



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil / Construcciones Civiles

***Soluciones avanzadas para construcciones seguras y
resilientes ante movimientos telúricos.***

Johan Antonio Pin Molina

Leiria, Septiembre de 2018



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil / Construcciones Civiles

***Soluciones avanzadas para construcciones seguras y
resilientes ante movimientos telúricos.***

Johan Antonio Pin Molina

Disertación de Maestría realizada bajo la orientación de la Doctora Helena Bártolo, Profesor/Coordinador de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria, y coorientación del Doctor Patricio Domingues, Profesor adjunto de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria, y Mg. Carlos Villacreses, Decano/Profesor de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

Leiria, Septiembre de 2018.

Dedicatoria

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por ser esencial en mi vida, autor de mi destino, mi guía y auxilio en la hora de necesidad.

A mi padre el señor Justino Pin, y mi madre la señora Maritza Molina, por ser pilares en mi formación académica, profesional y personal, quienes junto a mis hermanos y toda mi familia, con mucho cariño, no han medido esfuerzos a la hora de brindarme su apoyo.

Y a todas aquellas personas que me han acompañado durante este largo camino para alcanzar mi título de Magíster.

Agradecimientos

En primer lugar a Dios, sin el cual nada sería posible.

A mis padres Justino y Maritza quienes, aunque los años pasen, no dejan de brindarme su apoyo en cada nueva etapa emprendida, quienes me enseñaron desde muy joven importantes valores morales y me han acompañado durante las diferentes etapas académicas que han acontecido en mi vida.

A mis hermanos, quienes han sido mis compañeros fieles durante toda mi vida.

A mis amigos y compañeros de estudio y profesión, los ecuatorianos Dámaso, Fabián, Johan Jairo y Daniel, y las portuguesas Marta y Carina, con quienes compartí toda mi etapa de estudios de Maestría en el extranjero, importantes personajes sin los cuales nada hubiese sido lo mismo.

A mis tutores tanto de Portugal como de Ecuador, por su constante entrega, paciencia y ayuda para la elaboración de este trabajo.

A algunas personas importantes, J.P.P.L, N.M.C., C.C.P.L, O.M.C.Z. y J.A.M.A. por su preocupación e insistencia que me sirvieron de motivación para la culminación de este proyecto.

Al Gobierno ecuatoriano, a la Senescyt (Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación), a la Universidad Técnica de Manabí y al Instituto Politécnico de Leiria, por el trabajo conjunto realizado como apoyo a esta etapa realizada para el desarrollo profesional.

En fin, a todas aquellas personas que me acompañaron en este caminar.

Resumen

Los desastres naturales ocurren con mayor frecuencia y gravedad como resultado del cambio climático, mientras que la expansión de los centros de población pone en riesgo a un mayor número de personas y bienes en cada evento. Entre 2004 y 2014, las pérdidas directas a nivel mundial por desastres naturales se estimaron en 1,4 billones de dólares estadounidenses. Si bien un desastre puede afectar a muchos residentes a la vez, lo más probable es que tenga efectos duraderos en los pobres y vulnerables que carecen de los medios para prepararse adecuadamente o recuperarse rápidamente.

El terremoto es uno de los fenómenos naturales que más terror y más daño ha provocado a la humanidad. Durante mucho tiempo el hombre ha luchado para controlar sus efectos y hoy en día existe mucha información que aunque no los eviten por completo, logrará prevenir daños incalculables.

Es común escuchar que los sismos son catástrofes naturales en relación a las cuales “poco o nada se puede hacer” refiriéndose esto a los devastadores efectos que puede provocar un sismo en apenas pocos segundos. Sin embargo, las catástrofes sísmicas no son catástrofes naturales sino catástrofes provocadas por las construcciones edificadas por el hombre. Frecuentemente es confundido el fenómeno que da origen al evento con las consecuencias que la mano del hombre propicia. Siendo así, si las consecuencias son resultado de la acción del hombre, significa que es posible reducir significativamente estas mismas consecuencias por la misma mano del hombre mediante construcciones menos vulnerables adaptadas a estos eventos, más resistentes en pro de la seguridad de las personas.

En síntesis, este trabajo de investigación pretende dar a conocer información esencial sobre los terremotos y algunos de los avances más recientes obtenidos a través de proyectos de investigación internacionales que desarrollaron soluciones para poder anticiparnos y prepararnos ante los eventos naturales, especialmente los terremotos, y que esta información esté disponible para todos aquellos interesados a través de una plataforma digital, con miras a la cooperación entre todos los intervinientes del sector de la construcción, y poblaciones en general, sobre esta problemática inminente.

Palabras clave: Avances sísmicos tecnológicos, Riesgo Sísmico, Vulnerabilidad, Construcciones resilientes, Plataforma virtual.

Abstract

Natural disasters happen more frequently and more seriously as a result of climate change, while the expansion of population centers puts at risk a greater number of people and goods in each event. Between 2004 and 2014, direct losses worldwide due to natural disasters were estimated at US \$ 1.4 billion. While a disaster can affect many residents at the same time, it is likely to have lasting effects on the poor and vulnerable people who lack the means to adequately prepare or recover quickly.

The earthquake is one of the natural phenomena that has caused more terror and more damage to humanity. For a long time man has struggled to control its effects and nowadays there is a lot of information that although they do not avoid them completely, will manage to prevent incalculable damages.

It is common to hear that earthquakes are natural catastrophes in relation to which "little or nothing can be done" referring to the devastating effects that an earthquake can cause in just a few seconds. However, seismic catastrophes are not natural catastrophes, are catastrophes caused by constructions built by man. Frequently, the phenomenon that gives rise to the event is confused with the consequences that the hand of man fosters. Thus, if the consequences are the result of human action, it means that it is possible to reduce significantly these same consequences by the same hand of man through less vulnerable constructions adapted to these events, more resistant in favor of the safety of people.

In summary, this research work aims to disseminate essential information about earthquakes and some of the most recent advances obtained through international research projects that developed solutions to anticipate and prepare ourselves for natural events, especially earthquakes. This information is available to all those interested through a digital platform, with a view to the cooperation between all the participants of the construction sector, and populations in general, on this imminent problem.

Keywords: Advanced Seismic Technologies, Seismic Risk, Vulnerability, Resilient Buildings, Virtual Platform.

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i>	(i) sismograma de un sismo local que llega a las estaciones jama, pisa y cota, ecuador. (d) localización epicentral de un sismo en ecuador mediante el método de triangulación.	8
<i>Figura 2.</i>	Relación magnitud/energía descargada según la escala sísmica de richter. Frecuencia de ocurrencia de terremotos según su magnitud.	9
<i>Figura 3.</i>	Interpretación de la separación del megacontinente pangea según la hipótesis de la deriva continental.	21
<i>Figura 4.</i>	Mapa que muestra la ubicación y movimiento de las placas tectónicas en la corteza terrestre.	22
<i>Figura 5.</i>	La falla de san andrés.	24
<i>Figura 6.</i>	Cinturón de fuego del pacífico.	27
<i>Figura 7.</i>	Placas tectónicas del planeta tierra y anillo de fuego del pacífico,	27
<i>Figura 8.</i>	Terremotos en el cinturón de fuego del pacífico en el año 2016.	29
<i>Figura 9.</i>	Terremotos en el cinturón de fuego del pacífico en el año 2017.	30
<i>Figura 10.</i>	Terremotos en el cinturón de fuego del pacífico en el año 2018.	30
<i>Figura 11.</i>	Ubicación del lago baikal	32
<i>Figura 12.</i>	Grieta en el valle del rift de kenia.	33
<i>Figura 13.</i>	Losa plana y losa apoyada sobre vigas.	35
<i>Figura 14.</i>	Edificio en méxico construido con losas planas que fue parcialmente destruido en el terremoto de 7.1 grados en 2017.	35
<i>Figura 15.</i>	Aislamiento de base em edificios.	41
<i>Figura 16.</i>	Aisladores de caucho y plomo	42
<i>Figura 17.</i>	Sistema de asilamiento de base de caucho y conexiones de red flexibles.	43
<i>Figura 18.</i>	Sistema de aislamiento deslizante esférico.	44
<i>Figura 19.</i>	Sistema de aislamiento inteligente con cojines de aire.	45
<i>Figura 20.</i>	Sistema de aislamiento con placas oscilantes.	47
<i>Figura 21.</i>	Funcionamiento de las placas oscilantes en el aislador de base.	47
<i>Figura 22.</i>	Modelo a escala de un sistema de aislamiento cinético.	48
<i>Figura 23.</i>	Amortiguador viscoso.	52
<i>Figura 24.</i>	Funcionamiento de un amortiguador viscoso.	52
<i>Figura 25.</i>	Dispositivo de amortiguación por fricción.	53

<i>Figura 26.</i>	Mecanismo de un amortiguador de fricción.	53
<i>Figura 27.</i>	Amortiguador de rendimiento metálico convencional.	54
<i>Figura 28.</i>	U-shaped metallic-yielding damper	55
<i>Figura 29.</i>	Amortiguador de masa utilizado en el taipei 101.	56
<i>Figura 30.</i>	Disposición de anillos concéntricos para formar el manto sísmico	58
<i>Figura 31.</i>	Marcos de lentes hechos de nitinol	60
<i>Figura 32.</i>	(i) mejillones. (d) seda de araña.	61
<i>Figura 33.</i>	Catedral de transición, en christchurch, nueva zenada.	63
<i>Figura 34.</i>	Estructura principal de la catedral de transición constituida con tubos gigantes de cartón.	63
<i>Figura 35.</i>	Torre de madera de oakwood en londres, reino unido	64
<i>Figura 36.</i>	Hospital universitario adnan menderes.	66
<i>Figura 37.</i>	Refuerzo de estructuras con envolturas de frp	67
<i>Figura 38.</i>	Agrietamiento de paredes de mampostería por efecto de los terremotos.	69
<i>Figura 39.</i>	Proyecto exoeskeleton de refuerzo externo de edificaciones antiguas.	71
<i>Figura 40.</i>	La torre latinoamericana. Ciudad de méxico, méxico.	73
<i>Figura 41.</i>	Fotografías de la torre latinoamericana en pie después de los terremotos acontecidos en méxico en 1957 y 1985, y la torre en pie hasta el año 2017.	74
<i>Figura 42.</i>	Torre ejecutiva de pemex. Ciudad de méxico, méxico.	75
<i>Figura 43.</i>	Us bank tower. Los ángeles, california, estados unidos.	77
<i>Figura 44.</i>	La torre mayor. Ciudad de méxico, méxico.	78
<i>Figura 45.</i>	Sistema de amortiguadores sísmicos usados en la estructura de la torre mayor	79
<i>Figura 46.</i>	Torre taipei 101, taipei, taiwan.	80
<i>Figura 47.</i>	Ubicación del amortiguador de masa en la torre.	81
<i>Figura 48.</i>	Titanium la portada. Santiago de chile, chile, 2010.	82
<i>Figura 49.</i>	Conformación de la estructura de la torre titanium la portada, vista en planta.	83
<i>Figura 50.</i>	Disipadores sísmicos utilizados en la torre titanium.	83
<i>Figura 51.</i>	La gran torre santiago. Santiago de chile, chile.	84
<i>Figura 52.</i>	Núcleo de hormigón de la torre santiago.	85
<i>Figura 53.</i>	Logotipo oficial del software wordpress.	91
<i>Figura 54.</i>	Logotipo de presentación de la plataforma digital seismicknowledge	95
<i>Figura 55.</i>	Logotipo compacto de la plataforma digital seismicknowledge	96

<i>Figura 56.</i>	Primera visualización del sitio seismicknowledge	96
<i>Figura 57.</i>	Visualización de la pestaña “página principal”	97
<i>Figura 58.</i>	Visualización de la pestaña “sobre nosotros!”	98
<i>Figura 59.</i>	Visualización de las publicaciones ordenadas alfabéticamente al ingresar al menú “todas las entradas”	99
<i>Figura 60.</i>	Visualización de la lista desplegada al posicionarse sobre la pestaña “todas las entradas”	99
<i>Figura 61.</i>	Encabezado y contenido de las publicaciones.	101
<i>Figura 62.</i>	Referencias bibliográficas, categorías y etiquetas de las publicaciones.	102
<i>Figura 63.</i>	Mapas insertados en las publicaciones	103
<i>Figura 64.</i>	Comentarios en las publicaciones.	104
<i>Figura 65.</i>	Hipervínculos en las publicaciones.	104
<i>Figura 66.</i>	Widget “calendario”	105
<i>Figura 67.</i>	Widget “buscar”	106
<i>Figura 68.</i>	Widget “earthquake monitor”	106
<i>Figura 69.</i>	Widget “entradas recientes”	107
<i>Figura 70.</i>	Widget “archivos”	107
<i>Figura 71.</i>	Widget “categorías”	108

Lista de tablas

<i>Tabla 1.</i>	Escala sísmica modificada de mercalli.	10
<i>Tabla 2.</i>	Relación intensidad-magnitud de los sismos	11

Lista de siglas

CMS	Content Management System (Sistema de Gestión de Contenidos)
CSIS	Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España
DDR	Reducción del Riesgo de Desastres
EEW	Earthquake Early Warning (Alerta Temprana de Terremoto)
EE.UU.	Estados Unidos
ESA	European Spacial Agency (Agencia Espacial Europea)
FRP	Plástico Reforzado con Fibras
GEO	Group on Earth Observation (Grupo de Observación de la Tierra)
GEOSS	Sistema de Sistemas de Observación Global de la Tierra
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
M3	Magnitud 3
MYD	Metallic-yielding dampers (Amortiguadores de rendimiento metálico)
NASA	Nacional Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio)
OMM	Organización Meteorológica Mundial
Onda P	Onda Principal
Onda S	Onda Secundaria
SEO	Search Engine Optimization (Optimización de Motor de Búsqueda)
UE	Unión Europea
UPS	Uninterrupted Power System (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)
USGS	United States Geological Survey (Servicio de Inspección Geológica de los Estados Unidos)
WP	WordPress

Índice

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.	2
1.2. Estructura del proyecto.	3
2. SISMOS Y TERREMOTOS	5
2.1. Los sismos	5
2.1.1. ¿Cómo se localiza un terremoto?	7
2.1.2. ¿Cómo se mide un terremoto?	8
2.1.3. ¿Qué sucede después de un terremoto?	11
2.1.4. ¿Aumenta el número de terremotos cada año?	12
2.1.5. El cambio climático y los terremotos	13
2.2. Monitoreo Sísmico	14
2.2.1. Equipos de monitoreo sísmico	15
2.2.2. GPS como herramienta de monitoreo sísmico	15
2.2.3. GEO y GEOSS	18
2.3. Sismología y tectónica de placas	19
2.3.1. Principales fallas tectónicas del planeta	23
2.3.1.1. Falla de san andreas	24
2.3.1.2. Cinturón de fuego del pacífico	25
	xix

