y construcción que fueron empleadas, siendo la edad un factor determinante en la puntuación final del edificio, generalmente esta información no suele estar disponible en el lugar, por lo tanto, es recomendable obtenerla antes de realizar el trabajo de campo. En el caso de no poder obtenerla, se debe hacer una estimación aproximada basándose en el estilo arquitectónico y el uso del edificio o de alguna otra información obtenida en campo (placa de edificación, información de los habitantes del lugar), teniendo que indicar esto en el campo de observaciones. Si en el edificio se han realizado remodelaciones de igual manera se debe colocar el año en el cual se realizó.
- **Código año:** se refiere al año del código de la construcción vigente que se utilizó para diseñar la edificación, ya que el edificio pudo haber sido diseñado varios años antes de su construcción, y, por lo tanto, diseñado con un código anterior con requerimientos distintos en materia de sismorresistencia. Generalmente el código puede determinarse a partir de los planos de la edificación, si no se conoce este dato, debe dejarse en blanco.
- **Área de construcción:** se refiere a todos los espacios cubiertos correspondientes a las edificaciones, incluyendo paredes, fachadas, pasillos, volados, escaleras, terrazas, muros, balcones, entre otros. Esta información generalmente está disponible en planos o archivos.
- **Adiciones:** muchos edificios se componen de más de un sistema de entramado estructural, el cual está dividido por juntas, las cuales pueden separar edificios con un diferente sistema estructural, y, por lo tanto, con una respuesta diferente ante las fuerzas laterales, o separar edificios con diferentes alturas entre pisos. Las adiciones generalmente se realizan para regular la expansión y contracción propia de los materiales por los cambios de temperatura, estas pueden construirse como estructuras independientes con juntas de separación o pueden estar integradas en el edificio original.
- **Número de predios y clave catastral:** se debe colocar el número de predios o clave catastral, los cuales identifican a un inmueble y que constan en el registro catastral manejado por los GAD Municipales (MIDUVI, 2016).

#### 7.2.2.4. Ocupación

Existen nueve clases generales de ocupación, como se especifica en el apartado 7.1.2.1 en lo relacionado con el tipo de uso, estas clases de ocupación tienen características fácilmente identificables (figura 62) (MIDUVI, 2016).

**Figura 62**

*Ocupación*

200	OCCUPACION:			
201	Asambleas	Comercial	Servicio de Emergencia	
202	Industria	Oficina	Educación	
203	Utilidad	Alamacén	Residencial #	
203A	Historico	Albergue	Público	

Nota. (CTUGS, 2020)

#### 7.2.2.5. Tipo de suelo

El tipo de suelo sobre el cual está emplazada la estructura o edificación tiene una gran influencia en la amplitud y la duración de las sacudidas, y por ende en los daños estructurales ante un evento sísmico. El tipo de suelo no puede ser fácilmente identificado por métodos visuales en campo, siendo necesario que sea descrito durante la etapa de planificación mediante información disponible como estudios geotécnicos, o estimando el tipo de suelo basándose en la velocidad media de las ondas de corte en los primeros 30 m del suelo, las cuales pueden estar disponibles en forma de mapas digitales (en algunos países como EEUU). El tipo de suelo debe documentarse en el formulario, sabiendo que si durante la etapa de recogida de datos no se ha podido determinar el tipo de suelo y si no hay ninguna base para clasificar el tipo de suelo se debe seleccionar DNK (no se conoce) y se debe asumir el tipo de suelo D.

Según indica la NEC (2014) se definen seis tipos de perfil de suelo, los cuales se detallan en la tabla 13. Los parámetros utilizados para realizar esta clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores, dividiéndose en perfiles de tipo A, B, C, D y E, los tipos con estratos diferenciables pueden clasificarse asignándoles subíndices como el i (el cual indica que va desde 1 en la superficie) hasta n (que indica la parte inferior de los 30 m superiores del perfil).

Para los suelos del tipo F se aplican criterios como la respuesta dinámica del sitio y su potencial de licuefacción, para determinar estos tipos de

suelos se realizarán investigaciones geotécnicas específicas de suelo, las cuales permitirán conocer y modelar su comportamiento dinámico, como: 1) perforaciones con obtención de muestras; 2) ensayos de penetración estándar; y 3) el ensayo de penetración estática, y otras técnicas de investigación y laboratorio, que permitan precisar sus características y propiedades.

**Tabla 13**

*Tipos de suelos*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A (roca dura)</b>	Perfil de roca competente	$Vs^* \geq 1.500 \text{ m/s}$
<b>B (roca débil)</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1.500 \text{ m/s} > Vs > 760 \text{ m/s}$
<b>C (suelo denso)</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > Vs > 360 \text{ m/s}$ $N^* \geq 50$ $Su^* \geq 100 \text{ KPa}$
<b>D (suelo duro)</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$360 \text{ m/s} > Vs > 180 \text{ m/s}$ $50 > N \geq 15 \text{ m/s}$ $100 \text{ kPa} > Su \geq 50 \text{ KPa}$
<b>E (suelo blando)</b>	Perfil que cumple el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$Vs < 180 \text{ m/s}$ $IP^* > 20$ $w^* \geq 40 \%$ $Su < 50 \text{ kPa}$

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>F (suelo pobre)</b>	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada específicamente en el sitio por un Ing. Geotecnista. Donde se contemplan las siguientes subclases:	
	<b>F1:</b> suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	<b>F2:</b> turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( $H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)	
	<b>F3:</b> arcillas de muy alta plasticidad ( $H > 7,5$ m con índice de plasticidad IP > 75)	
	<b>F4:</b> perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( $H > 30$ m)	
	<b>F5:</b> suelos con contrastes de impedancia u ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte	
	<b>F6:</b> rellenos colocados sin control ingenieril	

Nota. (MIDUVI, 2016)

#### Donde (\*):

**Vs:** velocidad de onda cortante de suelo (m/s)

**N:** número medio de golpes del ensayo de penetración estándar

**Su:** resistencia al corte no drenado (kPa)

**IP:** índice de plasticidad

**W:** contenido de agua (%)

En el caso del formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones, se consideran tres tipos de suelos: 1) suelos tipo A o B; 2) suelos del tipo D y 3) suelos del tipo E (para estructuras entre uno a tres pisos, y mayores a tres pisos). Mencionando que las estructuras cimentadas en los suelos del tipo A y B generalmente no son afectadas de manera significativa frente a un sismo, es por tal motivo que en formularios anteriores no se consideran.

Además, como se puede apreciar, no hay ningún modificador para el tipo de suelo F, debido a que las estructuras cimentadas sobre este tipo de suelo no pueden ser evaluadas de una manera visual, por tal motivo se requiere de un ingeniero geotécnico para verificar la presencia de este tipo de suelo.

Ahora, es relevante indicar que, si una edificación está cimentada por medio de pilotes o cualquier otro tipo de cimentación profunda, el tipo de suelo puede ser considerado como “más apto” o “mejorado” y ascender de categoría, por ejemplo, si consideramos que una edificación está cimentada sobre un perfil de suelo tipo E, pero su cimentación lleva pilotes, se puede asumir como un suelo “mejorado” tipo D.



## Semana 14

### 7.2.2.6. Riesgos geológicos

La licuefacción, el potencial deslizamiento de tierras y la ruptura de superficie, son los tres tipos de riesgos geológicos que tenemos que considerar en este formulario (figura 63). Ya que la presencia de cualquiera de estas condiciones puede aumentar el riesgo de que una edificación sufra severos daños tras un evento sísmico, estos se abordan en el apartado 4.2.2. Si se detecta alguno de estos riesgos, se debe poner en marcha una evaluación estructural detallada del edificio, la cual debe ser realizada por un especialista estructural (FEMA P-154, 2015).