2.3.1.3.	Lago kivu	31
2.3.1.4.	Zona del rift de baikal	31
2.3.1.5.	La falla de suswa	32
2.4.	Hacer frente a los terremotos	33
2.4.1.	Riesgo Sísmico	33
2.4.2.	Vulnerabilidad: Errores del pasado	34
2.4.3.	Apoyo de la Unión Europea en la Reducción de Riesgo de Desastres	36
2.4.4.	Chile como ejemplo de reducción de riesgo sísmico	37
2.4.5.	Resiliencia en estructuras	38
3.	SOLUCIONES CONTRA TERREMOTOS	40
3.1.	Tecnologías sísmicas inteligentes	40
3.1.1.	Aisladores de base	40
3.1.1.1.	Rodamientos de caucho y plomo	42
3.1.1.2.	Sistema de aislamiento deslizante esférico	44
3.1.1.3.	Sistema con cojinetes de aire	45
3.1.1.4.	Sistema de placas oscilantes. Aislamiento de base de alaska	46
3.1.1.5.	Sistema de aislador de base cinemático (kinematic base isolation system)	48
3.1.2.	Amortiguamiento en estructuras	49
3.1.3.	Dispositivos de amortiguación	50
3.1.3.1.	Amortiguadores viscosos	51
3.1.3.2.	Amortiguadores de fricción	52
3.1.3.3.	Amortiguadores de deformación o de rendimiento metálico (metallic-yielding dampers)	53
3.1.4.	El poder del péndulo: Amortiguador de masa sintonizado.	55
3.1.5.	Corazón de roca: Núcleo de hormigón.	56
3.1.6.	Capa de invisibilidad sísmica.	57
3.1.7.	Materiales novedosos	59
3.1.7.1.	Aleaciones de memoria de forma	59
3.1.7.2.	Biomateriales	61
3.1.7.3.	Cartón	62

3.1.7.4.	Madera	64
3.1.7.5.	Bricker	65
3.1.8.	Refuerzo con fibras	66
3.1.8.1.	Envolturas con fibra de carbono	67
3.1.8.2.	Papel tapiz sísmico	68
3.1.9.	Exoesqueleto	70
3.2.	Superando las dificultades sísmicas. Estructuras resilientes	71
3.2.1.	La Torre Latinoamericana. Ciudad de México, México, 1972.	72
3.2.2.	La Torre Ejecutiva Pemex. Ciudad de México, México, 1982.	75
3.2.3.	U.S. Bank Tower. Los Ángeles, Estados Unidos, 1989.	76
3.2.4.	Torre Mayor. Ciudad de México, México, 2003.	78
3.2.5.	La Torre Taipei 101. Taipei, Taiwan, 2004.	80
3.2.6.	Titanium La Portada. Santiago de Chile, Chile, 2010.	82
3.2.7.	La Gran Torre Santiago. Santiago de Chile, Chile, 2014.	84
4.	NOVEDAD: PLATAFORMA INFORMÁTICA	87
4.1.	¿Qué es una plataforma informática?	87
4.1.1.	Plataformas digitales	88
4.1.2.	Plataformas virtuales	88
4.1.3.	Plataformas web	89
4.1.4.	Importancia de una plataforma informática. Consideraciones.	89
4.1.5.	Características de la Plataforma	91
4.1.5.1.	Características de Wordpress	92
4.2.	Plataforma SeismicKnowledge	94
4.2.1.	Presentación del Website	95
4.2.2.	Interfaz gráfica	96
4.2.3.	Menú principal	97
4.2.3.1.	Página principal:	97
4.2.3.2.	¡sobre nosotros!:	98
4.2.3.3.	Todas las entradas:	98
4.2.4.	Publicaciones (Entradas)	100
4.2.5.	Formato de las publicaciones	100

4.2.5.1. Encabezado y contenido	100
4.2.5.2. Referencias bibliográficas, etiquetas e información del autor	101
4.2.5.3. Mapas	102
4.2.5.4. Comentarios	103
4.2.5.1. Hipervínculos	103
4.2.6. Complementos (Widgets)	105
4.2.6.1. Calendario	105
4.2.6.2. Buscador	105
4.2.6.3. Earthquake monitor	106
4.2.6.4. Entrada recientes	107
4.2.6.5. Archivos	107
4.2.6.6. Categorías	107
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS	109
5.1. Conclusiones	109
5.2. Recomendaciones para estudios futuros	110
BIBLIOGRAFIA	112
ANEXOS	123

1. Introducción

La tierra tiembla y esto es inevitable puesto que nuestro planeta está conformado por un conjunto de placas en permanente fricción y por ende acumulan tensión que luego liberan. Según el Servicio de Inspección Geológica de los Estados Unidos (USGS) los registros muestran que desde 1900 ha habido cada año en el mundo unos 18 terremotos “importantes” (con una magnitud de entre 7.0 y 7.9) y un “gran” terremoto” (de magnitud 8.0 o mayor) [1], los cuales son cada vez más devastadores influenciados por las alteraciones climáticas que sufre nuestro planeta y la propia mano del hombre.

Existen ciertas regiones del mundo con elevada actividad sísmica y volcánica, como es el caso de Japón, Indonesia y China en el continente asiático, así como también el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico” en el continente americano. Los terremotos y otros eventos naturales como las erupciones volcánicas amenazan la seguridad de los edificios, obras y otras infraestructuras. Siendo imposible prever la localización e intensidad de los terremotos, la mayoría de las víctimas humanas se debe al colapso de construcciones. En 2012 el ingeniero Iván González publicó en Guayaquil un trabajo [2] en que menciona que en el territorio ecuatoriano han ocurrido desde el año 1541 más de 37 terremotos con intensidad igual o mayor a VIII (incluyendo el más reciente evento de M7.8 ocurrido el 16 de abril de 2016) en la Escala Internacional de Mercalli, grado a partir del cual el evento se considera destructivo y los efectos dañinos sobre las estructuras son de consideración.

Raimundo Delgado y Mario Lopes, en su libro Sismos y Edificios [3], afirman que las consecuencias de las catástrofes sísmicas no son directamente el resultado de los eventos naturales sino catástrofes provocadas por las construcciones edificadas por el hombre, sin embargo, frecuentemente es confundido el fenómeno que da origen al evento con las consecuencias que la mano del hombre propicia. Es decir, si las consecuencias son resultado de la acción del hombre, es posible reducirlas significativamente mediante construcciones adaptadas a estos eventos en pro de la seguridad de las personas. Nuestro nivel de riesgo sísmico está dado en función de las características del terremoto (amenaza) y nuestro grado de vulnerabilidad frente a este fenómeno, de tal manera que para disminuir el riesgo es necesario reducir el grado de vulnerabilidad, ya que no podemos impedir la generación de un terremoto.

La infraestructura construida es el sector más importante, no solo en términos económicos, sino también ambientales y sociales. En el interior de los edificios que se realizan las principales actividades sociales y económicas es donde la población permanece la mayor parte de su vida, por tanto es importante una prevención efectiva fundamental basada sobre todo en construcciones que permitan mantener buenos niveles de desempeño a lo largo de su vida útil. Por otro lado, los edificios más antiguos, predominantemente caracterizados por bajo desempeño energético y vulnerabilidad sísmica, normalmente precisan de medidas de renovación. En esa perspectiva, Europa ha desarrollado diversas iniciativas y estrategias destinadas a tornar el sector de la construcción en uno de los más competitivos e innovadores, enfocándose esencialmente en la persecución de objetivos ambientales y energéticos de acuerdo con la Estrategia Europa 2020 [4] y el Acuerdo Europeo 2050 [5], de manera de garantizar la seguridad de los edificios tanto en condiciones normales, como en la ocurrencia de eventos excepcionales como terremotos.

1.1. Objetivos.

Este trabajo está orientado a la divulgación de las estrategias de mitigación de los efectos de los terremotos, comprendiendo el comportamiento estructural de los edificios y otras infraestructuras en la eventualidad de ocurrencia de estos fenómenos, conocer los desarrollos científicos y tecnológicos más recientes, y las metodologías innovadoras, con el objetivo de mejorar la seguridad y resiliencia de los edificios, aumentando la esperanza de vida de las poblaciones ante estos eventos extremos.

Con este trabajo de investigación se pretende:

1. Desarrollar una plataforma informática dinámica (web-based information platform) con información sobre los últimos desarrollos científicos y tecnológicos relacionados con la resiliencia sísmica, vulnerabilidad y mitigación del riesgo sísmico. Este Website permitirá diseminar el conocimiento sobre los más recientes estudios desarrollados en todo el mundo (usando tecnologías experimentales) así como las mejores prácticas para implementar un ambiente construido más “seguro, resiliente y sustentable”. Esta información estará disponible en tres idiomas: español, inglés y portugués.

2. Incentivar el uso de materiales más sustentables y resilientes, métodos y tecnologías de construcción apropiados, así como la implementación de soluciones de rehabilitación o refuerzo para la adaptación sísmica de edificios más antiguos.
3. Promover un mejor conocimiento de sistemas sismo-resistentes innovadores para estructuras complejas, cuya implementación es esencial particularmente para el patrimonio arquitectónico y de importancia operativa de índole estratégico como centros de operaciones emergentes, hospitales, escuelas, etc.
4. Promover un mayor interés y cooperación de todos los intervinientes en el sector de la construcción, y de las poblaciones en general, particularmente en relación a los responsables de las políticas de cohesión para el desarrollo sostenible, en la sensibilización y preparación para el riesgo sísmico. En la mitigación de los desastres naturales es fundamental desarrollar la resiliencia y los códigos de buenas prácticas para edificios construidos en zonas de riesgo sísmico.

1.2. Estructura del proyecto.

El presente trabajo está desarrollado en cinco capítulos:

El Capítulo 1 tiene un carácter introductorio donde se define el encuadramiento, los objetivos y la organización del trabajo.

El Capítulo 2 consiste en una recopilación bibliográfica de información relevante sobre los sismos y terremotos: qué son, cómo se miden, cómo se localizan, el monitoreo sísmico, principales zonas sísmicas del mundo, qué es el riesgo sísmico y la vulnerabilidad y maneras de contrarrestar los efectos de los sismos o de protegernos de ellos.

El Capítulo 3 aborda de manera detallada los avances tecnológicos desarrollados para la mitigación de los efectos de los terremotos y ejemplos de grandes estructuras que aunque están ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico, aprovechando estas tecnologías, son un ícono de la ingeniería y la construcción resiliente.

En el Capítulo 4 se describe, de manera detallada, el desarrollo y utilización de una plataforma informática dinámica que permite al lector conocer, en tiempo real, sobre los más recientes eventos sísmicos ocurridos en el mundo, así como información sobre las tecnologías más innovadoras para la resiliencia sísmica de las edificaciones.

Finalmente, en el Capítulo 5, son hechas las principales conclusiones y consideraciones finales, de acuerdo con toda la información y los resultados obtenidos de la presente disertación, así como recomendaciones para desarrollos futuros.

2. Sismos y Terremotos

2.1. Los sismos

Los temblores o terremotos (sismos más grandes), también conocidos como movimientos telúricos debido a su relación con la Tierra como planeta, son el resultado de la ruptura de las rocas, liberando súbitamente energía en un punto determinado de la corteza terrestre. Esta energía se transmite en forma de ondas sísmicas, que se propagan alejándose de su punto de origen, de igual manera que en un estanque los hacen las olas alejándose del punto donde arrojan una piedra. Se denomina hipocentro al lugar bajo la tierra donde se genera el sismo, y epicentro su proyección hacia la superficie. [6]

El terremoto es uno de los fenómenos naturales que más terror y más daño ha provocado a la humanidad. La lucha del hombre por lograr su control ha sido dura, sin embargo hoy en día existe mucha información que aunque no los eviten por completo, logrará prevenir daños incalculables. Los terremotos son causados por (i) la actividad volcánica aunque no son tan comunes, (ii) el hundimiento de cavidades subterráneas que no liberan mucha energía por lo que no son de gran importancia o (iii) los desplazamientos tectónicos de la corteza terrestre, que según los investigadores están de acuerdo en que los continentes están continuamente chocando unos contra otros y en que estos cambios de posición son causa de los mayores terremotos del mundo. En los sitios donde ocurren estos movimientos, muchos kilómetros cúbicos de roca son drásticamente deformados, acumulándose la energía como en un resorte tensado. [7]

Muchos se preguntan si será posible predecir terremotos. “No se conocen con precisión los parámetros que interactúan para originar un terremoto y cuantificar en forma temporal la energía que se acumula en las placas tectónicas terrestres y cuándo se va a romper la roca para liberar esa energía en forma elástica” indicó Mario Araujo, jefe del Departamento de Investigaciones Sismológicas del Instituto Nacional de Prevención Sísmica de Argentina, en el 2010 en una entrevista para el periódico digital La Nación. [8]

Actualmente no existe ningún método capaz de detectar dónde y cuándo se producirá un terremoto debido al comportamiento no lineal y bastante caótico que tienen los movimientos sísmicos. Emilio Carreño, director de la Red Sísmica Nacional de España

explica que “Cuando se produce un terremoto, lo preceden otros muchos fenómenos pero se ha comprobado que no siempre se dan todos. En la actualidad es imposible medir al mismo tiempo tantos parámetros sin la garantía de que se vaya a producir, de ahí la dificultad para detectarlos con antelación”. De la misma manera la investigadora del CSIS (Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España), María José Jiménez, “Es posible pronosticar dónde serán más severos pero no predecirlos individualmente. Lo que sí podemos hacer es minimizar al máximo sus efectos desarrollando sistemas para la respuesta rápida”. [9]

Desde hace mucho tiempo los científicos trabajan en el desarrollo de nuevas tecnologías y mecanismos para ajustar la predicción de eventuales sismos pero estamos aún muy lejos de predecir un terremoto individualmente. Desde hace más de una década los chinos han utilizado granjas experimentales donde los animales detectan vibraciones de baja densidad que preceden a los temblores, pero dicho método ha dado escasos resultados, parece ser que la posibilidad de predecir un terremoto es lejana. La NASA trabaja en tecnologías basadas en satélites que indican la actividad sísmica pero podrían pasar años antes de desarrollar un sistema eficaz. Siendo así, la única manera de prevenir daños es construir con materiales sismo-resistentes y evitar edificar en zonas de riesgo sísmico. Para ello en la actualidad existen mapas que facilitan a los ingenieros y arquitectos información sobre lugares en los que es posible construir siguiendo unos parámetros determinados para que las edificaciones puedan resistir movimientos sísmicos.

Es común escuchar que los sismos son catástrofes naturales en relación a las cuales “poco o nada se puede hacer” refiriéndose esto a los devastadores efectos que puede provocar un sismo en apenas pocos segundos. Nada podía estar más errado. La gran mayoría de las consecuencias de los sismos no son directamente “naturales”. Citando el ejemplo que usa Raimundo Delgado en el primer capítulo del libro “Sismos y edificios” (2008):

“Por ejemplo, ¿qué le ocurre a alguien que está en medio de un campo de fútbol durante un sismo violento? Podrá eventualmente perder el equilibrio y caer al suelo, pero estando alejado de construcciones u objetos que le puedan caer encima probablemente nada más le pasará. Lo que causa la mayoría de las víctimas y pérdidas económicos durante los sismos violentos son los daños y colapsos de las construcciones, redes de infraestructuras y otros elementos, no son los sismos propiamente”. [8]

Lo que significa que las catástrofes sísmicas no son catástrofes naturales sino catástrofes provocadas por las construcciones edificadas por el hombre, sin embargo, frecuentemente es confundido el fenómeno que da origen al evento con las consecuencias que la mano del hombre propicia. Sin embargo se las consecuencias son resultado de la acción del hombre, significa que es posible reducir significativamente estas mismas consecuencias por la misma mano del hombre mediante construcciones adaptadas a estos eventos, más resistentes en pro de la seguridad de las personas.

2.1.1. ¿Cómo se localiza un terremoto?

Una de las maneras más sencillas para localizar un epicentro de un sismo es la triangulación. Este método, al igual que los otros, usan los diferentes tipos de ondas que generan los sismos, las mismas que viajan a distintas velocidades, por lo que arriban a las estaciones sísmicas a diferentes tiempos.

Las llamadas ondas P o primarias viajan más rápido que cualquier otro tipo de onda sísmica y en consecuencia llegan primero a cualquier estación. Las ondas S o secundarias viajan aproximadamente a $2/3$ de la velocidad de las ondas P. Conforme las estaciones se alejan de la fuente de las ondas, la diferencia en el tiempo de arribo de las ondas P y S se incrementa. En la [Figura 1 \(i\)](#) se muestra un ejemplo de un sismo en Ecuador, en el cual se utilizan tres estaciones sísmicas. Se nota claramente la diferencia de tiempo que tiene cada arribo de la onda P y S.

El tiempo entre el arribo de la onda P y la onda S es medido en cada estación. Esta diferencia está relacionada con la distancia entre la estación y el sismo, de la misma manera como se determina la distancia entre un relámpago y un trueno por la diferencia de llegada entre la luz y el sonido. Tomando como centro cada estación se dibuja un círculo de radio igual a la distancia encontrada y el punto de intersección será la ubicación del sismo como se muestra en la [Figura 1 \(d\)](#).

Este procedimiento permite determinar únicamente el epicentro de un sismo superficial, es decir, menos de 30 km de profundidad. Lo anteriormente descrito es un procedimiento rápido y manual. Cuando se cuentan con más estaciones se recurren a programas más sofisticados que entre otras cosas consideran las características del medio por el que viajan. [6]

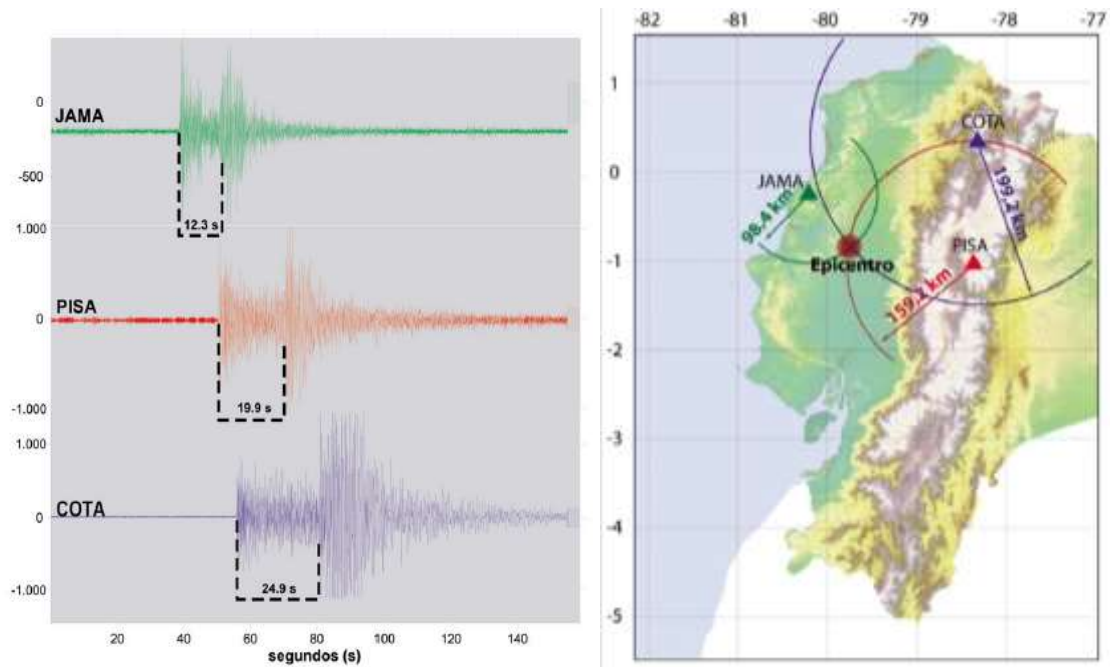


Figura 1. (i) Sismograma de un sismo local que llega a las estaciones JAMA, PISA y COTA, Ecuador. (d) Localización epicentral de un sismo en Ecuador mediante el método de triangulación.

[6]

2.1.2. ¿Cómo se mide un terremoto?

Hasta hace poco los científicos medían los seísmos utilizando la **Escala de Richter**, desarrollada por los sismólogos americanos Charles F. Richter y Beno Gutenberg en 1935 y 1940. Esta escala logarítmica es utilizada para medir la magnitud o tamaño de un terremoto donde cada número representa una valoración cuantitativa indirecta de la energía liberada en el foco o hipocentro del sismo. Se dice que la escala es logarítmica porque cada número representa una intensidad diez veces mayor que la anterior, Por ejemplo, un sismo de magnitud 4 sería 10 veces más grande y produciría un desplazamiento 10 veces mayor que otro de magnitud 3, y liberaría aproximadamente 32 veces más energía (Figura 2).

Según esta escala de magnitudes, la magnitud de los sismos es cercana a cero y la correspondiente a los sismos más grandes registrados sobrepasa los 8.9 grados. Hasta la fecha el terremoto más fuerte registrado ocurrió en la ciudad de Valdivia, Chile, el 22 de mayo de 1960 alcanzando una magnitud de 9.5.



Figura 2. Relación Magnitud/Energía descargada según la Escala Sísmica de Richter. Frecuencia de ocurrencia de terremotos según su magnitud.

Fuente: <http://www.geologiadesegovia.info/terremotos-magnitud-intensidad/>

Con el pasar del tiempo se descubrió que la escala de Magnitudes de Richter no era la más apropiada para valorar sismos de gran intensidad debido a que proporcionada mediciones de magnitudes similares para sismos que claramente tenían diferentes intensidades. A partir de la Escala de Richter, Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori introducen en 1979 la **Escala Sismológica de Magnitud de Momento** que, a diferencia de la anteriormente mencionada, no se satura cerca de valores altos, es decir que no tiene un valor límite por encima del cual todos los terremotos más grandes reflejen magnitudes similares.

La ventaja de la Escala sismológica de magnitud de Momento es que esta escala coincide y continúa con los parámetros de la escala sismológica de Richter pero corrige los errores debido a intensidades muy altas, resumiendo en un único número el momento sísmico (que relaciona parámetros físicos como la dimensión de ruptura sísmica y la energía total liberada). Por esta razón es actualmente la más utilizada por los sismólogos para medir y comparar terremotos de grandes proporciones, el Centro Nacional de Información Sísmica (National Earthquake Information Center), dependiente del Servicio Geológico de los Estados Unidos, usa esta escala para la medición de terremotos con magnitudes mayores a 6.9.

La intensidad de un terremoto expresa los efectos destructivos en el lugar donde se evalúa, la escala más conocida es la **Escala Sísmológica Modificada de Mercalli** (Tabla 1), que utiliza números romanos para calificar un terremoto basado en tres criterios: i) cómo es percibido por las personas, ii) por sus efectos sobre las edificaciones e infraestructuras, iii) sus efectos sobre el terreno y el medioambiente. Se ordena de menor a mayor de acuerdo al grado de destrucción, va desde 1 cuando es detectable sólo por instrumentos de medición muy sensibles, hasta 12 cuando se determina como catástrofe o destrucción casi total.

Tabla 1. *Escala Sísmica Modificada de Mercalli.*

Escala Sísmica Modificada de Mercalli	
I. Imperceptible	Microsismo, detectado por instrumentos
II. Muy Leve	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III. Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV. Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos
VI. Fuerte	Sentido por todos
VII. Muy Fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
VIII. Destructivo	Daños considerables en estructuras
IX. Muy Destructivo	Daños graves y pánico general.
X. Desastroso	Destrucción en edificios bien construidos
XI. Muy Desastroso	Casi nada queda en pie
XII. Catastrófico	Destrucción total

Nota: Información tomada de la Publicación “Sismología y Tectónica de Placas” de Juan Manuel Espíndola Castro y Zenón Jiménez. Biblioteca Digital del ILCE, México. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/Colecciones/index.php?clave=cTiEspaci2&pag=8>.

Se establece además una relación teórica entre la escala de Richter o de Momentos, que miden la magnitud, y la escala modificada de Mercalli, que mide la intensidad (Tabla 2) considerando eventos históricos sucedidos y asociando el daño que en teoría podría causar un sismo con magnitud X en una población medianamente urbanizada.

Tabla 2. *Relación intensidad-magnitud de los sismos*

Intensidad	Magnitud
I	1 a 2
II	2 a 3
III	3 a 4
IV	4
V	4 a 5
VI	5 a 6
VII	6
VIII	6 a 7
IX	7
X	7 a 8
XI	8
XII	Mayor a 8

Nota: Información tomada de publicación en el sitio web The Geography Site. Recuperado de: <http://www.geography-site.co.uk/pages/physical/earth/richt.html>. Acceso: domingo 17 de junio de 2018.

2.1.3. ¿Qué sucede después de un terremoto?

Después de un terremoto importante, llegarán eventualmente las que son siempre más pequeñas que el evento principal, sin embargo pueden ser tan fuertes como un nuevo terremoto por lo que pueden añadir daños gravísimos a las zonas afectadas. Estas réplicas ocurren en las secciones de la falla que no se deslizaron, o que no aliviaron por completo la tensión acumulada o por el contrario donde este estrés aumentó.

Si la intensidad de una supuesta réplica supera a la del anterior temblor, no se la considera como tal réplica, sino como un nuevo terremoto principal. El primer terremoto comienza a ser considerado entonces como sismo premonitor [10]. Las réplicas suelen suceder en el área de ruptura de la falla y en otras fallas que en su momento fueron afectadas por el movimiento principal.

Los científicos han demostrado que hay menos posibilidades de que se produzcan réplicas a medida que avanza el tiempo. Cuando pasan 24 horas del primer terremoto, las posibilidades de que se produzca otro movimiento se reducen a la mitad. Cuando pasan diez días, la posibilidad es de una entre diez.

2.1.4. ¿Aumenta el número de terremotos cada año?

A través del tiempo se ha considerado que con el pasar de los años ha habido un incremento en la actividad sísmica global, sin embargo, en realidad estos terremotos forman parte de un patrón constante que se ha visto desde los 1900, cuando comenzaron los registros geológicos.

Según la USGS los registros muestran que desde 1900 ha habido cada año en el mundo unos 18 terremotos “importantes” (con una magnitud de entre 7.0 y 7.9) y un “gran terremoto” (de magnitud 8.0 o mayor) [1].

Los expertos afirman que no ha habido más terremotos en el mundo pero que, lo que sí es un hecho, es que estos fenómenos son cada vez más devastadores. Pero no porque la tierra se sacuda más, sino por el incremento en la densidad de la población que vive en zonas de riesgo.

Uno de los factores de la percepción de que los terremotos están en aumento es que hace décadas las noticias demoraban más en llegar a las personas y un evento no era conocido sino hasta días o semanas después de ocurrido, sin embargo hoy en día, gracias a la internet, un fenómeno es conocido casi de inmediato de su ocurrencia.

Otra explicación podría ser también que en los últimos 25 años se han logrado detectar más estos fenómenos debido al incremento en el número de sismógrafos en el mundo y la mejora en la comunicación global. Según el USGS, en 1931 operaban en el mundo 350 estaciones. Hoy en día hay más de 4.000 sismógrafos y los datos recogidos viajan de manera sorprendentemente rápida vía satélite y a través del internet.

Es de indicar también que, según el Profesor Francisco Vidal Sánchez, sismólogo investigador del Instituto Andaluz de Geofísica de la Universidad de Granada, la creencia de que si en una zona de riesgo no han ocurrido movimientos de la tierra durante un largo periodo de tiempo es porque pronto ocurrirá un sacudimiento de gran magnitud, es errada.

La quiescencia - o falta de actividad sísmica - en una zona, no necesariamente significa que tiene que ocurrir un gran terremoto, porque un incremento o disminución en la actividad sísmica a menudo forma parte de la variación natural de la zona.

Por ahora, los científicos no tienen forma de saber si un aumento o disminución en la actividad sísmica de una zona conducirá a un gran terremoto o a un sismo de menor magnitud. Lo único cierto hoy en día es que un terremoto será más devastador en una zona más poblada que la zona afectada.

2.1.5. El cambio climático y los terremotos

La increíble frecuencia en la actividad sísmica llama poderosamente la atención, cuando estamos inmersos en una interminable sucesión de acontecimientos meteorológicos ocasionados por el cambio climático, que inevitablemente nos hacen reflexionar sobre su relación.

El vínculo podría ser más que una conjetura, pues de acuerdo a los planteamientos de la conferencia de Climate Forcing celebrada en Londres en septiembre de 2009, los terremotos podrían estar asociados con el cambio climático, como responsable de “sacar de balance y producir efectos y reacciones en la corteza terrestre”. [11]

Los cambios en el ambiente, según comenta Bill McGuire, del University College London (UCL) [12], no necesitan ser enormes para que tengan un efecto tremendo: se produzca una erupción volcánica, un terremoto o una reacción a nivel del mar. Según afirma McGuire: basta una mínima alteración en el ambiente para que se desencadene una reacción.

En abril de 2011, un estudio geológico difundido en Australia reiteró la posibilidad de que el cambio climático fuese potencialmente responsable a largo plazo del incremento en el movimiento de las placas tectónicas de la tierra y provocar terremotos. El geólogo australiano Giampiero Laffaldano, de la Universidad de Copenhague, señaló que gracias a dicho informe se reconoció por primera vez que el cambio climático puede actuar como una fuerza e influir en dicho movimiento de placas.

De ser así, la conexión entre océanos, lluvias, corteza terrestre, erupciones volcánicas, tsunamis y terremotos, influenciados por la fuerza del cambio climático, constituyen en verdad una amenaza inusual, que sin duda, debe hacernos reflexionar sobre la fragilidad a la que hemos llevado al equilibrio natural necesario para la vida en la tierra.

De allí nace la iniciativa del programa Climate Smart Cities (CSC) [13], que considera que las ciudades son los lugares donde actualmente vive la mayor parte de la población mundial y que son también los lugares donde se encuentran muchas de las instituciones y

gran parte de la infraestructura, reconociendo que la acción climática en muchas ciudades depende en parte de la presencia de un caso de acción económico claro y atractivo. El programa CSC ha sido pionera en el desarrollo de nuevos enfoques que examinan el argumento económico para que las ciudades actúen sobre el cambio climático, logrando ciudades con resiliencia climática y, por ende, trabajando también en la resiliencia estructural de sus edificaciones.