**Figura 63**

#### Riesgos geológicos

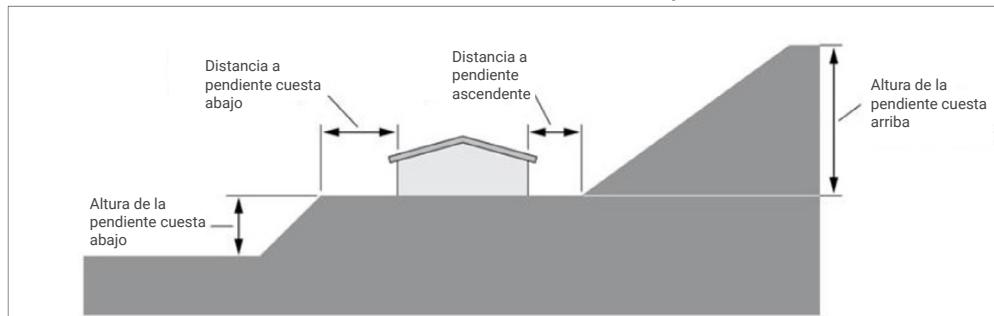
205	RIESGOS GEOLOGICOS						
206	Licuefaccion:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:		
206A	SI		SI		SI		
206B	NO		NO		NO		
206C	DNK		DNK		DNK		

Nota. (CTUGS, 2020)

Estos riesgos geológicos deben identificarse y documentarse en el formulario durante la planificación previa. La presencia de posibles deslizamientos debe ser evaluada o confirmada durante la visita de campo, evaluando la distancia entre la estructura y una pendiente pronunciada, ya sea por encima o por debajo del nivel del edificio. Como regla general tenemos, que si la altura del talud es mayor que la distancia entre el lado más cercano de la edificación y el talud, se debe marcar en el formulario como un posible peligro de deslizamiento (figura 64). En el caso, de que los riesgos geológicos no pudieron ser determinados en el proceso de planificación previo al trabajo de campo y no se los puede identificar en la visita, se debe marcar la opción de DNK.

**Figura 64**

*Construcción con riesgo potencial de deslizamiento y desprendimiento*



Nota. (FEMA P-154, 2015)

#### 7.2.2.7. Adyacencia, irregularidades y peligro de caídas exteriores

Cuando no existe una suficiente separación, la interacción entre edificios adyacentes puede provocar varios daños durante un episodio sísmico, ya que estos pueden golpearse entre sí ante la respuesta a las sacudidas del terreno.

Otra preocupación es el riesgo de caída de un edificio adyacente, como, por ejemplo: chimeneas, muros, parapetos, depósitos o cualquier otro componente del edificio; los cuales de desprenderse podrían caer sobre la edificación que se está evaluando o bloquear las rutas de salidas de este. Por ende, es necesario identificar estas situaciones marcando la casilla correspondiente en relación al riesgo de “golpes” o “peligro de caída del edificio adyacente” (figura 65) (FEMA P-154, 2015).

## Figura 65

### Adyacencia

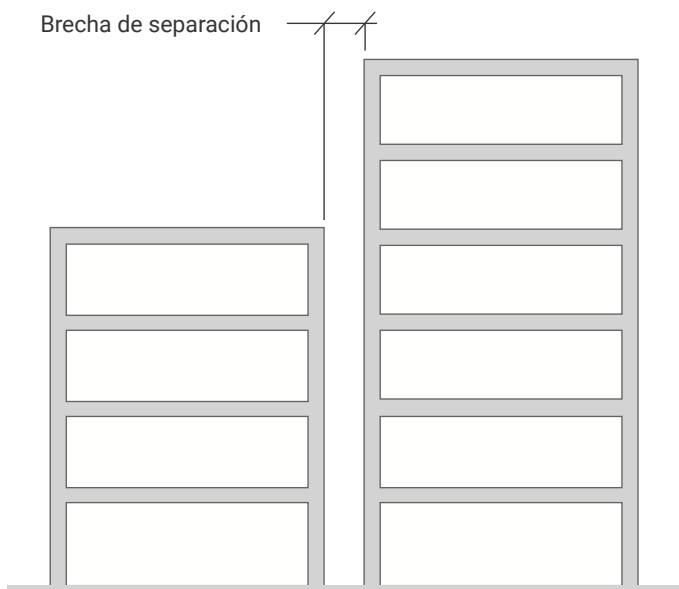
<b>207</b>	Adyacencia				
<b>207A</b>	<input type="checkbox"/>	Golpes	<b>207B</b>	<input type="checkbox"/>	Peligro de caída del Edificio Adyacente
<b>208</b>	Irregularidades:				
<b>208A</b>	<input type="checkbox"/>	Elevación (Tipo/severidad)	.....		
<b>208A</b>	<input type="checkbox"/>	Planta (Tipo)	.....		
<b>209</b>	Peligro de Caída Exteriores				
<b>209A</b>	<input type="checkbox"/>	Chimeneas sin soporte lateral	<b>209D</b>	<input type="checkbox"/>	Apéndices
<b>209B</b>	<input type="checkbox"/>	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada	<b>209E</b>	<input type="checkbox"/>	Parapetos
<b>209C</b>	<input type="checkbox"/>	Otros	.....		
<b>210</b>	COMENTARIOS				
<hr/> <hr/> <hr/>					
<input type="checkbox"/> Dibujos o comentarios en una página aparte					

Nota. (CTUGS, 2020)

Según la FEMA P-154 (2015), en regiones de sismicidad muy alta, la separación mínima entre dos edificios es de 2 pulg (5,08 cm) por piso; en las regiones de sismicidad alta la separación mínima es de 1,05 pulg (3,81 cm); en regiones de sismicidad moderadamente alta, es de 1 pulg (2,54 cm); y en las regiones de sismicidad moderada y baja, la separación mínima es de 0,5 pulg (1,27 cm) por piso (figura 66).

**Figura 66**

*Espacio de separación entre edificios adyacentes*



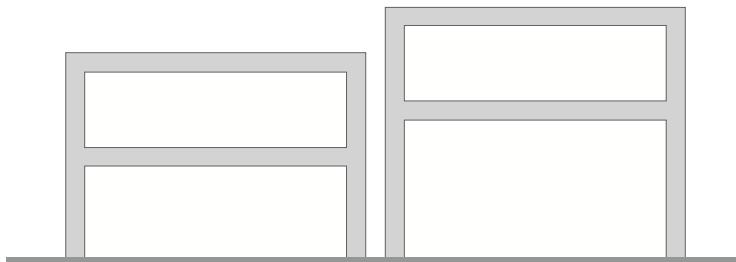
Nota. (FEMA P-154, 2015)

Por ejemplo, para dos edificios adyacentes de seis plantas, la separación mínima es de 12 pulg (30,48 cm) en sismicidad muy alta, 9 pulg en sismicidad alta (22,86 cm); 6 pulg (15,24 cm) en sismicidad moderada alta y 3 pulg (7,62 cm) en sismicidad moderada o baja. Se considera que existe riesgo de golpe por adyacencia cuando la separación real es menor que la separación mínima y cuando se aplica una de las tres condiciones adicionales:

- Los pisos están separados verticalmente por más de dos 2 pies (60,96 cm), donde se considera que un daño significativo o el posible colapso son más probables cuando la masa del piso de un edificio puede impactar directamente sobre las columnas o paredes del edificio adyacente (figura 67).

## **Figura 67**

*Pisos no alineados verticalmente*

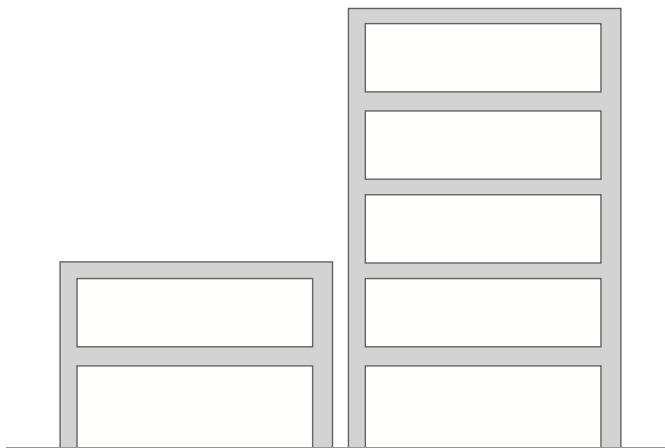


Nota. (FEMA P-154, 2015)

- Un edificio es dos o más pisos más alto que el edificio adyacente (figura 68), donde los daños en el edificio más alto pueden concentrarse en el nivel del techo del edificio más bajo.

## **Figura 68**

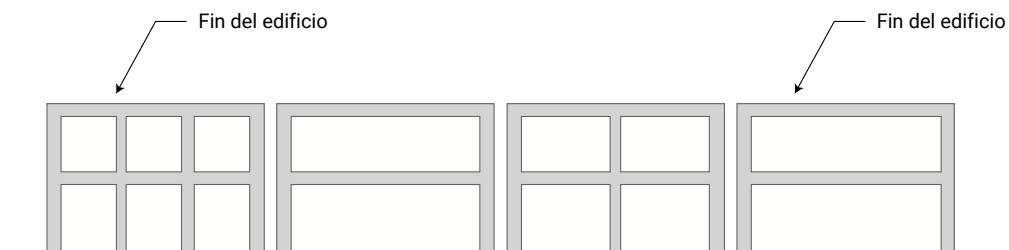
*Edificios de diferente altura*



Nota. (FEMA P-154, 2015)

- Cuando el edificio está al final de una fila de tres o más edificios (figura 69), debido a que, sobre el edificio del último, se imponen mayores exigencias cuando el edificio adyacente se desplaza hacia él y porque no tiene un edificio al otro lado para equilibrar las cargas, esto se ha evidenciado en los daños que han tenido los edificios extremos ante un sismo.

**Figura 69**  
*Edificios finales*



Nota. (FEMA P-154, 2015)

Si el edificio analizado cumple alguno de los criterios anteriormente descritos, el evaluador deberá marcar la casilla “golpes”, activándose de esta manera una evaluación estructural detallada en los campos “otros riesgos” en el casillero de golpeo potencial, y en el campo “acción requerida”, los cuales se ubican en la parte inferior del formulario. Además, si se identifica riesgos de caída de un edificio adyacente, el evaluador marcará la casilla “riesgos de caída” activándose de igual manera la evaluación estructural detallada en los campos “otros riesgos” y “acción requerida”.

#### 7.2.2.8. Tipología del sistema estructural

En profesional que realice la evaluación de vulnerabilidad debe ser capaz de determinar el sistema estructural de la edificación, pero existiendo siempre la posibilidad que esta no se pueda realizar debido al acceso limitado o completamente imposible, por lo tanto, en estos casos el profesional debe descartar aquellos sistemas estructurales que no correspondan a la estructura en estudio, y quedarse con aquellas posibles opciones. El resultado final (S) que se considere al final de la evaluación será el de menor valor de entre las opciones posibles.

Según la FEMA P-154 (2015) para cada tipo de estructura, se ha calculado un índice de peligro estructural (puntaje básico) el cual refleja la probabilidad de daño y pérdida de una edificación (figura 70), estos valores varían según el grado de sismicidad que presente el lugar, teniendo: 1) muy alta sismicidad; 2) alta sismicidad; 3) moderadamente alta sismicidad; 4) moderada sismicidad; y 5) baja sismicidad.

**Figura 70***Tipología del sistema estructural, puntaje básico*

401 PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMAF)	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
				(MF)	(BR)	(LM)	(RC SW)	(URM INC)	(MF)	(SW)	(URM INF)	(TU)		(FD)	(RD)		
402 PUNTAJE BÁSICO				2.1	1.9	1.8	1.5	1.40	1.6	1.4	1.2	1	1.2	0.9	1.1	1	1.1

Nota. (CTUGS, 2020)

Los tipos de estructuras que se pueden encontrar en la mayoría del Ecuador, han sido clasificadas en los siguientes grupos (figura 71), que se describen a continuación:

**Figura 71***Tipología del sistema estructural*

300	TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		
	W1	309	C1
301 Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos			
302 Porticos de madera Livianos múltiples unidades, múltiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m <sup>2</sup>	W1A	310 Pórtico H. Armado con muros de corte	C2
303 Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500m <sup>2</sup>	W2	311 Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3
304 Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)	S1	312 Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1
305 Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2	313 Portico de H. Armado prefabricados	PC2
306 Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3	314 Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1
307 Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4	315 Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos	RM2
308 Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloques	S5	316 Edificios de Mampostería no reforzada	URM
		317 Vivienda prefabricada	MH

Nota. (CTUGS, 2020)

- **Madera (W1):** incluye pórticos y elementos estructurales como vigas, columnas, bastidores, celosías, armaduras, cuando son de madera natural o laminada. Estas estructuras incluyen a viviendas multifamiliares de uno o dos pisos máximo, se caracterizan por ser de peso ligero, la falla más común de estas estructuras se da en las uniones de elementos estructurales (figura 72).

El tipo **W1A** corresponde a pórticos de madera y pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300 m<sup>2</sup>. Y el tipo **W2** a pórticos de madera para edificios comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500 m<sup>2</sup>.

**Figura 72**

*Tipo de sistema estructural: madera (W1)*



Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Estructuras de mampostería no reforzada (URM):** muros de paredes de ladrillo, bloque, adobe, bahareque, sin refuerzo de varillas de acero (figura 73).

**Figura 73**

*Tipo de sistema estructural: mampostería sin refuerzo (URM)*



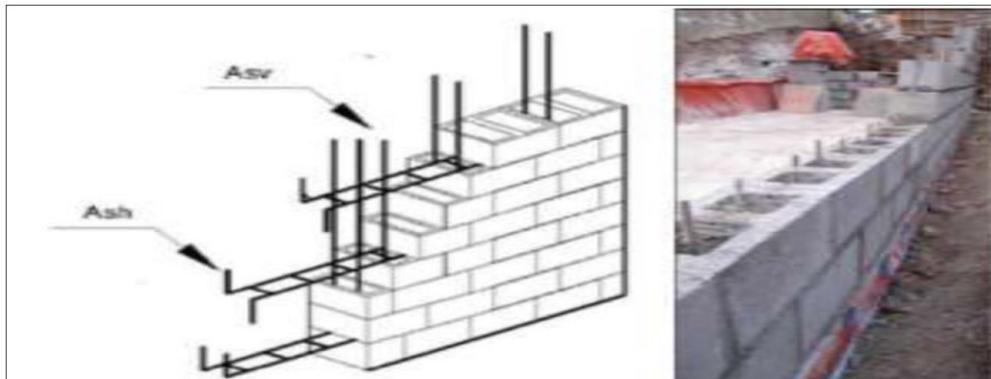
Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Mampostería reforzada (RM):** de modo general incluyen muros de paredes portantes de bloque o ladrillo con varillas de acero de refuerzo horizontal y vertical (figura 74).

En tipo RM1 corresponde a estructuras de mampostería reforzada con diafragmas flexibles. Y el tipo RM2 a estructuras de mampostería reforzada con diafragmas rígidos.

**Figura 74**

*Tipo de sistema estructural: mampostería reforzada (RM)*

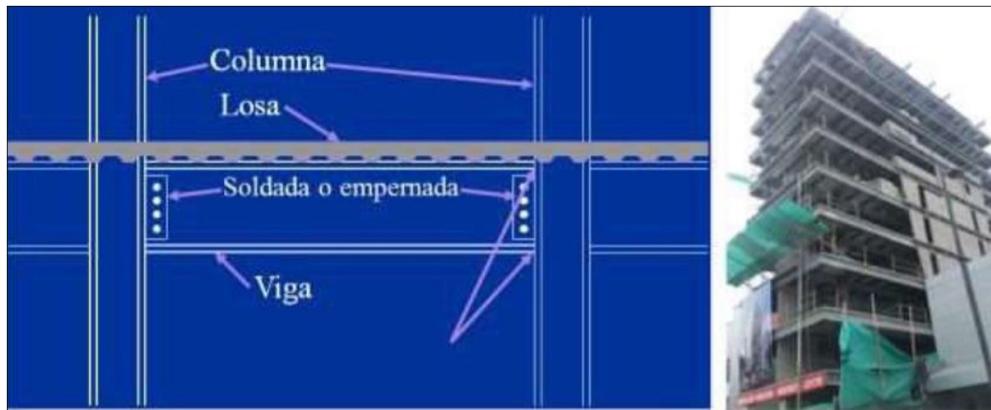


Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Pórtico acero laminado (S1):** elementos, vigas y columnas conformadas por perfiles estructurales laminados en caliente o secciones armadas de placas laminadas en caliente. Las fallas más comunes en este tipo de estructura se producen en sus conexiones (figura 75).

**Figura 75**

*Tipo de sistema estructural: pórtico acero laminado (S1)*

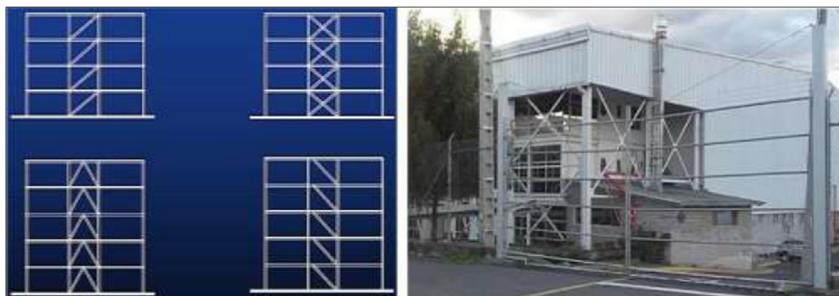


Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Pórtico de acero laminado con diagonales (S2):** pórtico de acero laminado en caliente y diagonales rigidizadoras de acero a todo lo alto de la edificación (figura 76).

**Figura 76**

*Tipo de sistema estructural: pórtico de acero laminado con diagonales (S2)*



Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Pórtico de acero liviano o conformado en frío (S3):** elementos, vigas y columnas conformadas por secciones de acero de lámina delgada doblada en frío (figura 77).