2.2. Monitoreo Sísmico

Conociendo que los terremotos son eventos imparables con los que estamos destinados a cargar, el monitoreo sísmico es la interpretación de los estudios de la actividad sísmica de la tierra. Cualquier ubicación geográfica del planeta sufre este fenómeno de la naturaleza y estas regiones pueden ser consideradas de alta o baja sismicidad. En América latina el 70% del territorio está comprendido por alto riesgo sísmico.

Existen tres principales objetivos para los cuales se implementan redes sísmicas de monitoreo: para emitir avisos, establecer las características de la sismicidad de una región, e investigar el interior de la Tierra.

1. **Emitir avisos.** La función de los avisos es dar una información rápida y precisa de dónde ocurrió el evento para que los organismos encargados de la emergencia den prioridad a esa zona.
2. **Características de la sismicidad de una región.** Se busca obtener una base de datos que permita evaluar el peligro sísmico de una región, al definir las áreas más propensas a sufrir aceleraciones importantes producidas por el paso de las ondas sísmicas. Debido al grado de aceleración que impriman las ondas sísmicas, se tendrán los efectos en las edificaciones. Estos datos son importantes para el diseño de estructuras y para realizar reforzamiento estructura en aquellas ya construidas.
3. **Investigar el interior de la Tierra.** Permitirá conocer la estructura interna de la tierra y comprender su funcionamiento.

2.2.1. Equipos de monitoreo sísmico

Para un monitoreo con precisión se necesitan al menos tres estaciones que registren el evento y para esto se utilizan 2 tipos de instrumentos, los acelerógrafos y los sismómetros. Los primeros registran la aceleración del suelo y los segundos miden la velocidad.

Los **acelerógrafos** son usados fundamentalmente para registrar movimientos fuertes, que están relacionados con sismos grandes o terremotos. Se usan especialmente en zonas pobladas para ver el comportamiento del suelo sobre el que se asientan las ciudades. Ciertamente los acelerógrafos no son usados convencionalmente para la localización de los sismos. Sin embargo, el desarrollo tecnológico presente lo ha permitido y de hecho, la mayoría de los sistemas de alerta temprana están basados en el uso de este tipo de instrumentos. La determinación de la magnitud usando registros de aceleración también ha sido implementada por muchos otros investigadores. [14, 15, 16, 17, 18]

En cambio los **sismómetros** pueden detectar sismos de cualquier magnitud. Debido a que los sismómetros son sensibles en un rango más amplio, estos equipos son los que frecuentemente se emplean en el monitoreo sísmico, y dependiendo de la frecuencia de onda que registran son clasificados en categorías, siendo los más utilizados los sensores de banda ancha y banda muy ancha.

Los sensores de “banda ancha” son muy populares actualmente ya que proveen una información sísmica completa debido a que pueden registrar ondas en un rango mayor de frecuencias, lo que ayuda a estudios sismológicos más detallados permitiendo dar una visión más completa del fenómeno. Los sensores de “banda muy ancha” tienen un mayor rango de registro y se emplean principalmente en estudios sismológicos globales, estos sensores son mucho más costosos y debido a su sensibilidad los lugares de instalación deben estar en la mayoría de los casos bajo tierra en roca firme. [19]

2.2.2. GPS como herramienta de monitoreo sísmico

A fines de la década de 1980, Ken Hudnut, un estudiante graduado de la Universidad de Columbia que estudia tectónica de placas en el sur de California, comenzó a experimentar

con una nueva tecnología, llamada Sistema de Posicionamiento Global (GPS), como una forma de medir el movimiento lento e incesante de las placas de la corteza terrestre.

En 1987, la USGS comenzó a utilizar el GPS para recopilar datos de posición precisos sobre el terreno en áreas propensas a terremotos en California, incluso a lo largo de la falla de San Andrés y alrededor de la bahía de San Francisco.

Luego del terremoto de Loma Prieta de magnitud 7.1 que azotó San Francisco en 1989, Hudnut y algunos de sus colegas investigadores de la USGS recolectaron datos GPS y los compararon con datos registrados antes de terremoto para revelar la dirección y velocidad de los movimientos de la superficie. La información les permitió inferir el patrón de deslizamiento en el plano de falla que se había roto muy bajo tierra. Con estos resultados, los geofísicos han desarrollado métodos para describir la deformación de la corteza relacionada con las fallas utilizando tres tipos de movimientos: intersísmico, cosísmico y post-sísmico. EL intersísmico es el movimiento lento y largo que tiene lugar durante largos intervalos durante los terremotos y evidencia la acumulación y deformación que ocurre en la corteza proporcionando pistas de dónde podrían ocurrir los terremotos. El cosísmico es el movimiento rápido que ocurre durante el terremoto. El post-sísmico que ocurre en los días o meses posteriores de un terremoto, ya que la corteza se ajusta y vuelve a un estado relativamente estable. Con el GPS estos movimientos pueden medirse con la precisión de unos pocos milímetros.

Mientras que los extensómetros, zanjas y otros enfoques proporcionan información útil sobre el movimiento de la corteza, solo el GPS podría proporcionar a los científicos mediciones precisas de los desplazamientos tanto a pequeña como a gran escala con una precisión impresionante.

Más recientemente, las técnicas continuas de GPS también han permitido a los científicos estudiar un tipo diferente de movimiento cortical: movimiento de deslizamiento lento a lo largo de una falla. El movimiento de deslizamiento lento es un movimiento episódico a través de una falla que libera energía en escalas de tiempo de horas a semanas en lugar de segundos a minutos, como ocurre en los terremotos.

Los terremotos repentinos pueden ser catastróficos, sin embargo, las rupturas mucho más lentas liberan energía de forma más segura. Un investigador financiado con fondos europeos, Marco Maria Scuderi, está identificando cómo se producen estas lentas rupturas

poco entendidas, sus señales precursoras y cómo están relacionadas con terremotos rápidos, información que algún día podría ayudar a desarrollar sistemas de alerta temprana.

Los científicos saben que los terremotos "dinámicos" detrás de los desastres son el resultado de las rápidas rupturas en la corteza terrestre. Por el contrario, los terremotos de "deslizamiento lento" son apenas perceptibles y no causan daños. Sin embargo, los terremotos lentos a menudo preceden a los grandes terremotos. Saber más sobre estos y sus vínculos con los terremotos rápidos podría ayudar a advertir sobre un desastre inminente. [20]

Un área que se encuentra experimentando una variedad de movimientos de deslizamiento lento es la Zona de Subducción Hikurangi en la costa de la Isla Norte de Nueva Zelanda, donde la Placa del Pacífico se sumerge debajo de la Placa Australiana.

Nueva Zelanda tiene una red de más de 150 estaciones de referencia GPS, llamadas GeoNet, dispuestas en sus dos islas. Laura Wallace, geofísica del Instituto de Geofísica de la Universidad de Texas y anteriormente de GNS (Science en Nueva Zelanda), y sus colegas, analizaron los datos recopilados en grandes porciones de la Isla Norte durante más de una década. El equipo de Wallace informó en 2010 en el Journal of Geophysical Research que los datos de GPS revelaron eventos de deslizamiento lento que ocurren aproximadamente una vez cada cinco años, que duran hasta un año, a profundidades de 30 a 50 kilómetros en el extremo sur de la zona de subducción de Hikurangi. Por el contrario, en el extremo norte de la zona Hikurangi, los datos revelaron eventos de deslizamiento lento a profundidades de 5 a 15 kilómetros debajo del lecho marino (y posiblemente incluso menos profundo) que ocurren cada año o dos, a menudo en una o dos semanas.

"Si la falla en estos eventos ocurriera en un solo terremoto, estaría buscando algo equivalente a una magnitud de 6.5 a 7", dice Wallace. "Al usar un GPS continuo, hemos descubierto que un gran componente del movimiento de la placa en la zona de subducción Hikurangi se acomoda por estos eventos de deslizamiento lento, mucho más que en muchas otras zonas de subducción".

Mientras que la parte norte de la zona de Hikurangi parece estar deslizando constantemente y por lo tanto no acumula mucha tensión, la parte sur - que se encuentra debajo de la capital de la nación, Wellington - parece estar bloqueada a una profundidad de unos 30 o 40 kilómetros. Usando el GPS de campo, Wallace y su equipo encontraron que

"hay mucha tensión elástica acumulada en el sur de la Isla Norte debido al bloqueo de la falla, que podría aliviarse un día en un gran terremoto", dice Wallace.

En 2003, en un equipo dirigido por la Universidad de Purdue, el geofísico Eric Calais (ahora en Ecole Normale Supérieure en Francia) llevó a cabo mediciones de GPS en Haití. Utilizando datos de 35 puntos en todo el país, Calais determinó que una falla importante a solo unos pocos kilómetros de la capital de Puerto Príncipe estaba acumulando tensión elástica y causando cizalladura en la corteza, a una velocidad de aproximadamente 7 milímetros por año. Los últimos terremotos importantes en Haití ocurrieron en 1770 y 1751, y los datos mostraron que aproximadamente 1.9 metros de deformación habían sido causados por la tensión que se había acumulado en los siguientes 250 años. Si bien no había manera de predecir cuándo podría ocurrir un terremoto, el equipo calculó que liberar esa cantidad de tensión produciría un terremoto de magnitud 7,2. En enero de 2010, Haití experimentó un devastador terremoto de magnitud 7.

A medida que los datos de GPS se acumulan en las próximas décadas, las mediciones de deformación cada vez más densas permitirán a los científicos estimar mejor la ubicación y la fuerza de los temblores potenciales. La ciencia combinada de geodesia, sismología y geofísica puede dar como resultado mejores modelos de riesgo para comprender y mitigar los efectos de los grandes terremotos. "El GPS y la geodesia son la única manera en que podemos identificar los puntos críticos que no se han revelado a través de los terremotos", dice Bennett.

Según Ken Hudnut comenta "Hemos sido capaces de aprovechar las herramientas de observación científicamente motivadas para ayudar a construir una mejor capacidad de respuesta de emergencia", dice. "Tener la capacidad de observación del GPS es algo muy bueno". [21]

2.2.3. GEO y GEOSS

GEO (Group on Earth Observation) es una asociación de más de 100 gobiernos nacionales y más de 100 organizaciones participantes que vislumbra un futuro donde las decisiones y acciones en beneficio de la humanidad se basan en observaciones de la Tierra coordinadas, integrales y sostenidas.

GEO es una red global única que conecta instituciones gubernamentales, instituciones académicas y de investigación, proveedores de datos, empresas, ingenieros, científicos y expertos para crear soluciones innovadoras a los desafíos globales en un momento de crecimiento exponencial de los datos, desarrollo humano y cambio climático que trasciende límites. La colaboración mundial sin precedentes de expertos ayuda a identificar lagunas y reducir la duplicación en las áreas de desarrollo sostenible y gestión ambiental sólida. [22]

Este grupo de trabajo es responsable de la coordinación de actividades relacionadas a los desastres naturales, sistemas de superposición de peligros y monitoreo de inundaciones, terremotos, y actividad volcánica.

Las prioridades globales de GEO incluyen apoyar la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el Acuerdo Climático de París y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (DRR).

Juntos, la comunidad GEO está creando un Sistema de Sistemas de Observación Global de la Tierra (GEOSS) para integrar mejor los sistemas de observación y compartir datos mediante la conexión de las infraestructuras existentes utilizando estándares comunes. Hay más de 400 millones de recursos de datos abiertos en GEOSS de más de 150 proveedores nacionales y regionales como NASA y ESA; organizaciones internacionales como la OMM y el sector comercial como Digital Globe.

La visión conjunta del programa GEOSS es la reducción del riesgo de desastres, particularmente para el intercambio de datos asociado con alertas tempranas y para la generación de productos regionales de alerta temprana.

Para implementar esta visión, GEO ha dividido el mundo en cinco áreas regionales. Europa y América son dos de ellas y EuroGEOSS y AmeriGEOSS son los marcos para combinar las contribuciones de los miembros europeos y americanos de GEO. De esta manera Europa y América están posicionándose fuertemente como centros de observación de la tierra para empezar a tomar decisiones informadas sobre los eventos geológicos.

2.3. Sismología y tectónica de placas

Desde hace milenios que se intenta dar origen al fenómeno sísmico. Ya en la antigua Grecia se discutía el problema, atribuyéndose el origen de los sismos a eventos o mares en

el interior de la tierra. No obstante el estudio del fenómeno sísmico (sismología) surgió en el siglo XX, con la llegada de la teoría de la Tectónica de Placas, lo que condujo a explicaciones racionales aceptadas generalizadamente por la comunidad científica. [3]

En un inicio, la geología (ciencia que estudia la Tierra y sus procesos) consideraba que el planeta y sus estructuras estaban inmóviles desde hacía millones de años. Con el desarrollo de estudios relacionados con la forma de los continentes y su ubicación actual, se estableció que las costas de Sudamérica y África coincidían como piezas de un enorme rompecabezas, asumiendo que estos continentes se desplazaron. Debido al movimiento de los continentes, en 1912 el alemán Alfred Wegener conjeturó, a través de su hipótesis de la Deriva Continental, que el conjunto de los continentes actuales estuvieron unidos en el pasado remoto de la Tierra, formando un mega-continente, esto considerando la manera en que parecen encajar la forma de los continentes a cada lado del océano Atlántico [23]. De esta Hipótesis surge la ya mencionada Teoría de la Tectónica de Placas en los años 1960 a partir de investigaciones de Robert Dietz, Bruce Heezen, Harry Hess, Maurice Ewing, Tuzo Wilson y otros.

Para tratar de demostrar la hipótesis de Wegener se desarrollaron métodos de comprobación que aplicaban varias disciplinas:

- Se usó la comparación entre el tipo de rocas de la costa occidental de África y las de la costa oriental de Sudamérica y se verificó que estas coincidían en todas sus características.
- Se midió y estableció una serie de “franjitas” de igual respuesta magnética desde el centro hacia afuera de la cordillera centro-oceánica del Atlántico y se confirmó que las franjas de las costas de América y África concordaban en edad y sentido magnético.
- Otros argumentos científicos que corroboran la teoría involucran ciencias como la paleontología (estudio de fósiles), la paleo-climatología (estudio del medio ambiente pasado), entre otras.

Con estas pruebas se estableció que la historia de la Deriva Continental empezó hace aproximadamente 180 millones de años, partiendo de un gran mega-continente al que se denominó “**Pangea**” (Figura 3) que deriva del prefijo griego “pan” que significa “todo” y de la palabra griega “Gaia” que significa “suelo o tierra”. De este modo quedaría una palabra cuyo significado es “toda la tierra”.

Como resultado de estas pruebas se genera la teoría de la Tectónica de Placas, y para entenderla es necesario tener en mente la estructura interna de la Tierra: un núcleo terrestre compuesto probablemente por hierro y níquel, el manto terrestre con una composición a base de silicatos ferromagnesianos, mientras que la corteza está compuesta por silicatos en potasio, sodio y calcio. El cascarón externo de la Tierra, que comprende la corteza terrestre y parte del manto (litósfera) tiene un espesor aproximado de 100 km, es una capa rígida que parece estar “flotando” sobre el resto del manto semisólido presentando movimiento como si de un fluido se tratase en tiempos del orden de millones de años.

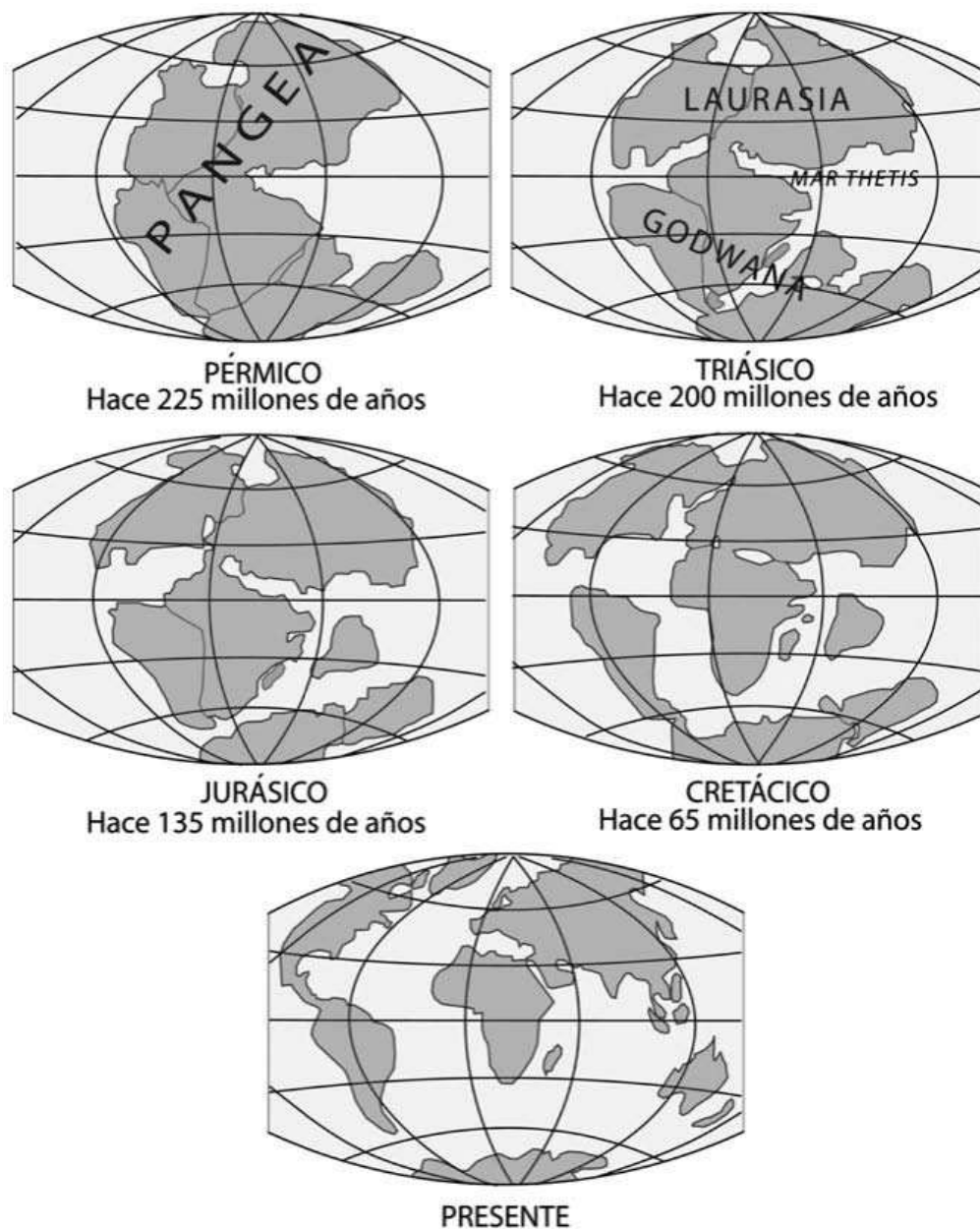


Figura 3. Interpretación de la separación del megacontinente Pangea según la Hipótesis de la Deriva Continental. [24]

Este cascarón, o litósfera, no es continuo sobre la superficie de la tierra sino que está dividido en al menos quince “placas” en contacto una con otra (Figura 4). Estas placas sufren movimientos relativos produciendo fricción entre ellas y acumulando energía produciendo en algunos de sus márgenes la subducción de una placa debajo de otra.

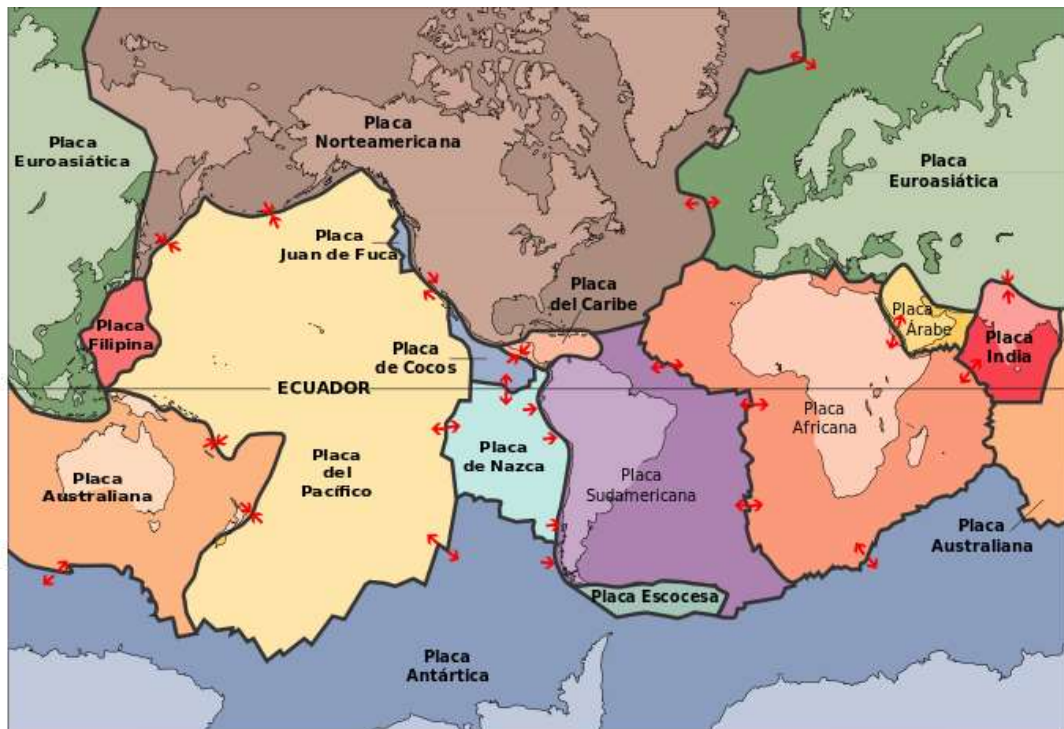


Figura 4. Mapa que muestra la ubicación y movimiento de las placas tectónicas en la corteza terrestre.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Deriva_continental#/media/File:Placas_tectonicas_es.svg

También se estableció que en los límites entre las placas tectónicas existen zonas de “creación” de nueva litósfera y otras zonas donde la litósfera se “consume” o se “reabsorbe”. En función de esto se establecieron tres límites básicos: convergentes, divergentes y transformantes. [25]

Los límites “convergentes” son los responsables de la construcción de la mayoría de las cadenas montañosas de la superficie de la Tierra, es una zona de alta actividad sísmica, pueden generar vulcanismo y provocan el fenómeno conocido como subducción. Un ejemplo es la interacción de las placas Nazca y Sudamericana.

En los límites “divergentes” las placas se alejan una respecto de la otra en direcciones opuestas. Este fenómeno se produce más fácilmente en la placa oceánica que es más delgada que la placa continental formando una fisura con cadenas montañosas en el fondo del mar

que recibe aportes constantes de nuevo material magmático, constituyéndose en una fuente de creación de corteza terrestre.

Los límites “transformantes” se caracterizan porque las placas se mueven paralelas entre sí, a lo largo de esta falla denominada falla transformante. Un claro ejemplo es la falla de San Andrés en Estados Unidos.

Las placas masivas se juntan como piezas de rompecabezas en las profundidades de la Tierra. Cuando una placa se desplaza a lo largo de una de las líneas de falla que los unen, se produce una violenta agitación en la superficie del planeta, experimentada por nosotros como un terremoto. Países tan lejanos como Irán, Chile, Japón y Nueva Zelanda son particularmente vulnerables a esta actividad sísmica. [26]

2.3.1. Principales fallas tectónicas del planeta

Las placas litosféricas que forman la capa superior de nuestro planeta están en constante movimiento. En sus fronteras se forman zonas volcánicas y tectónicamente activas. Y aunque las placas se mueven de un modo increíblemente lento (de 1 a 10 cm por año), sus desplazamientos generan muchos problemas para las personas que viven encima de ellas.

Dentro de las innumerables fallas tectónicas del planeta, se han identificado las más grandes y más peligrosas: (i) La falla de San Andrés, Estados Unidos, (ii) El Cinturón de Fuego del Pacífico, (iii) El lago Kivu, África, (iv) Zona del Rift de Baikal, y (v) La falla de Suswa. [27]

De las fallas mencionadas, en la actualidad solo se consideran sísmicamente activas la falla de San Andrés y la del Cinturón de Fuego del Pacífico. En el lago Kivu uno de los mayores temores es la ocurrencia de erupciones volcánicas por la acumulación de gases en el fondo del lago. La zona del Rift de Baikal está en constante acción tectónica entre las placas que la componen pero de baja intensidad. Por último, aunque la falla de Suswa se considera tectónicamente inactiva, los eventos ocurridos en el pasado podrían estar influyendo en la misma.

2.3.1.1. Falla de San Andrés

La falla de San Andrés, que recorre California de norte a sur a lo largo de 1.300 kilómetros y que delimita la placa norteamericana de la placa del Pacífico, es una de las más estudiadas del planeta, ya que en su práctica totalidad se encuentra sobre la superficie terrestre. Regularmente provoca grandes terremotos en la región, tal como ocurrió el 17 de octubre de 1989 en Loma Prieta, cuando hubo un sismo de magnitud 7,1.



Figura 5. La Falla de San Andrés.

Fuente: <https://democratacoahuila.com/2018/01/19/temblor-en-baja-california-encienden-alertas-por-falla-de-san-andres/>

Fue la causante del devastador terremoto de 7,8 grados que destruyó gran parte de San Francisco en 1906, provocando la muerte de más de 3.000 personas, lo que el científico Andrew Lawson asoció ya entonces con la posible expansión de la falla hacia el sur de California.

Ahora, la parte más sísmicamente peligrosa de la falla es la que transcurre cerca de Los Ángeles. Además, recientemente, los geólogos han puesto sus ojos en otra falla de 84 km de largo que atraviesa la región de la Bahía de San Francisco, poblada por más de siete millones de personas.

Actividad en la falla de San Andrés

El día miércoles 4 de mayo del 2016, en declaraciones recogidas por el diario *Los Angeles Times*, científicos líderes advirtieron desde la Conferencia Nacional de Terremotos que se celebra en la localidad californiana de Long Beach que la sección sur de la falla de San Andrés está "cargada y lista" para provocar un gran temblor. [28]

El director del Centro Sísmico del Sur de California, Thomas Jordan, asegura que la falla de San Andrés está preparada para liberar la energía que ha ido acumulando durante mucho tiempo, pese a que los registros geológicos indican que es la causante de un gran terremoto con una periodicidad de unos 150 años. El científico recordó que la última vez que esa falla generó un gran terremoto en el sur de California fue en 1857. Una sacudida que se calcula fue de 7.9 grados en la escala de Richter. Desde entonces ha estado demasiado tranquila.

Los análisis de los movimientos de las placas tectónicas sugieren que cada 100 años se ajustan unos 16 pies a base de sacudidas sísmicas, que liberan parte del estrés al que están sometidas las fallas. En el caso de San Andrés, la falla ha ido acumulando tensión sin descanso durante más de un siglo.

Un informe de la USGS en 2008 alertó de que un sismo de magnitud 7.8 con origen en la región sur de la falla de San Andrés tendría un impacto directo en Los Ángeles, la segunda ciudad más poblada de EE.UU, causando más de 1,800 muertes, 50,000 heridos y 200,000 millones de dólares en daños.

En una entrevista con BBC Mundo, Jennifer Andrews, sismóloga de Instituto de Tecnología de California (Caltech) señaló “la información con la que trabajamos los científicos indica que el extremo sur de la falla de San Andrés es en la que es más probable que se produzca un gran terremoto en los próximos 30 años”. [29]

2.3.1.2. Cinturón de fuego del Pacífico

“Los movimientos de la corteza terrestre generan transformaciones intensas en las rocas del interior de la tierra, acumulando energía que súbitamente es liberada en forma de ondas que sacuden la superficie terrestre.” “Corrientemente se presentan con más frecuencia en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico y en el Mediterráneo – Himalaya, pudiendo ocurrir en cualquier otra zona.” [30]

El Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico está situado en las costas del Océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca. Este Cinturón de Fuego se extiende sobre 40.000 km (25.000 millas) y tiene forma de herradura. Tiene 452 volcanes y concentra más del 75% de los volcanes activos e inactivos del mundo.

El cinturón comprende a una gran cantidad de países americanos, tales como Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México, Estados Unidos y Canadá. Tras hacer una curvatura a la altura de las Islas Aleutianas, en el norte del océano Pacífico, entre Alaska y la península de Kamchatka, se prolonga hasta las costas e islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda. (Figura 6)

Como ya fue referido anteriormente, el lecho del Océano Pacífico reposa sobre varias placas tectónicas, las cuales están en permanente fricción y por ende, acumulan tensión. Además, la zona concentra actividad volcánica constante (Figura 7). En esta zona las placas de la corteza terrestre se hunden a gran velocidad (varios centímetros por año) y a la vez acumulan enormes tensiones que deben liberarse. Cuando esta tensión se libera hace que la corteza ceda originando desplazamientos que pueden ocasionar sismos o “terremotos”. Hay relación con los volcanes porque en estos movimientos tectónicos se produce ascenso de lava ocasionando erupciones volcánicas.

Actividad en el Cinturón de Fuego del Pacífico

En el año 2008 el Cinturón comenzó con intensa actividad provocando movimientos sísmicos y erupciones.

En el año 2015 el Director del área de Sismología de Instituto Geofísico del Perú (IGP), Hernando Tavera, explicó a BBC Mundo “En el Cinturón de Fuego del Pacífico tienen lugar el 90% de los terremotos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes”. La segunda región más sísmica (5-6% de los terremotos y el 17% de terremotos más grandes del mundo) es el cinturón Alpide, el cual se extiende desde Java a Sumatra a través del Himalaya, el Mediterráneo hasta el Atlántico. El cinturón de la dorsal Mesoatlántica es la tercera región más sísmica.



Figura 6. Cinturón de Fuego del Pacífico.