**Figura 77**

*Tipo de sistema estructural: pórtico de acero doblado en frío (S3)*



Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Pórtico de acero laminado con muros estructurales de hormigón armado (S4):** pórticos de acero laminado en caliente que incluyen muros estructurales de hormigón armado en toda la edificación. En este tipo de estructuras las cargas laterales son resistidas por los muros que generalmente se ubican en los cajones de ascensores y gradas (figura 78).

**Figura 78**

*Tipo de sistema estructural: pórtico de acero laminado con muros estructurales de hormigón armado (S4)*



Nota. (MIDUVI, 2016)

- **Pórticos de acero con paredes de mampostería de bloque (S5):** pórticos de acero laminado en caliente con paredes divisorias de mampostería de bloque de hormigón (figura 79).

**Figura 79**

*Tipo de sistema estructural: pórticos de acero con paredes de mampostería (S5)*



Nota: (MIDUVI, 2016)

- **Pórtico de hormigón armado (C1):** elementos estructurales como vigas y columnas de hormigón armado (figura 80).

## **Figura 80**

*Tipo de sistema estructural: pórtico de hormigón armado (C1)*



Nota: (MIDUVI, 2016)

- **Pórticos de hormigón armado con muros estructurales o de corte (C2):** elementos estructurales, vigas, columnas y muros estructurales de hormigón armado a todo lo alto de la edificación (figura 81).

## **Figura 81**

*Tipo de sistema estructural: pórtico de hormigón armado con muros estructurales (C2)*



Nota: (MIDUVI, 2016)

- **Pórtico de hormigón armado con mampostería de relleno sin refuerzo (C3):** elementos estructurales como vigas y columnas de hormigón armado y muros portantes de mampostería sin varillas de acero (figura 82).

### Figura 82

*Tipo de sistema estructural: pórtico de hormigón armado con mampostería de relleno sin refuerzo (C3)*



Nota: (MIDUVI, 2016)

- **Hormigón armado prefabricado (PC):** de manera general consisten en paneles portantes de hormigón armado prefabricado o elementos estructurales, vigas y columnas de hormigón armado, prefabricadas y ensambladas en obras. En este tipo de estructura las conexiones mal diseñadas pueden fallar (figura 83).

El tipo **PC1** corresponde a losas prefabricadas de hormigón (Tilt-up, en inglés). El tipo **PC2** a pórticos de hormigón armado prefabricados. Y **HC** corresponde a viviendas prefabricadas.

### Figura 83

*Tipo de sistema estructural: hormigón armado prefabricado (PC)*



Nota. (MIDUVI, 2016)

## 7.2.2.9. Modificadores

Los modificadores son de los principales factores que inciden de manera significativa sobre el rendimiento de una estructura ante un evento sísmico, estos tienen un valor propio el cual depende del sistema estructural de la edificación, y los cuales se detallan a continuación (figura 84) (MIDUVI, 2016).

**Figura 84**  
Modificadores

400	PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1														TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		
	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
401 PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)				(MRF)	(BR)	(LM)	(RC SW)	(URM ING)	(MRF)	(SV)	(URM INF)	(TU)		(FD)	(RD)		
402 PUNTAJE BÁSICO	2.1	1.9	1.8	1.5	1.40	1.6	1.4	1.2	1	1.2	0.9	1.1	1	1.1	1.1	0.9	1.1
403 IRREGULARIDADES																	
403A Irregularidad vertical Grave, VL1	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	NA
403B Irregularidad vertical Moderada, VL1	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	NA
404C Irregularidad en planta, PL1	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	NA
405 CÓDIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
405A Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0	0
405B Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C Post código moderno (construido a partir de 2015)	1.9	1.9	2	1	1.1	1.1	1.5	NA	1.4	1.7	NA	1.5	1.7	1.6	1.6	NA	0.5
406 SUELO																	
406A Suelo Tipo A o B	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
406B Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C Suelo Tipo E (1-3 pisos)	0	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0	-0.1
406D Tipo de suelo E (>3 pisos)	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	NA	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	NA	-0.1	-0.2	-0.2	0	NA
407 Puntaje Mínimo	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	1
408 PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																	

Nota: (CTUGS, 2020)

- Irregularidad vertical**

Las irregularidades verticales pueden afectar a todos los tipos de estructuras, existen ocho tipos (tabla 14) las cuales se describen a continuación:

**Tabla 14**

*Irregularidad vertical*

**Irregularidad geométrica:** la estructura es irregular cuando la dimensión en planta en cualquier piso es superior a 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, excepto en el caso de los altillos de un solo piso ( $a > 1,3 b$ )

**Irregularidad por ubicación:** si la edificación se encuentra en una colina empinada, donde a lo largo de la pendiente exista al menos un piso de altura

**Piso débil:** si la rigidez de un piso es drásticamente menor que la mayoría de los demás pisos. Se puede deber a disminución en mampostería portante o muros estructurales.

**Columna corta o larga:** si la estructura presenta columnas cortas o demasiado largas (generalmente en mezzanines).

## Irregularidad vertical

**Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas:** la estructura presenta desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales, siendo más grandes que la dimensión horizontal del elemento.

**Distribución de masa:** se considera que la estructura no es regular cuando la masa de cualquier piso es superior a 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, solamente con excepción del piso de cubierta, el cual puede ser más liviano que el piso inferior.

**Piso flexible:** la estructura es irregular cuando la rigidez de un piso, es inferior que el 70 % de la rigidez lateral del piso superior o menos que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

**Adiciones:** se considera a la edificación irregular cuando existen adiciones, fuera del diseño original (de un piso o más)

Nota: (MIDUVI, 2016)

Si se han identificado una o más irregularidades verticales graves, se deberá marcar con un círculo el modificador de puntuación por irregularidad grave. Por el contrario, si se han detectado una o más irregularidades verticales moderadas y ninguna grave, se deberá marcar el modificador de puntuación de irregularidad vertical moderada.

### ■ Irregularidad en planta

De igual manera las irregularidades en planta presentan potencial de influir sobre una estructura, existen cinco tipos (tabla 15) que se detallan a continuación:

**Tabla 15**

#### *Irregularidad en planta*

##### **Irregularidad en planta**

**Forma:** la estructura de la edificación es irregular cuando presenta en planta formas de E, I, L, T, U o forma de cruz sin juntas de construcción.

**Discontinuidades en el sistema de piso:** cuando el sistema de piso presenta discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, debido a: aberturas, entrantes o espacios con superficies superiores al 50 % del área total del piso.

**Ejes estructurales no paralelos:** la edificación no es regular cuando sus ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales de la estructura.

**Torsional:** podemos indicar que la edificación es irregular cuando presenta una buena resistencia lateral en una dirección, pero no se presenta de igual manera en la otra; además de existir rigidez excéntrica en planta; o cuando su centro de rigidez no coincide con su centro de masa.

**Adiciones:** cuando se presentan adiciones, que no pertenecen al diseño original y sin la respectiva junta de construcción, hablas de una edificación con estructura irregular.

Nota: (MIDUVI, 2016)

## 7.2.2.10. Código de la construcción

En estos campos se debe señalar los valores correspondientes al Código de la Construcción vigente cuando se erigió la edificación (tabla 16), los cuales se especifican a continuación:

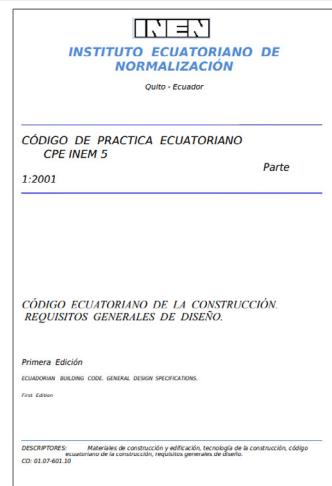
**Tabla 16**

### Códigos de la contrucción

**Pre-código moderno (construido antes de 2001):** se marcará el valor de este modificador cuando la construcción haya sido construida antes del periodo de vigencia en 2001 del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC, 2001) o cuando la edificación muestre señales que se la construyó sin un profesional a cargo.

**Construido en etapa de transición (desde 2001, pero antes de 2015):** corresponde al tiempo de vigencia del Código Ecuatoriano de la Construcción desde el 2001 hasta su actualización en 2015

**Código Ecuatoriano de la Construcción de 1977 o anteriores a este**



**Post código moderno (construido a partir de 2015):** construcciones construidas desde la entrada en vigencia de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en 2015 (NEC-SE-DS, 2014) (Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)



Nota: (MIDUVI, 2016)

#### 7.2.2.11. Puntaje final (S) y grado de vulnerabilidad sísmica

La parte más relevante de la evaluación sísmica simplificada se resume en el puntaje de la calificación final (S) de la estructura o edificación analizada, este valor se obtiene al sumar o restar cada uno de los valores obtenidos una vez realizada la inspección al lugar, es necesario marcar el grado de vulnerabilidad que posee la estructura según lo indica la tabla 17. Donde, Si S es mayor a 2,5 se considera que la estructura tiene una vulnerabilidad baja, si se tiene un valor de S entre 2 y 2,5 se considera que la estructura presenta una vulnerabilidad media y si el puntaje de S es menor a 2 entonces tendremos una estructura de alta vulnerabilidad y se requerirá una evaluación detallada por un profesional experto en diseño estructural.