Fuente: Wikimedia Commons.



Figura 7. Placas tectónicas del planeta tierra y Anillo de Fuego del Pacífico,

Fuente: <http://bibliotecaduocvalparaiso.blogspot.pt/2012/04/anillo-de-fuego-del-pacifico.html>

En el Cinturón de Fuego del Pacífico se han registrado los 10 sismos más fuertes del siglo pasado y del actual. [31]

- Chile, en 1960, sufrió el terremoto más intenso registrado hasta ahora; midió 9,5 grados en la escala de Richter y sacudió las ciudades de Santiago y Concepción. Murieron 5000 personas y dos millones quedaron sin hogar.
- Alaska sufrió tres sismos grandes en menos de ocho años. El 9 de marzo de 1957 un movimiento de 9,1 grados golpeó las islas Andreanof, mientras que, en 1964 y 1965, registró terremotos de 9,1 y 8,7 grados respectivamente y generó un tsunami de olas de 10 metros de alto.
- Todavía permanece fresco el recuerdo del catastrófico sismo de 9 grados del 26 de diciembre de 2004 en Indonesia y Sumatra, que desató un tsunami que mató a más de 250.000 personas.
- El 4 de noviembre de 1952, Rusia registró un terremoto de magnitud 9 que generó un tsunami que golpeó las islas hawaianas. Y el 31 de enero de 1906 un sismo de 8,8 grados fue registrado cerca de la costa de Ecuador y Colombia, que generó un fuerte tsunami que mató a 1000 personas.
- En Tíbet y la India, unas 2000 casas fueron arrasadas y 1500 personas murieron tras el movimiento de 8,6 grados registrado en la cuenca de Brahmaputra.
- Uno de los más devastadores fue el del 27 de febrero de 2010 en Chile, que produjo más de 500 muertos, con sus 8,8 grados de magnitud.
- El 11 de marzo de 2011, Japón sufrió un terremoto de 9 grados, seguido de tsunami con olas de 10 metros de altura, que arrasó con pueblos enteros y provocó un desastre nuclear, cuya radiación permanecerá por años.

Según una publicación realizada en el Periódico digital “El Español” con fecha 26 de noviembre del 2016, se comenta sobre la actividad sísmica que ha tenido el Cinturón de Fuego del Pacífico durante el año 2016, refiriendo: “Tiembla de nuevo la tierra en Centroamérica. Un terremoto de magnitud 7.2 en la escala Richter sacudió el jueves 24 de noviembre Nicaragua y El Salvador. El seísmo se originó en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico...”. [32]

Refirió también: “Noviembre ha sido un mes delicado en las áreas comprendidas por este anillo. Japón alertó por posible tsunami el día 21, tras un sismo de magnitud 7.4 cerca de Fukushima, la misma región que sufrió la sacudida de la naturaleza en 2011...”.

Unos días antes, otro terremoto de 7.8 grados en Nueva Zelanda mató a dos personas y elevó el lecho marino hasta seis metros. Pero 2016 ha dejado más temblores en el Anillo de Fuego (Figura 8). Nueva Caledonia (M7.2) el 12 de agosto, Islas Marianas (M7.7) el 29 de julio, Vanuatu (M7.0) el 28 de abril, Ecuador (M7.8) el 16 de abril e Indonesia (M7.8) el 2 de marzo.



Figura 8. Terremotos en el Cinturón de Fuego del Pacífico en el año 2016.

Fuente: Elaboración propia, información obtenida de

https://cronicaglobal.lespanol.com/graficnews/terremotos-cinturon-fuego-pacifico_63987_102.html

En promedio en esta falla, cada hora, ocurre un terremoto o una erupción. Científicos advierten que la intensa actividad sísmica podría desencadenar mega-sismos en cualquier parte del planeta. Sismólogos afirman que pronto, sismos superiores a los 9 grados podrían golpear zonas como México, Estados Unidos, Indonesia, Chile y Japón.

En el año 2017 se redujo el número de terremotos importantes en la Zona del Cinturón de Fuego del Pacífico (Figura 9) con solo uno alcanzando los más de 8 grados en la escala de Richter, Chiapas, México (M8.2) el 7 de septiembre [33], y otros tres de magnitud mayor a 7: Papúa Nueva Guinea (M7.9) el 22 de enero [34], Mar de Célebes, Filipinas (M7.3) el 10 de enero [35], Chile (M7.1) el 24 de abril [36] y Puebla, México (M7.1) el 19 de Septiembre [37]. Se considera que debido al sismo de 7.1 grados ocurrido el 19 de septiembre en México se produjeron otros dos eventos similares en Nueva Zelanda el mismo 19 de septiembre [38] y en Japón al siguiente día [39], ambos con una magnitud de 6.1 grados.

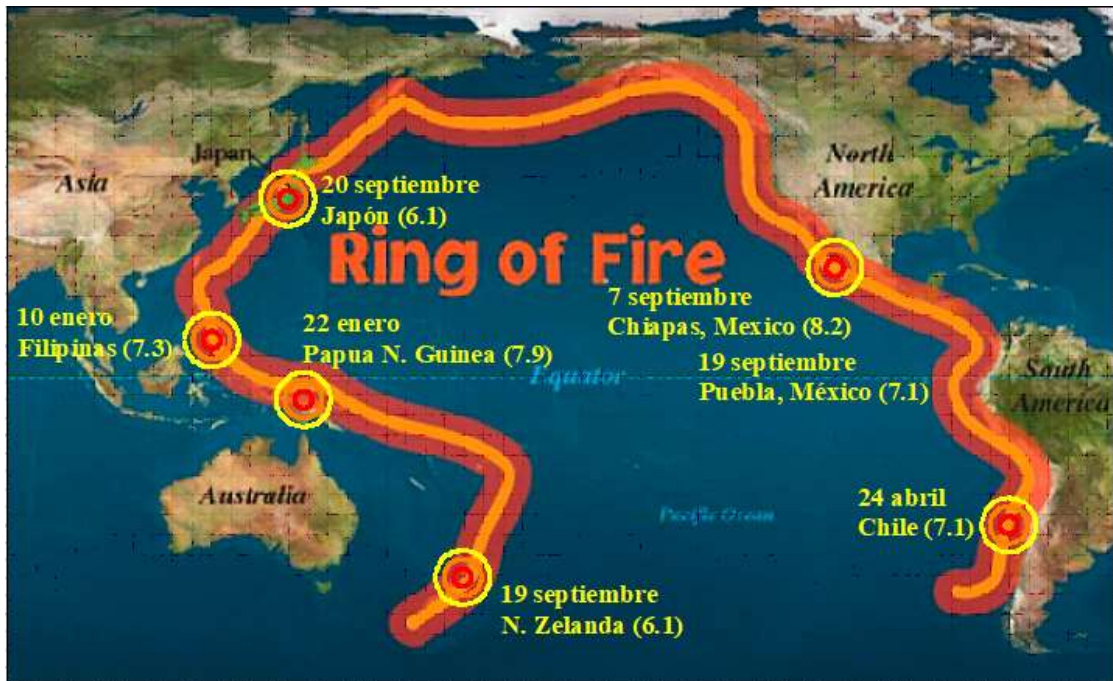


Figura 9. Terremotos en el Cinturón de Fuego del Pacífico en el año 2017.

Fuente: Elaboración propia, información obtenida de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_de_2017



Figura 10. Terremotos en el Cinturón de Fuego del Pacífico en el año 2018.

Fuente: Elaboración propia, información obtenida de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_de_2018

En lo que va del primer trimestre del 2018 ya se han detectado fuertes movimientos telúricos que superan los 7 grados en la escala abierta de Richter (Figura 10), estos son en orden cronológico: Honduras (M7.6) el 9 de enero [40], Arequipa, Perú (M7.1) el 14 de enero [41], Kodiak, Alaska, EE.UU. (M7.9) el 23 de enero [42], Oxaca, México (M7.2) el 16 de febrero [43] y Papua N, Guinea (M7.5) el 25 de febrero [44]. Esto sin considerar un contable número de sismos del orden de entre 6.0 y 6.9 grados en la escala ya mencionada.

En el país de Japón, considerando que en dicho territorio se produce el 20% de los terremotos más violentos del mundo, evalúan la probabilidad de entre 60 y 70% que el megaterremoto ocurra en los próximos 30 años, (20% en la próxima década). [45]

2.3.1.3. Lago Kivu

Uno de los grandes lagos africanos, el Kivu, se encuentra en el Gran Valle del Rift, en el este de África, concretamente sobre la formación de relieve en el borde de las placas tectónicas Africana y Arábica.

El Kivu es compartido por Ruanda y la República Democrática del Congo. La cuenca del lago se expande gradualmente, lo que provoca no solo que el embalse sea cada vez más profundo, sino también que la actividad volcánica en la región se incremente.

En 1948 se produjo una erupción del cercano volcán Kituro. Se dice que el agua del Kivu empezó a hervir y todos los peces del lago se cocinaron solos.

Sin embargo, el peligro más grave se esconde bajo sus aguas. En el fondo del Kivu hay depósitos ocultos de metano natural y dióxido de carbono, cuya explosión y liberación a la atmósfera pueden matar a todos los ruandeses y congoleños que viven cerca de sus aguas, lo que equivale a aproximadamente dos millones de personas.

2.3.1.4. Zona del Rift de Baikal

Esta falla de 1.500 kilómetros de largo tiene una parte central llena de agua: el lago Baikal, en el sureste de Rusia. Según los geólogos, esta grieta es el resultado de la divergencia de las placas Euroasiática y Amuria.

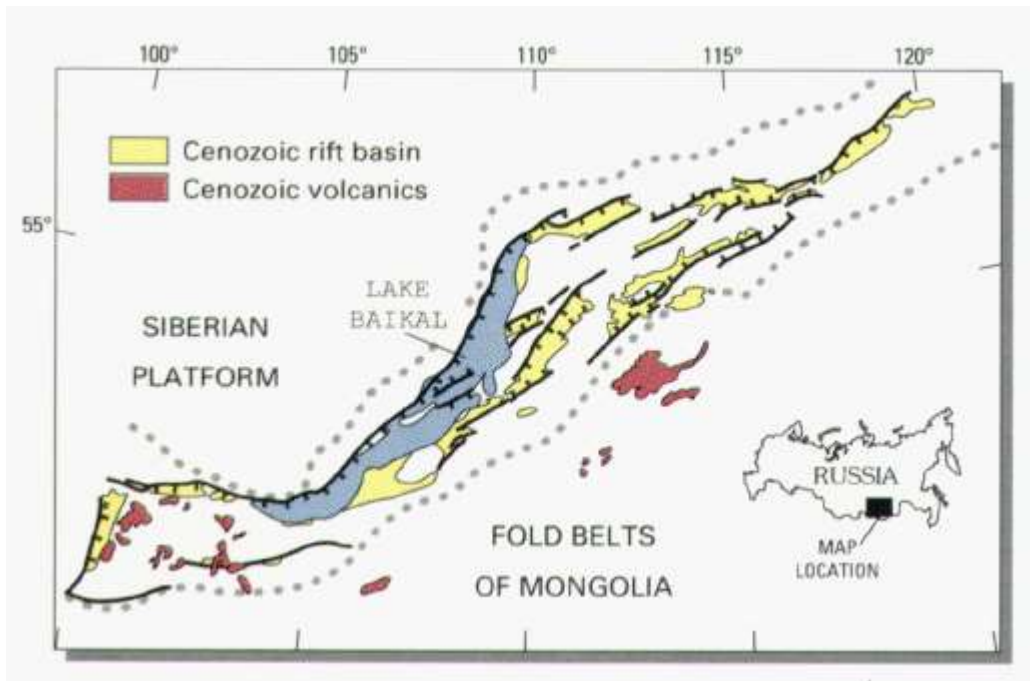


Figura 11. Ubicación del lago Baikal

Fuente: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Baikal-1.png>

El principal peligro en la zona, como en el caso del Kivu, se encuentra en el fondo del lago. De hecho, el fondo del lago Baikal es una falla tectónica, y sus costas están constantemente alejándose. Los científicos predicen que en unos cientos de millones de años, el Baikal se convertirá en un océano.

2.3.1.5. La falla de Suswa

Esta grieta se encuentra en Kenia, Africa y es relativamente 'joven'. Forma parte del llamado rift de Kenia y se llama así por un cercano volcán que lleva el mismo nombre. Es una zona limítrofe entre las placas Africana y Arábiga. Recientemente, la situación en la región se ha vuelto inestable, como demuestran las numerosas erupciones de volcanes submarinos.

Actividad en la falla de Suswa

"Mientras que la grieta ha permanecido tectónicamente inactiva en el pasado reciente, podría haber movimientos profundos dentro de la corteza terrestre que han resultado en zonas de debilidad que se extienden hasta la superficie", dijo el geólogo David Adede al Daily Nation. [46]

En las últimas décadas, las placas han permanecido relativamente inactivas, pero la debilidad estructural puede formar líneas de falla que, normalmente, se suelen llenar con ceniza volcánica. Los expertos creen que las recientes lluvias (y los movimientos sísmicos) han ‘lavado’ estas cenizas y han expuesto unas grietas que ya estaban allí.



Figura 12. Grieta en el Valle del Rift de Kenia. [47]

Este 2018, apareció en el corazón del Gran valle del Rift, una grieta de 15 metros de profundidad y hasta 20 de ancho que ha destrozado carreteras, tendidos eléctricos y viviendas. Kenya se está dividiendo lentamente y este es solo uno de los cientos de puntos débiles que atraviesan todo el continente desde el Cuerno de África hasta Mozambique. [47]

Si la grieta sigue creciendo, algunos geólogos prevén que dentro de 50 millones de años podría ser capaz de dividir África en dos partes.

2.4. Hacer frente a los terremotos

2.4.1. Riesgo Sísmico

Es necesario aclarar que los elementos que configuran lo que se denomina el **riesgo sísmico** con: la amenaza o peligro y la vulnerabilidad. La **amenaza o peligro** tiene relación directa con el fenómeno, que en este caso es de origen natural y son los sismos. Estos

fenómenos no pueden controlarse, es decir, no podemos como seres humanos evitar que sucedan, ya que son eventos que tienen una íntima relación con la dinámica de la Tierra como planeta. En cambio la **vulnerabilidad** se asocia a nuestra capacidad para soportar la presencia de un evento, en caso de que suceda un terremoto, la vulnerabilidad está dada por la susceptibilidad de las casas o infraestructuras a sufrir daños [6].

Por lo tanto, nuestro nivel de riesgo sísmico está dado en función de las características del terremoto (amenaza) y nuestro grado de vulnerabilidad frente a este fenómeno, de tal manera que para disminuir el riesgo es necesario disminuir el grado de vulnerabilidad, ya que no podemos impedir la generación de un terremoto.

En este sentido existen algunos mecanismos que pueden contribuir a disminuir nuestra vulnerabilidad desde una perspectiva física y/o funcional de infraestructuras. Cardona sugiere algunas acciones: [48]

- Aumentar la resistencia de las líneas vitales mediante el reforzamiento estructural.
- Reforzar edificaciones vulnerables que no pueden ser o no son factibles de reubicarse.
- Elaboración de “Códigos de la construcción” que regulen a edificación de nuevos inmuebles.
- Adecuación de hospitales y la atención pronta y masiva de víctimas.
- Reubicación de viviendas, de infraestructura o de centros de producción localizados en zonas de alta amenaza.