**Tabla 17**

*Puntaje final (S) y grado de vulnerabilidad sísmica*

Puntaje final	Vulnerabilidad de la edificación
S > 2,50	Baja
2,00 > S ≥ 2,50	Media
S < 2,00	Alta

Nota: (MIDUVI, 2016)

### 7.2.2.12. Observaciones

La última parte del formulario corresponde a las observaciones (figura 85), estas se refieren a condiciones o circunstancias inusuales que el evaluador desee o crea necesario registrar en lo que respecta a la estructura, uso, o condición que presente el sitio inspeccionado, al final el formulario debe ser firmado por la persona responsable de la evaluación.

**Figura 85**

*Observaciones*

800 OBSERVACIONES:	
	FIRMA RESPONSABLE EVALUACION

Nota. (MIDUVI, 2016)

La relevancia de este tipo de análisis busca identificar aquellas edificaciones que potencialmente puedan resultar vulnerables frente a un evento sísmico, con esta noción preliminar se podría diseñar programas de mitigación de riesgo sísmico, ya sea para una edificación, para un barrio o para una ciudad, etc. Además, se puede generar inventarios que registren las edificaciones que requieran posibles rehabilitaciones y planes de emergencia durante y después de un evento sísmico, entre otras ventajas que presenta este método.

A continuación, como texto complementario de lectura y aprendizaje, los invito a revisar las secciones 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 de la [guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras](#).



Además, del [manual de evaluación visual rápida de vulnerabilidad de edificaciones FEMA P-154](#).



## 7.3. Inspección y evaluación rápida de estructuras (post-evento)

### 7.3.1. Introducción

La parte final de este documento se basa en el capítulo 5.5 sobre la inspección y evaluación rápida de estructuras post-evento sísmico, la cual constituye parte de la Guía 5 de evaluación y rehabilitación de estructuras (SGR et al., 2016); que toma como referencia lo desarrollado por la *Applied Technology Council* (ATC, por sus siglas en inglés), en especial sobre los procedimientos ATC-20 para la evaluación de la seguridad de los edificios posterior a un evento sísmico, y el manual de campo ATC-20-1 (segunda edición, revisado a principios de 2005).

Los cuales fueron redactados específicamente por ingenieros estructurales e inspectores de edificios, que incluyen los procedimientos de evaluación rápidos y detallados para evaluar los edificios afectados por movimientos telúricos, y así, poder clasificarlos como INSPECCIONADOS (aparentemente seguros, cartel verde), USO RESTRINGIDO (cartel amarillo) O INSEGUROS (cartel rojo). Con el transcurso del tiempo, estos informes, se han ido actualizando, como es el caso del ATC-20-2 (2005) y el ATC-20-3 (1997).

### 7.3.2. Importancia y objetivos

Es conocido que un evento sísmico es capaz de afectar gravemente a todo tipo de edificaciones, ya que las mismas pueden presentar daños considerables en sus elementos estructurales y/o arquitectónicos como: mamposterías, revestimientos de vidrio, cubiertas, entre otros, incluso pudiendo llegar a desprendérse y caer. En este sentido, es relevante verificar rápidamente la habitabilidad de las edificaciones posterior al evento mediante una evaluación rápida del nivel de riesgo de todas las construcciones que han sufrido algún tipo de daño, considerando que después de un sismo de gran magnitud, es muy probable que se generen réplicas, las cuales pueden aumentar el daño ya ocasionado a las edificaciones.

Mediante lo expuesto en este apartado, usted apreciado estudiante estará en la capacidad de emitir un criterio rápido en cuanto a la seguridad de las edificaciones.

### 7.3.3. Requerimientos del personal

El personal escogido para llevar a cabo la inspección debe estar capacitado en el manejo del formulario de evaluación rápida, además de conocer a fondo los criterios de evaluación y las condiciones de trabajo seguras al momento de realizar su labor, en especial tienen que estar preparados para el momento en el que ocurra un evento sísmico. Esta preparación es necesaria para que el personal que no tenga formación en ingeniería o arquitectura pueda llevar a cabo una inspección eficaz y que establezca de manera rápida las condiciones inseguras y el tipo de pancarta que requiera cada construcción evaluada.

Para realizar la inspección se requieren de insumos, los cuales se detallan a continuación:

- Guía para inspección y evaluación rápida de estructuras post-evento.
- Planos de la zona a evaluar.
- Formularios de inspección.
- Pancartas de inspección.
- Cinta de peligro.
- Libreta de campo.
- Bolígrafos.
- Linterna con sus respectivas baterías.
- Flexómetro y nivel.
- Cámara fotográfica o teléfono móvil.
- Contactos del personal de gestión de riesgos.

Artículos y equipos de protección personal.

- Cédula de ciudadanía o identificación personal.
- Identificación de inspección.
- Casco de seguridad.
- Botas de seguridad.
- Gafas de protección visual.

#### **7.3.4. Procedimiento de la inspección**

Las evaluaciones se caracterizan por ser cortas y breves, donde los inspectores tienen la obligación de observar y determinar las posibles fallas estructurales, de suelo (deslizamientos, asentamientos) y cualquier otra condición que amenace la integridad de la estructura y la vida de sus ocupantes. Los pasos de la evaluación se describen a continuación:

##### **Paso 1: Instrucciones detalladas y ejemplos gráficos**

Este paso consiste en examinar toda la parte exterior de la estructura, con el fin de identificar y tener en cuenta los peligros presentes con potencial de poner en riesgo la salud e integridad del personal que realiza la evaluación.

Por ejemplo, en la figura 86, se identifican ciertas condiciones de la estructura que presentan un riesgo para el personal evaluador, como: 1) la mampostería de hormigón que forma parte del sistema constructivo de la estructura puede llegar a caer; 2) en la segunda planta de la estructura se presenta una ventana que puede precipitar, y ser una amenaza por los vidrios; 3) se presentan pedazos de hormigón que cuelgan sobre la segunda planta; 4) presencia de barandas que pueden llegar a caer por acción del viento o por réplicas del sismo.

## **Figura 86**

*Vista externa de una estructura afectada por el terremoto de Pedernales en 2016*



Nota. (SGR et al., 2016)

## **Paso 2: Instrucciones detalladas y ejemplos gráficos**

Examinar el suelo y pavimento en búsqueda de fisuras, asentamientos o cualquier signo de movimiento de tierra alrededor del área de la estructura, con el fin de identificar todos los peligros potenciales para los ocupantes e inspectores de las estructuras posterior al evento sísmico.

Por ejemplo, en la figura 87, se identifican ciertas condiciones que presentan un riesgo como: 1) movimiento del suelo, el cual provoca que la columna sufra un hundimiento moderado; 2) grietas sobre vías que conectan a las poblaciones afectadas, donde se debe tener cierta precaución al movilizarse.

**Figura 87**

Movimiento de suelo y fisuras (izquierda: hundimiento de columna; derecha: grietas en el suelo), ocasionadas por el terremoto de Pedernales en 2016



Nota. (SGR et al., 2016)

### Paso 3: Instrucciones detalladas y ejemplos gráficos

Es necesario señalar que el inspector nunca debe entrar directamente a las estructuras afectadas, donde la premisa es preservar su integridad y minimizar el número de pérdidas humanas luego del sismo; únicamente se debe ingresar a la estructura cuando ésta no pueda ser visualizada desde el exterior y/o cuando se presentan sospechas de problemas no estructurales (por ejemplo, techos o paredes dañadas).

Por ejemplo, en la figura 88 se observan ciertos peligros que el inspector debe identificar y considerar para precautelar su integridad y realizar una labor segura, como: 1) el recubrimiento de la mampostería se está desprendiendo; y 2) se presenta una fisura diagonal en la pared. Además, hay que observar minuciosamente los posibles daños de los componentes estructurales como vigas, columnas, nudos, etc.

**Figura 88**

*Interior de una edificación afectada por el terremoto de Pedernales en 2016*



Nota. (SGR et al., 2016)

#### **Paso 4: Instrucciones detalladas y ejemplos gráficos**

En este paso se deben documentar los resultados derivados de la inspección, teniendo que ser registrados en el formulario de evaluación rápida, el cual es una adaptación del formulario ATC-20 (figura 89), este formulario tiene cinco componentes, los cuales se detallan a continuación:

**Figura 89**

Formulario de evaluación rápida de estructuras post-evento

## Formulario de Evaluación Rápida

**Inspección**

Nombre \_\_\_\_\_ Inspector/ CI: \_\_\_\_\_

Affiliación: \_\_\_\_\_

Fecha, Hora y Lugar de la Inspección: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ AM \_\_\_\_\_ PM

Áreas Inspeccionadas:  Solo Exterior  Exterior e Interior

---

**Descripción de la Edificación**

Nombre de la edificación: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Número de contacto celular de la edificación: \_\_\_\_\_

Número de pisos sobre el suelo: \_\_\_\_\_ Subsuelos: \_\_\_\_\_

Área en planta (m<sup>2</sup> o ft<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_

Número de residencias habitadas: \_\_\_\_\_

Número de residencias no habitadas: \_\_\_\_\_

**Tipo de Construcción**

Estructura de madera  Estructura metálica  Estructura modular prefabricada  Estructura de hormigón

Estructura con muros de hormigón  Mampostería sin Refuerzo Estructural  Mampostería con Refuerzo Estructural  Otros: \_\_\_\_\_

---

**Tipo de Ocupación**

Familiar  Otro tipo de residencia  Asamblea Pública  Servicios de emergencia

Comercial  Gubernamental  Oficinas  Histórico  Industrial  Colegios  Otros: \_\_\_\_\_

---

**Evaluación**

Investigar la edificación y marcar sus condiciones en una de las columnas

Condiciones Observadas:	Poca/Ninguna	Moderada	Severa
Colapso total, parcial o su cimentación afectada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Edificación fuera de plomo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agrietamiento en muros u otro daño estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Daños en el antepecho, chimenea u otra elemento que amenace con caer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otro (Especificar)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Condiciones Observadas: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentarios: \_\_\_\_\_

---

**Marcación**

Determinar la marcación de la estructura en base a la evaluación y al juicio del equipo de investigación. Las condiciones severas que amenazan el estado estructural de una edificación son suficientes para clasificarla como Insegura. Condiciones de daños severas y moderadas pueden clasificar a la estructura como Uso Restringido. Marcar a las estructuras con la pancarta INSPECCIONADAS únicamente en la entrada principal. Marcar a las estructuras con la pancarta de USO RESTRINGIDO e INSEGURA en todas las entradas.

INSPECCIONADA (Pancarta verde)  USO RESTRINGIDO (Pancarta Amarilla)  INSEGURA (Pancarta roja)

Identificar cualquier restricción de uso existente al igual que en la pancarta de marcación:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

**Futuras Acciones** Poner check en cualquiera de las cajas que se enseñan a continuación en el caso de que si se necesiten futuras acciones

Uso de barricadas en las siguientes áreas: \_\_\_\_\_

Recomienda Evaluación Detallada  Estructura  Geotécnica  Otra: \_\_\_\_\_

Otra recomendación: \_\_\_\_\_

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nota. (SGR et al., 2016)

1. **Inspección:** en este apartado se debe llenar la información básica del evaluador, el cual deberá colocar sus nombres y apellidos, número de cédula, la hora y fecha de la inspección y marcar si la inspección se realizó de manera exterior o exterior e interior.
2. **Descripción de la edificación:** aquí se llena todo lo concerniente a la información de la edificación como: 1) nombre o número de lote; 2) dirección; 3) número de contacto o celular del propietario o algún inquilino de la edificación; 4) número de pisos sobre el suelo (sin contabilizar la cubierta); 5) subsuelos; 6) número de residencias habitadas / no habitadas; 7) tipo de construcción y 8) tipo de ocupación.
3. **Evaluación:** el evaluador deberá determinar el grado de afectación que ha sufrido la edificación (ninguno, moderado o severo), y establecer el tipo de señalización que corresponda. Es necesario indicar que para situaciones dudosas es necesario tener un buen juicio, ya que ciertas estructuras con daños moderados pueden ser difíciles de evaluar, cuando se presenten dudas sobre la evaluación y/o señalización se recomienda señalizar la misma como uso restringido a la par de adjuntar un pedido de evaluación detallada.

La inspección se basa en seis criterios básicos (tabla 19), los cuales consisten en condiciones de la edificación observadas desde el exterior, que de manera individual y colectiva garantizan la decisión de señalizar o no la estructura como insegura. En el caso de existir salidas de emergencia, se debe asegurar por medio del inspector que estas se encuentren libres y puedan ser usadas. En el caso de no encontrar ninguna de las condiciones detalladas en la tabla 18 u alguna otra amenaza/condición que afecte el estado de la estructura, se podrá señalar que la edificación ha sido inspeccionada.

**Tabla 18***Criterios de evaluación rápida*

Condición	Ejemplo	Acción
1 La edificación ha colapsado totalmente, parcialmente o su cimentación ha sido afectada.	 The first photograph shows a two-story white building that has partially collapsed, with its upper structure leaning precariously against a nearby wall. Debris and rubble are scattered in the foreground. The second photograph is a close-up view of a paved surface showing significant longitudinal cracks and some broken tiles, indicating ground movement or settlement.	Señalar como inseguro

Condición	Ejemplo	Acción
2 La edificación se encuentra fuera de aplomo (no se encuentra nivelada).	 	Señalar como inseguro

Condición	Ejemplo	Acción
3 Se presentan daños severos en elementos estructurales importantes, como grietas grandes en paredes u otros daños considerables.	 	Señalar como inseguro
4 Afectaciones en antepechos, chimeneas u otro elemento que pueda precipitar de la parte superior de la edificación.	 	Señalar como uso restringido y cercar el área

Condición	Ejemplo	Acción
5 Movimientos de suelos, grietas en el suelo, deslaves o incluso derrumbes de material presentes.	 	Señalar como inseguro
6 Otras amenazas existentes, por ejemplo, postes de luz derrumbados, derrames de materiales peligrosos, tuberías rotas, entre otros.		Señalar como inseguro y/o cercar el área.

Nota. (SGR et al., 2016)

### Paso 5: Instrucciones detalladas

Posterior a la evaluación, las estructuras deberán ser marcadas con su pancarta respectiva (seguro, inseguro, uso restringido) (tabla 19) y dependiendo del caso se tomarán las medidas de seguridad necesarias, ya

que estas son un elemento de marcación que define el estado estructural de la edificación.

**Tabla 19**  
*Tipos de pancartas*

Clasificación de las pancartas	Descripción	Modelo pancarta
<b>Inspeccionado (verde)</b>	Evidentemente, no existe ningún peligro, pero se pueden requerir reparaciones leves. La resistencia sísmica de la estructura no se ha visto afectada y no existe ningún tipo de restricción en el uso de la estructura.	<p style="text-align: center;"><b>INSPECCIONADO</b> OCCUPACIÓN LEGALMENTE PERMITIDA</p> <p>La estructura ha sido inspeccionada (como se indica abajo) y no existe aparentes daños estructurales o amenazas.</p> <p><input type="checkbox"/> Inspección Exterior <input type="checkbox"/> Inspección Exterior e Interior</p> <p>Reportar cualquier condición de inseguridad a la jurisdicción local; puede ser requerida una re inspección.</p> <p>Comentarios del Inspector:</p> <hr/> <p>Nombre de la Instalación y Dirección:</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Prohibido Remover, Alterar o Cubrir esta Pancarta sin la debida autorización de las Autoridades Gubernamentales</p>
<b>Uso restringido (amarillo)</b>	Existe una amenaza o condición insegura que obliga a restringir el uso de la edificación. La entrada a la edificación y el uso restringido de la edificación se indican en la pancarta.  Existen dos pancartas para el caso de uso restringido, 1) indica las restricciones de forma manual y 2) presenta restricciones predeterminadas.	<p style="text-align: center;"><b>USO RESTRINGIDO</b></p> <p>Precaución: Esta edificación ha sido inspeccionada y se ha determinado que existen los siguientes daños:</p> <hr/> <hr/> <p>Los siguientes ingresos y/o área de ocupación se encuentran legalmente restringidos:</p> <hr/> <hr/> <p>Nombre de la Instalación y Dirección:</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Prohibido Remover, Alterar o Cubrir esta Pancarta sin la debida autorización de las Autoridades Gubernamentales</p>