2.4.2. Vulnerabilidad: Errores del pasado

Hablando de vulnerabilidad, la capacidad de resistir, es hablar de errores cometidos en el pasado y que, después de un gran evento comprendimos que no estábamos preparados. Un claro ejemplo de estos errores son las llamadas losas planas, que funcionaron por algún tiempo pero, algo tarde ya, notamos que no eran la opción más segura.

Las losas planas son elementos constructivos de hormigón armado extremadamente simples en concepto y construcción que consisten en losas que están apoyadas directamente sobre las columnas y no sobre vigas. Estas estructuras transmiten las cargas directamente a las columnas sin necesidad de colocar vigas. Estas losas planas no son adecuadas para zonas de alto riesgo sísmico. [49]

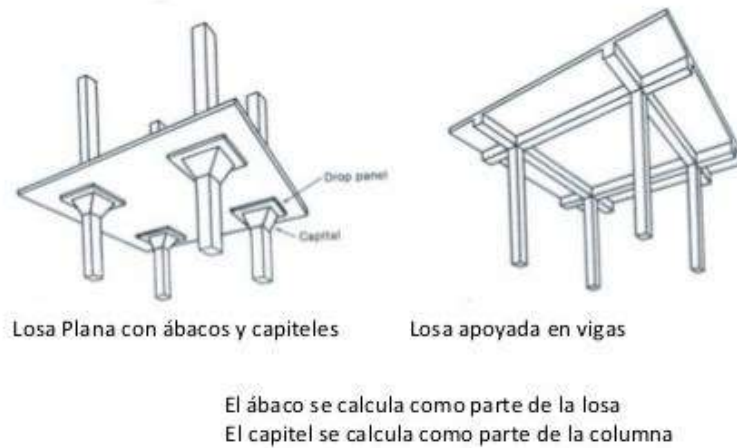


Figura 13. Losa plana y losa apoyada sobre vigas.

Fuente: <http://www.arkiplus.com/losa-plana>

En el pasado las losas planas tuvieron una gran popularidad por su simplicidad de construcción y la posibilidad de tener techos más altos debido a la ausencia de vigas, sin embargo su popularidad ha ido decayendo con el tiempo debido a las dificultades que tiene para soportar cargas sísmicas.

Esta técnica de construcción conocida como losa plana causó el 61 por ciento de los derrumbes de edificios en el terremoto de magnitud de 7.1 ocurrido en México en 2017 que mató a 369 personas, y cubrió avenidas de árboles y escombros (Figura 14). Casi dos tercios de los edificios que colapsaron en el monstruoso terremoto fueron construidos utilizando esta técnica que ahora está prohibida en zonas sísmicas de los Estados Unidos, Chile y Nueva Zelanda. [50]



Figura 14. Edificio en México construido con losas planas que fue parcialmente destruido en el terremoto de 7.1 grados en 2017.

Fuente: <https://www.denverpost.com/wp-content/uploads/2017/10/ap17282550350477.jpg?w=795>

Eduardo Miranda, profesor de ingeniería civil y ambiental de Stanford y experto mundial de diseño resistente a terremotos, dijo “Hace 30 años que sabemos que este sistema mató a muchas personas, entonces ¿por qué lo seguimos usando?”.

Las losas planas de concreto se pueden adaptar arquitectónicamente y dar a los constructores mayor flexibilidad en el diseño de salas y espacios que necesiten techos más altos, pero en un terremoto, sin muros de hormigón armado o refuerzos laterales para resistir las fuerzas que empujan la estructura hacia los lados, los edificios con este diseño sufren desplazamientos excesivos y las conexiones entre losa y columna pueden romperse fácilmente por la acumulación de esfuerzos.

2.4.3. Apoyo de la Unión Europea en la Reducción de Riesgo de Desastres

En los últimos cincuenta años, el número de víctimas debido a la ocurrencia de desastres naturales ha aumentado notablemente, debido en parte a la explosión demográfica que el mundo ha visto en el siglo XX. La Unión Europea, reconociendo que a nivel mundial los desastres naturales son de alto riesgo para la población ha puesto en marcha un Programa para hacer frente a esta problemática.

Jocelyn Lance, Coordinadora de Respuesta Rápida de Emergencia de la UE para América Latina y el Caribe, indica que "El famoso Programa de Preparación para Desastres de la UE, **DIPECHO**, se lanzó formalmente en 1996, pero comenzamos a apoyar pequeños proyectos de prevención de desastres en 1995, inspirados en las directrices para la prevención, preparación y mitigación de desastres naturales definidas durante la Conferencia Mundial de Yokohama de mayo de 1994”.

Las iniciativas de Reducción del Riesgo de Desastres (DRR) se basan en la premisa de que la prevención *antes* de un desastre salva vidas y es mucho más rentable en comparación con la respuesta posterior al desastre. Según cifras del Banco Mundial de la década de 1990, la inversión de 1 dólar en reducción del riesgo de desastres ahorra de 4 a 7 euros después de que ocurre un desastre. [51]

2.4.4. Chile como ejemplo de reducción de riesgo sísmico

Numerosos terremotos se confirman cada año alrededor del mundo, sin embargo no todos los lugares son afectados de la misma manera. Existen zonas que son afectadas por sismos de mayor intensidad, sin embargo, la destrucción de la infraestructura suele ser bastante menor en relación a su magnitud, el país sudamericano Chile es un claro ejemplo de ello.

La Placa de Nazca, que coincide con la del Pacífico, está siendo empujada hacia abajo, debajo de la costa sudamericana. Lo que ubica a América del Sur en general en una de las zonas sísmicas más activas del planeta. Entonces, ¿cómo es posible que en países como Chile no se evidencien grandes colapsos cuando vive sismos más fuertes?

La respuesta de los expertos consultados por BBC Mundo es clara: hormigón armado, disipadores de energía y estudios de suelo exigidos por una normativa muy estricta, que con muy pocas excepciones suele cumplirse. En el “país más sísmico del mundo” rara vez se desploma un edificio.

Chile es uno de los países más sísmicos del planeta, ha registrado ya varios terremotos de magnitud mayor a ocho en los últimos años, pero también uno de los más resistentes porque la normativa que regula la construcción es fuerte. Esto hace que la siniestralidad e incluso los daños materiales sean bajos en comparación con otros países asentados sobre el Cinturón de Fuego que rodea el Pacífico.

En una entrevista con BBC Mundo, el arquitecto Jaime Díaz, profesor de la Universidad de Chile, indica: “La norma asegura que en Chile las estructuras mantengan una resistencia tal que permita salvar vidas humanas, pero no obliga a que no sufran daños” [52].

Los expertos coinciden en que una clave está en la estructura de hormigón armado y acero, suficientemente flexible y resistente para dejar que el edificio se mueva, se balancee y no se caiga. El arquitecto Díaz explica que las construcciones modernas tienden a incorporar “elementos como los aisladores y los disipadores sísmicos que permiten que el movimiento de la tierra no se transmita al edificio y, si se transmite, que esa energía sea absorbida” y agrega “En el fondo, el terremoto es una cantidad enorme de energía que se traspasa a las construcciones. Si no tiene modo de ser disipada, termina destruyendo todas las estructuras”.

Sebastian Gray, presidente del Colegio de Arquitectos de Chile, afirma que otro elemento crucial es el estudio del suelo para que los cimientos sean adecuados. “A cada tipo de suelo corresponde un cálculo específico para el tamaño, forma, profundidad, resistencia de las fundaciones”.

Las normas chilenas prevén tres tipos de terremotos en función de su intensidad: i) Para los “moderados”, las construcciones deben estar preparadas para moverse y volver a la posición original sin daños. ii) en los “fuertes”, se aceptan pequeñas fisuras y deformaciones. iii) finalmente para los terremotos “severos”, se permiten daños de consideración que tal vez no se puedan reparar, sin embargo no causarían colapso.

2.4.5. Resiliencia en estructuras

De acuerdo con la oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (UNISDR, 2002), la resiliencia es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza, para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de la amenaza de manera eficaz, lo que incluye la preservación y restauración de las estructuras y funciones básicas. La resiliencia significa pues la capacidad de “resistir a” o “resurgir de” un evento. La resiliencia de una comunidad con respecto a los posibles eventos que resultan de una amenaza se determina por el grado en que esta comunidad cuenta con los recursos necesarios y la capacidad de organizarse tanto antes como durante un cataclismo, o como algunos autores definen, consistirá en “la habilidad de acomodarse a los cambios sin fallar catastróficamente”.

Estos últimos años han dejado una lista bastante completa de desastres naturales que en muchos casos no han dejado víctimas mortales a su paso gracias a la construcción resiliente, un tipo de edificación basada en el uso de materiales lo suficientemente plásticos como para absorber cargas espontáneas, y de mecanismos adicionales de resistencia que como se ha demostrado, salvan centenares de vidas. [53]

La construcción resiliente es todo un ejemplo de como la innovación puede aterrizar en cualquier sector para hacernos la vida más fácil. El concepto de resiliencia en el sector construcción no es nuevo ni únicamente aplicable a edificaciones en zonas de alto riesgo de catástrofe natural. [54]

Convencionalmente, las estructuras están diseñadas para resistir fuerzas dinámicas mediante una combinación de resistencia, deformabilidad y absorción de energía. Estas estructuras pueden deformarse mucho más allá del límite elástico, por ejemplo, en un terremoto severo. Indica que las estructuras diseñadas con estos métodos a veces son vulnerables a los fuertes movimientos sísmicos.

Para evitar tales daños críticos, los ingenieros estructurales están trabajando para descubrir diferentes tipos de sistemas estructurales que son robustos y pueden soportar movimientos fuertes. Alternativamente, algunos tipos de sistemas de protección estructural pueden implementarse para mitigar los efectos dañinos de estas fuerzas dinámicas. Estos sistemas funcionan absorbiendo o reflejando una parte de la energía de entrada que, de otro modo, se transmitiría a la estructura misma.

En tal escenario, se cree que las técnicas de control estructural son una de las tecnologías prometedoras para el diseño de construcciones resilientes y resistencia a terremotos. El concepto de control estructural es absorber la energía de vibración de la estructura mediante la introducción de dispositivos suplementarios.

Es estudio de nuevas tecnologías para mejorar resistencia a los terremotos en el sector de la construcción debería basarse en las necesidades reales de la estructura. Hoy en día para proteger la estructura de estos eventos sísmicos y sus consecuencias se utilizan técnicas avanzadas como muros de corte, dispositivos de aislamiento sísmico o de amortiguación. No obstante, a medida que el tiempo avanza y se conoce un poco más acerca de los terremotos y cómo se comportan las estructuras ante la ocurrencia de estos, se siguen desarrollando nuevas tecnologías, metodologías y herramientas para hacer frente a estos eventos que pueden ser catastróficos.

3. Soluciones contra terremotos

Los terremotos causan grandes daños en las edificaciones, y el problema ha empeorado a medida que más personas viven en entornos urbanos y consecuentemente las estructuras han crecido. Afortunadamente, en las últimas décadas, los arquitectos e ingenieros han ideado una serie de soluciones que se basan en tecnologías inteligentes, metodologías innovadoras y técnicas especializadas para garantizar que las casas, edificios, estructuras fallen pero no se rompan, salvaguardando la seguridad de sus habitantes o incluso, que el sismo no toque la estructura.

3.1. Tecnologías sísmicas inteligentes

3.1.1. Aisladores de base

Los ingenieros y sismólogos han favorecido durante años el aislamiento de bases como un medio para proteger los edificios durante un terremoto. Como su nombre lo sugiere, este concepto se basa en la separación de la subestructura de un edificio de su superestructura.

El concepto de aislamiento de base se explica a través de un ejemplo de construcción que descansa sobre rodillos sin fricción ([Anexo 1](#)). Cuando la tierra tiembla, los rodillos ruedan libremente, pero el edificio de arriba no se mueve. Por lo tanto, no se transfiere ninguna fuerza al edificio debido a la sacudida del suelo; simplemente, el edificio no experimenta el terremoto. [\[55\]](#)

Los aisladores a menudo están diseñados para absorber energía y así agregar amortiguación al sistema. Esto ayuda a reducir aún más la respuesta sísmica del edificio. Muchos de los aisladores de base parecen almohadillas de goma grandes, aunque hay otros tipos que se basan en el deslizamiento de una parte del edificio en relación con el otro. Además, el aislamiento de la base no es adecuado para todos los edificios. La mayoría de los edificios de baja a media altura descansan en el suelo duro debajo de ellos y es posible usar aisladores; los edificios de gran altura o los edificios descansados sobre suelo blando no son adecuados para el aislamiento de la base.

Ante la ocurrencia de un terremoto, el suelo debajo del edificio comienza a moverse. El edificio responde con un movimiento en dirección contraria al movimiento del suelo que se debe en realidad a la inercia. Las fuerzas de inercia que actúan sobre un edificio son las más importantes de todas las generadas durante un terremoto.

Además de desplazarse el edificio en sentido contrario al movimiento del suelo, el edificio no aislado cambia su forma de un rectángulo a un paralelogramo. Decimos que el edificio se está deformando. La causa principal del daño sísmico a los edificios es la deformación que experimenta el edificio como resultado de las fuerzas de inercia sobre él.

El edificio aislado de la base conserva su forma original y rectangular. El edificio aislado de base escapa a la deformación y al daño, lo que implica que las fuerzas de inercia que actúan sobre el edificio aislado de la base se han reducido (Figura 15). Experimentos y observaciones de edificios aislados de base en terremotos a tan solo 1/4 de la aceleración de edificios comparables de base fija.

La aceleración se reduce porque el sistema de aislamiento de la base alarga el período de vibración de un edificio, el tiempo que le lleva a un edificio oscilar hacia atrás y adelante y luego hacia atrás otra vez. Y en general, las estructuras con periodos de vibración más largos tienden a reducir la aceleración, mientras que las que tienen períodos más cortos tienden a aumentar o amplificar la aceleración.