Clasificación de las pancartas	Descripción	Modelo pancarta
<b>Inseguro (rojo)</b>	<p>Se presentan inminentes amenazas y afectaciones estructurales graves en la edificación.</p> <p>Puede existir el riesgo de colapso, debido a posibles réplicas sísmicas que pueden ocurrir posteriormente.</p> <p>Siendo inseguro ocupar y/o ingresar a la estructura, exceptuando a las personas calificadas como inspectores.</p>	<p style="text-align: center;"><b>INSEGUNTO</b></p> <p><b>PROHIBIDO EL INGRESO Y OCUPACIÓN (ESTA PANCARTA NO ES UNA ORDEN DE DEMOLICIÓN)</b></p> <p>La estructura se encuentra inspeccionada y se determinaron serios daños y amenazas estructurales. Es insegura su ocupación como se indica:</p> <hr/> <p>No ingresar a la edificación a menos que exista una autorización escrita por parte de la jurisdicción local. El ingreso a la misma puede provocar lesiones y hasta muerte</p> <p>Nombre de la Instalación y Dirección:</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Prohibido Remover, Alterar o Cubrir esta Pancarta sin la debida autorización de las Autoridades Gubernamentales</p> <p>Fecha _____ Hora _____</p> <p>Esta instalación fue inspeccionada en condiciones de emergencia por:</p> <p>Jurisdicción _____ CI Inspector/ Agencia: _____</p>

Nota. (SGR et al., 2016)

## Paso 6: instrucciones detalladas

Se debe socializar con los inquilinos o habitantes el significado de las pancartas, en especial de uso restringido o inseguro, siendo relevante comunicarles que deben salir y alejarse inmediatamente de las estructuras inseguras, sin crear pánico, de igual manera las áreas restringidas deben ser evacuadas.



A continuación, apreciado estudiante, como texto complementario de lectura y aprendizaje, lo invito a revisar el capítulo 5.5. Sobre la inspección y evaluación rápida de estructuras post-evento sísmico.

De esta manera hemos llegado a la parte final de la presente guía correspondiente a la asignatura de Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad de Estructuras, le sugerimos realizar la Autoevaluación 7 y esperamos que lo visto en esta asignatura les haya sido de utilidad e interés.



## Autoevaluación 7

Concluidos los estudios de los temas previstos en la unidad 7, es necesario llevarlos a la práctica a través de la siguiente actividad

1. ¿El método FEMA P-154 es un método cualitativo que permite a profesionales evaluar las construcciones y las puedan clasificar según tres categorías?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. ¿En cuáles de las siguientes actividades no se centra el método de evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones?
  - a. Planificación.
  - b. Recopilación de datos.
  - c. Interpretación de datos.
  - d. Evaluación post evento.
3. ¿En el año 2020 el Consejo Técnico de Uso y Gestión del Suelo de Ecuador desarrolló un formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones basado en el FEMA P-154?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. Si no se ha podido determinar el tipo de suelo previamente y si no hay ninguna base para clasificar el tipo de suelo se debe seleccionar:
  - a. DNK y asumir el tipo de suelo D.
  - b. DNK y asumir el tipo de suelo E.
  - c. DNK y asumir el tipo de suelo A o B.

5. Cuando no existe una suficiente separación, la interacción entre edificios adyacentes puede provocar varios daños durante un episodio sísmico, ya que estos pueden golpearse entre sí ante la respuesta a las sacudidas del terreno.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
6. En el caso de no poder determinar el sistema estructural de la edificación, el profesional debe descartar aquellos sistemas estructurales que no corresponda a la estructura en estudio, y quedarse con aquellas posibles opciones
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
7. Los modificadores no inciden de una manera significativa en el rendimiento de una estructura ante un evento sísmico
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
8. Uno de los objetivos de la inspección y evaluación rápida de estructuras post-evento sísmico es poder clasificar los edificios como inspeccionados, uso restringido o inseguros
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. ¿Que la edificación se encuentre fuera de aplomo (no se encuentra nivelada), es una condición para señalizar el edificio como uso restringido?
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

10. El uso restringido corresponde a:

- a. No existe ningún peligro.
- b. Existe una amenaza o condición insegura
- c. Se presentan inminentes amenazas y afectaciones estructurales graves.

¡Los felicito por su dedicación y constancia!

[Ir al solucionario](#)



## Semana 16

---



### Actividades finales del bimestre



### Actividad de aprendizaje recomendada

#### Repaso de la unidad 4, 5, 6 y 7

Repaso general de contenidos, estimado estudiante, se recomienda realizar un repaso detallado de los contenidos analizados en las unidades 4, 5, 6 y 7, con el fin de que refuerzen sus conocimientos y de esta manera prepararse de la mejor manera para su evaluación presencial.



## 4. Solucionario

Autoevaluaciones de las unidades del primer bimestre

Autoevaluación 1		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Verdadero, Ecuador forma parte del llamado "Cinturón de fuego del Pacífico".
2	b	Falso, ya que, hace un tiempo relativamente corto, se creía equivocadamente que el planeta y sus estructuras se encontraban inmóviles desde millones de años atrás.
3	b	Al desarrollar los primeros mapas mundiales razonablemente precisos, surgió la idea de que los continentes encajan como piezas de rompecabezas, pero se le dio poca importancia antes de la publicación de Wegener.
4	a	Verdadero, no todas las ideas fundamentales de Wegener fueron corroboradas.
5	a	Verdadero, las capas de la Tierra se pueden dividir en dos modelos, el modelo geoquímico y el geodinámico.
6	b	Falso, el modelo geoquímico se basa en la composición química de las capas de la Tierra.
7	b	La astenosfera corresponde al resto del manto superior y se caracteriza por comportarse como un fluido denso, es una capa blanda y comparativamente plástica.
8	a	Verdadero, debido a la acción de las corrientes convectivas provenientes del manto.
9	c	La interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana sería un ejemplo real de un límite convergente (cuando una placa es más pesada que la otra).
10	a	Verdadero, cuando se da la subducción entre dos placas, estas se bloquean y no se deslizan entre sí, haciendo que se acumule energía la cual genera sismos de gran magnitud.

Ir a la  
autoevaluación

Autoevaluación 2		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Verdadero
2	b	Falso, las primeras estaciones sismológicas se establecieron a finales del siglo XX.
3	c y d	Brasil y las costas Atlánticas de EEUU y Canadá, son caracterizadas por su baja o casi nula actividad sísmica.
4	a	Verdadero
5	a	Verdadero, aunque el término es sinónimo, en el lenguaje común se habla de terremoto cuando el sismo ha causado víctimas o daños severos en las edificaciones.
6	b	Falso, los sismos del tipo cortical se presentan a una profundidad menor a 40 km.
7	b	Las ondas primarias u ondas P, son las que hacen vibrar una partícula en el sentido de propagación de las ondas.
8	a	Verdadero, las ondas Rayleigh u ondas R, hacen vibrar una partícula sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas, con movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente.
9	a	Verdadero, las ondas P tienen la capacidad de propagarse a través de un medio sólido, cuando éstas emergen a la superficie de la Tierra, una fracción puede transmitirse a la atmósfera en forma de sonido.
10	b	Falso, las ondas de cuerpo viajan más rápido que las ondas de superficie.

[Ir a la autoevaluación](#)

### Autoevaluación 3

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Verdadero
2	b	Falso, la intensidad mide el valor de las sacudidas que se producen en cada lugar en la superficie, y se expresa en números romanos.
3	b	La escala de Richter corresponde a una escala de magnitud.
4	a	Verdadero, la Escala Macrosísmica Europea, fue resultado de la mejora de la escala MSK.
5	a	Verdadero
6	a	Un valor de V en la EMS-98, provocará daños de grado 1 en algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad A y B.
7	a	Verdadero
8	b	Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no estructurales moderados)
9	b	Falso, un sismo entre 7,0 y 7,9 en la magnitud de Richter será un terremoto notable con capacidad de generar graves daños cerca del epicentro
10	a	Verdadero

Ir a la  
autoevaluación

#### Autoevaluación 4

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	d	La erosión del suelo no corresponde a una causa básica de daños ocasionados por sismos.
2	a	Verdadero, las víctimas mortales y el alcance de los daños dependen principalmente de la falta de ingeniería al momento de construir una edificación.
3	a	Verdadero
4	a	Verdadero
5	b	Falso
6	d	Incendios, los incendios no son causa de un daño o fallo en el suelo derivado de un sismo.
7	a	Verdadero
8	a	Verdadero
9	a	Verdadero, el fallo de fricción-cortante es ocasionado por esfuerzos de compresión generados por la unión débil entre el mortero y los bloques.
10	a	Verdadero, ya que, una baja resistencia del hormigón es un factor que influye en el rendimiento de una edificación al momento de soportar un sismo.

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 5

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Verdadero.
2	b	Falso, la peligrosidad sísmica se refiere a la posibilidad de que suceda un fenómeno físico como consecuencia de un sismo.
3	a	Verdadero.
4	b	Falso, el riesgo sísmico depende directamente de la peligrosidad como de la vulnerabilidad sísmica.
5	b	Un 10 % de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años).
6	a	Verdadero.
7	b	Directas, indirectas, convencionales e híbridas.
8	a	Verdadero.
9	d	El análisis estadístico no corresponde un dato de entrada o <i>inputs</i> .
10	b	Falso, los métodos mecánicos, se basan en algún parámetro el cual representa el comportamiento de la estructura frente a un sismo, por ejemplo, la deriva máxima entrepiso o la ductilidad (vulnerabilidad calculada).

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 6

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Verdadero
2	b	Falso, para que una estructura sea considerada como sismorresistente, esta debe presentar un funcionamiento adecuado durante su vida útil, además, un buen desempeño ante eventos sísmicos de magnitud
3	a	Verdadero
4	a	Verdadero
5	b	Falso, lo recomendable es tener una estructura con geometría simple, regular o simétrica
6	b	Que no sea mayor a 4 y que ninguna exceda los 30 m
7	c	15 %
8	c	70 %
9	a	Verdadero
10	a	Verdadero

[Ir a la autoevaluación](#)

## Autoevaluación 7

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Verdadero
2	d	La evaluación post evento, no se considera una de las tres actividades centrales del método de evaluación visual rápida sísmica de edificaciones.
3	a	Verdadero
4	a	DNK (no se conoce) y se debe asumir un tipo de suelo D.
5	a	Verdadero
6	a	Verdadero
7	b	Falso, los modificadores inciden de manera significativa en el rendimiento de una estructura ante un evento sísmico.
8	a	Verdadero
9	b	Falso, en este caso se deberá señalizar la edificación como insegura.
10	b	Existe una amenaza o condición insegura que obliga a restringir el uso de la edificación.

Ir a la  
autoevaluación



---

## 5. Referencias bibliográficas

---

Arya, A., Boen, T., & Ishiyama, Y. (2013). *Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction*. United Nations Educational. Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000229059>.

ATC-20-2. (2005). *Procedures for postearthquake safety evaluation of buildings and addendum*. <https://www.atcouncil.org/atc-20>.

ATC-20-3. (1997). *Case studies in rapid postearthquake safety evaluation of bulidings*. [https://store.atcouncil.org/index.php?dispatch=products.view&product\\_id=33](https://store.atcouncil.org/index.php?dispatch=products.view&product_id=33).

Blanco, M. (2012). *Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente*. 27(3), 71-84. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652012000300008](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000300008)

Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica.

Consejo Técnico de Uso y Gestión del Suelo. (2020). *Formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones*.

D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador*. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-03/010032419.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010032419.pdf)

Centro Nacional de Prevención de Desastres. (s.f.). *En el Cinturón de Fuego del Pacífico la actividad sigue siendo normal*. <http://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/en-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico-la-actividad-sigue-siendo-normal?idiom=es>

Redacción El Mercurio. (26 de julio de 2022). 332 viviendas afectadas y 286 réplicas tras el sismo de 5,2 en Carchi. [El Mercurio. https://elmercurio.com.ec/2022/07/26/carchi-sismo-viviendas-afectadas/?fbclid=IwAR3h5ZymC9x6g\\_Z8A2X4qQzBTS-AxRoXAtqYHeKU9aCohjxwEs15QGe69AA](https://elmercurio.com.ec/2022/07/26/carchi-sismo-viviendas-afectadas/?fbclid=IwAR3h5ZymC9x6g_Z8A2X4qQzBTS-AxRoXAtqYHeKU9aCohjxwEs15QGe69AA)

FEMA P-154. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema\\_earthquakes\\_rapid-visual-screening-of-buildings-for-potential-seismic-hazards-a-handbook-third-edition-fema-p-154.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_earthquakes_rapid-visual-screening-of-buildings-for-potential-seismic-hazards-a-handbook-third-edition-fema-p-154.pdf)

Grünthal, G. (2009). *Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98*. <https://web.ua.es/urs/sismosurs/Informes/EMS-98.pdf>

Herrera, R., Vielma, J., & Beneit, L. (2014). *Metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios: un estado del conocimiento*. [https://www.researchgate.net/publication/271643633\\_Capitulo\\_1\\_METODOLOGIAS\\_DE\\_EVALUACION\\_DE\\_VULNERABILIDAD\\_SISMICA\\_DE\\_EDIFICIOS\\_UN\\_ESTADO\\_DEL\\_CONOCIMIENTO](https://www.researchgate.net/publication/271643633_Capitulo_1_METODOLOGIAS_DE_EVALUACION_DE_VULNERABILIDAD_SISMICA_DE_EDIFICIOS_UN_ESTADO_DEL_CONOCIMIENTO)

IGEPN. (2011). *La informalidad en la construcción es el mayor riesgo en un terremoto*. <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/381-la-informalidad-en-la-construcci%C3%B3n-es-el-mayor-riesgo-en-un-terremoto>

IGEPN. (2021). *Mapa digital interactivo de peligro sísmico para Ecuador*. <https://www.igepn.edu.ec/mapas/sismicidad/mapa-peligro-sistmico.html>

IGEPN. (s.f.). *Peligro sísmico*. <https://www.igepn.edu.ec/peligro-sismico>

ICGC. (2011). *El origen del calor de la Tierra*. <http://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Geotermia/El-origen-del-calor-de-la-Tierra>.

IGM. (2017). *ATLAS: Sismo Ecuador, abril 2016*. <https://www.geoportalgm.gob.ec/portal/index.php/atlas-sismo-ecuador-16a/>

IGN. (s.f.). *Escala de intensidad macrosísmica*. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/SIS-Escala-Intensidad-Macrosismica.pdf>

- Kassem, M. M., Mohamed Nazri, F., & Noroozinejad Farsangi, E. (2020). The seismic vulnerability assessment methodologies: A state-of-the-art review. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 849-864. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.001>
- MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construcion/>
- MIDUVI. (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Imprenta. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>
- Paéz, D., Zabala, J., & Rodríguez, Y. (2017). *Piso blando, una falla común en el terremoto de Pedernales*. 19(1), 59-75.
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). *Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectro de diseño para la ciudad de Cuenca*. 94(1), 26.
- Rincón, O., & Sánchez, R. (2020). *Análisis sistemático de metodologías empleadas para la medición cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad sísmica de estructuras*. 16.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador* (Primera). Corporación editora nacional.
- Sage, F., Collot, J.-Y., & Ranero, C. R. (2006). Interplate patchiness and subduction-erosion mechanisms: Evidence from depth-migrated seismic images at the central Ecuador convergent margin. *Geology*, 34(12), 997. <https://doi.org/10.1130/G22790A.1>
- Sauter, F. (1989). *Introducción a la sismología*. Editorial tecnológica de Costa Rica.
- SGR. (2016). *Informe de situación No. 65; 16/05/2016; Terremoto 7,6°; Pedernales*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>

- SGR. (2018). *Glosario de términos de gestión de riesgos de desastres—Guía de consulta*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%C3%89RMINOS-DE-GESTI%C3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf>
- SGR. (2018). *Plan nacional de respuesta ante desastres*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/plan-de-respuesta/>
- SGR, PNUD, & ECHO. (2016). Capítulo 5.5. Inspección y Evaluación Rápida de Estructuras Post-Evento Sísmico. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56734.pdf>.
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*. Blackwell Publishing Ltd.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra* (Octava). Pearson Education.
- UNESCO. (1980). *Terremotos*. Editorial Blume. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000029442\\_spa/PDF/134251spao.pdf.multi\(nameddest=29442](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000029442_spa/PDF/134251spao.pdf.multi(nameddest=29442)
- USGS. (s.f.). *Earthquake Magnitude, Energy Release, and Shaking Intensity* | U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquake-magnitude-energy-release-and-shaking-intensity>
- Ventas, L. (26 de agosto de 2014). ¿Por qué el 90 % de los terremotos suceden en el Cinturón del Pacífico?. *BBC Mundo*. [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140826\\_ciencia\\_cinturon\\_fuego\\_pacifico\\_zona\\_mas\\_sismica\\_mundo\\_lv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140826_ciencia_cinturon_fuego_pacifico_zona_mas_sismica_mundo_lv)
- Vielma, J. (2014). *Contribuciones a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios*. <https://1library.co/document/zpkodoy-contribuciones-evaluacion-vulnerabilidad-sismica-edificios.html>
- Wegener, A., Anguita, F., & Pelayo López, F. (2018). *El origen de los continentes y océanos*. Crítica.
- Yön, B., Sayin, E., & Onat, O. (2017). Earthquakes and Structural Damages. En T. Zouaghi (Ed.), *Earthquakes—Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*. InTech. <https://doi.org/10.5772/65425>.