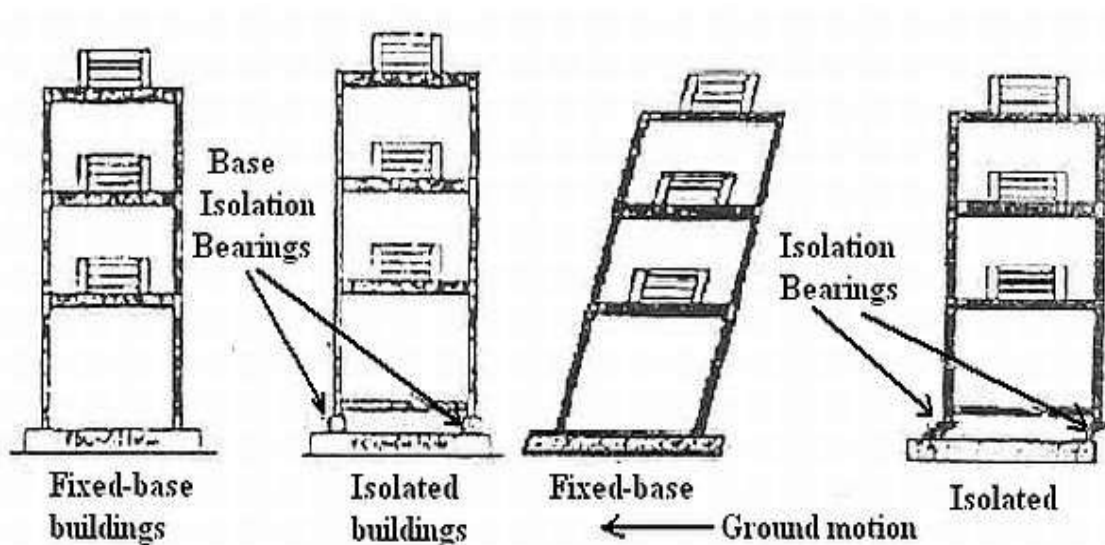


Figura 15. Aislamiento de base em edifícios. [55]

3.1.1.1. Rodamientos de Caucho y plomo

Los aisladores de caucho se encuentran entre los más prometedores para aislar los edificios de los movimientos de tierra. Un cojinete de caucho y plomo está hecho de capas de caucho intercaladas con capas de acero, y un centro de plomo sólido. Los rodamientos se unen al edificio y la base a través de placas de acero en la parte superior e inferior y luego, cuando ocurre un terremoto, permiten que la base se mueva sin mover la estructura por encima de ella. Como resultado, la aceleración horizontal del edificio se reduce y sufre mucha menos deformación y daño. [56]



Figura 16. Aisladores de Caucho y Plomo

Fuente: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/wp-content/uploads/2013/11/utah-capitol-bearings-1024x576.jpg>

Al igual que otros rodamientos, desacoplan el edificio de los movimientos horizontales de un terremoto, literalmente proporcionando un amortiguador entre el edificio y el terremoto. El sistema no absorbe la energía del terremoto, sino que la desvía a través de la dinámica del sistema. Las frecuencias más altas del terremoto y su energía destructiva no se transmiten al resto de la estructura. Los edificios construidos sobre cojinetes de goma seguirán temblando durante un terremoto, pero se deslizarán sobre su base en lugar de tambalearse peligrosamente.

La idea de reforzar los bloques de goma con láminas delgadas de acero fue inventada por el ingeniero francés Eugene Freyssinet. Reconoció que la capacidad vertical de una almohadilla de goma era inversamente proporcional a su espesor, pero su flexibilidad horizontal era directamente proporcional al grosor. En otras palabras, una pieza delgada de

goma puede ser rígida en una dirección pero flexible en otra. En los cojinetes de caucho y plomo, el núcleo de plomo hace que el cojinete sea rígido y fuerte en la dirección vertical, mientras que las láminas de caucho y acero hacen que sea flexible en la dirección horizontal.

Los edificios antiguos se pueden adaptar para aprovechar el aislamiento de la base. En California, el ayuntamiento de Oakland y el ayuntamiento de San Francisco, ambos gravemente dañados en el terremoto de Loma Prieta de 1989, ahora flotan sobre sus cimientos en los amortiguadores. El ayuntamiento de Los Ángeles, que fue dañado en el terremoto de Northridge en 1994, fue equipado cuatro años después con cojinetes de caucho natural de alta amortiguación. A 454 pies, ahora es el edificio sísmico más alto del país.

Fuera de los Estados Unidos, el aislamiento de la base se ha perseguido muy activamente en Japón, uno de los países más propensos a los terremotos en el mundo. Allí, el primer edificio aislado de la base se completó en 1986, y uno de los edificios aislados de base más grandes en el mundo es el Centro de Computadores Postales del Oeste de Japón en Sanda, Prefectura de Kobe. Esta estructura de seis pisos y 500,000 pies cuadrados es compatible con 120 aisladores elastoméricos con varios amortiguadores adicionales de acero y plomo. Durante el infame terremoto de Kobe en 1995, el edificio, que se encontraba a tan solo 19 millas del epicentro, experimentó un fuerte movimiento del suelo. Afortunadamente, el centro postal no sufrió daños. No se puede decir lo mismo de una estructura adyacente de base fija. [57]



Figura 17. Sistema de aislamiento de base de caucho y conexiones de red flexibles. [57]

Un proyecto de demostración se encuentra en Indonesia, donde los trabajadores de una plantación de té en la parte sur de Java Occidental ahora viven en un edificio de cuatro pisos, de hormigón armado, aislado de la base. Contiene ocho unidades de departamentos de bajo costo y es compatible con 16 rodamientos de caucho natural de alta amortiguación. Además

del aislamiento de la base, el edificio no es sustancialmente diferente de otros en Java, lo que hace que sea menos costoso de construir y más probable que sea aceptado por los funcionarios locales de construcción. Los rodamientos de aislamiento, que son económicos de fabricar, se encuentran a nivel del suelo y están conectados al resto del edificio mediante una técnica innovadora, rentable y fácil de instalar. Las edificaciones con aisladores de base suelen utilizar conexiones de red flexibles (Figura 17) para evitar roturas debidas a los movimientos producidos.

3.1.1.2. Sistema de aislamiento deslizante esférico

Es otro tipo de aislamiento de base. El edificio está soportado por cojinetes que tienen una superficie curva y baja fricción. Durante un terremoto, el edificio puede deslizarse libremente sobre los cojinetes. Como los rodamientos tienen una superficie curva, el edificio se desliza horizontal y verticalmente. Las fuerzas necesarias para mover el edificio hacia arriba limitan las fuerzas horizontales o laterales que de otro modo causarían deformaciones en el edificio. También al ajustar el radio de la superficie curva de los rodamientos, esta propiedad se puede usar para diseñar rodamientos que también alarguen el período de vibraciones del edificio. [55]

Uno de los más conocidos de esta clase es el sistema de péndulo friccional FPS (Frictional Pendulum System). El apoyo FPS se activa sólo cuando la fuerza de corte sobre la interface de aislación, debida a las fuerzas sísmicas, supera la fuerza de fricción estática. [58]

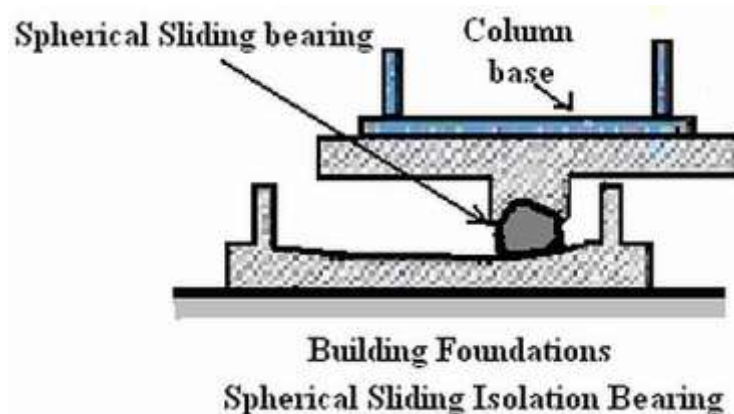


Figura 18. Sistema de aislamiento deslizante esférico.

Fuente: http://articles.architectjaved.com/earthquake_resistant_structures/files/2010/06/spherical-sliding-base-isolation.jpg

3.1.1.3. Sistema con cojinetes de aire

Ahora algunos ingenieros japoneses han llevado el aislamiento de base a un nuevo nivel. El sistema de aislamiento consiste en dispositivos que se basan en el concepto de flotación de la superestructura mediante cojines de aire. Sin embargo, flotar en cualquier momento puede ser un poco inestable ya que la estructura puede moverse no solo por la carga del terremoto sino también por la carga de viento o cualquier carga pequeña debido al contacto, por lo tanto es necesario saber si un terremoto ha ocurrido o no. Es por ello que el sistema utiliza una alerta temprana de terremoto (EEW por sus siglas en inglés)

Su sistema de hecho levita un edificio sobre un cojín de aire. El sistema consiste en cojinetes de aire para flotar la estructura, un aire compresor para proporcionar aire comprimido a los cojinetes, un aire tanque para acumular aire comprimido, una computadora para analizar información de EEW y determinar la activación del sistema.

Así es como funciona: los sensores de EEW en el edificio detectan la actividad sísmica reveladora de un terremoto. La red de sensores se comunica con un compresor de aire que, dentro de medio segundo de ser alertado, fuerza el aire entre el edificio y su base. El cojín de aire levanta la estructura hasta 1.18 pulgadas (3 centímetros) del suelo, aislándola de las fuerzas que podrían desgarrarla. Cuando el terremoto disminuye, el compresor se apaga y el edificio vuelve a su cimentación. [59]

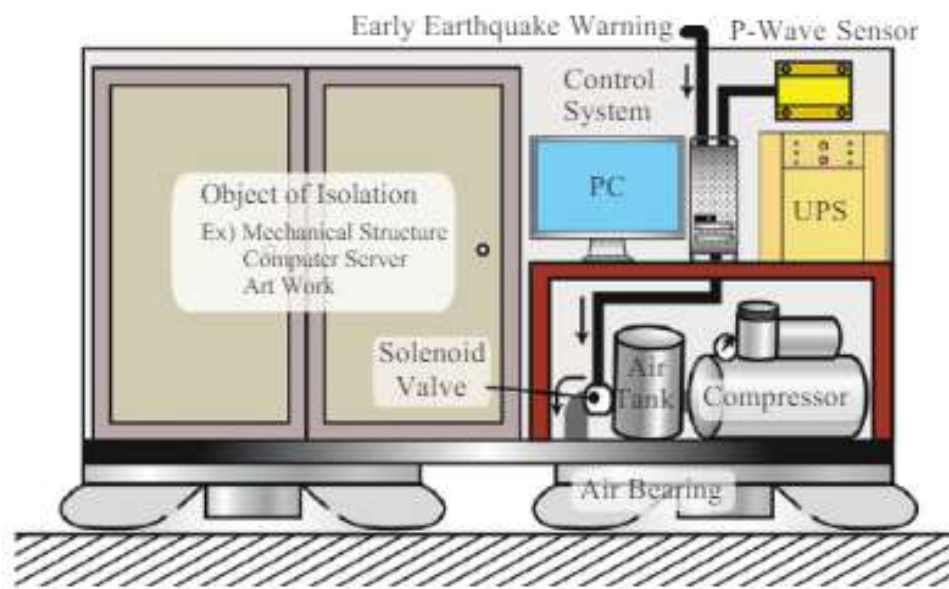


Figura 19. Sistema de aislamiento inteligente con cojinetes de aire. [60]

Las características de este sistema de aislamiento inteligente son: [60]

- El sistema tiene un rendimiento sísmico adecuado, porque la estructura aislada “flota” y se desliza sobre una superficie de baja fricción debido a una delgada película de aire. Además, el dispositivo aislante funciona con un compresor de aire, por lo que el sistema posee alta seguridad.
- Si la estructura aún no está flotando cuando llega el movimiento principal, las almohadillas de soporte de los cojines de aire aíslan la estructura del movimiento del suelo por deslizamiento. Es decir, los cojines de aire se comportan como un aislante de fricción.
- El sistema, además del EEW, posee sensores de ondas sísmicas, por lo tanto la estructura flotará antes que llegue la onda fuerte.
- Posee un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS, por sus siglas en inglés) que asegura el adecuado funcionamiento del sistema de aislamiento durante el terremoto.

3.1.1.4. Sistema de placas oscilantes. Aislamiento de base de Alaska

Un nuevo concepto que supera la mayoría de las limitaciones de diseños de aislamiento de base más antiguos. Con la invención de la placa oscilante como parte de la viga oscilante, nació un nuevo componente de construcción (Figura 20). Este sistema de aislamiento de base tiene el propósito de absorber la energía de desplazamiento de la onda sísmica en todas las direcciones. Este diseño único puede ampliarse para cargas muy grandes y pesadas o reducirse para proteger equipos sensibles de cargas y movimientos destructivos. Esta invención es particularmente adecuada para reducir el choque inicial del desplazamiento de tierra horizontal. Este sistema tiene una forma de diseño simple y, por lo tanto, es económico de construir, es fácil de diseñar y desplegar, no requiere material poco común y requiere muy poco mantenimiento o una electrónica avanzada.

La tecnología de péndulo a horcajadas cuesta menos. Tiene un factor de forma simple que es fácil de construir. Manejará desplazamientos de tierra más grandes. Tiene muchas opciones para amortiguar el movimiento. Requiere muy poco mantenimiento. Tiene una larga vida útil con un rendimiento constante en condiciones de calor o frío extremos porque

no contiene aceites ni cauchos. Y puede ser diseñado para actuar como un amortiguador de masa sintonizado. [61]

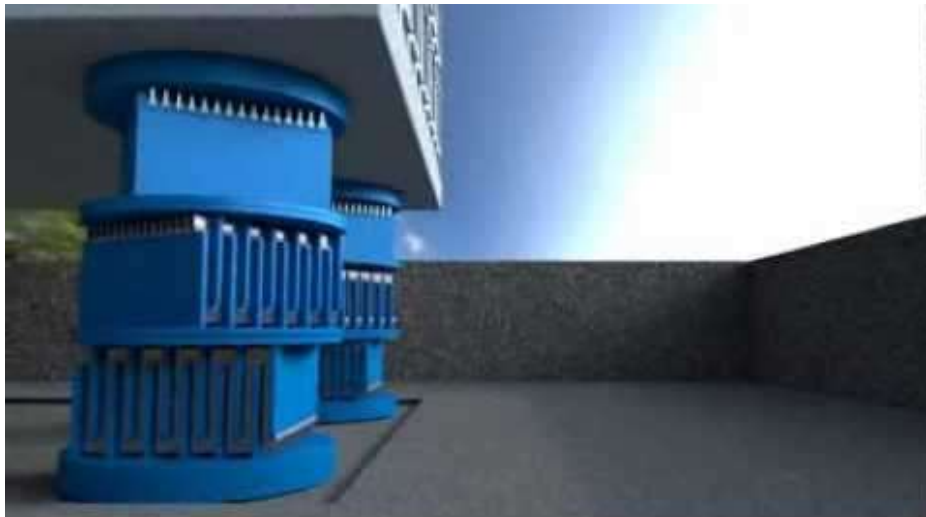


Figura 20. Sistema de aislamiento con placas oscilantes.

Fuente: <http://img.youtube.com/vi/J2eHCxB-K7s/hqdefault.jpg>

Todas las placas de acero planas forman ángulos rectos (muy fuertes) y luego se sueldan fácilmente para formar los componentes de paredes superiores e inferiores. Luego las bandejas de placas se encuentran encima de las paredes. Estas bandejas de placas tienen ranuras semicirculares para sostener el rodamiento cilíndrico redondo, el rodamiento del cilindro tiene una longitud de corte de ranura recta para sostener las placas oscilantes, las placas oscilantes pueden ser de 1/2 pulgada, hasta 3 pulgadas de grosor. (Figura 21)

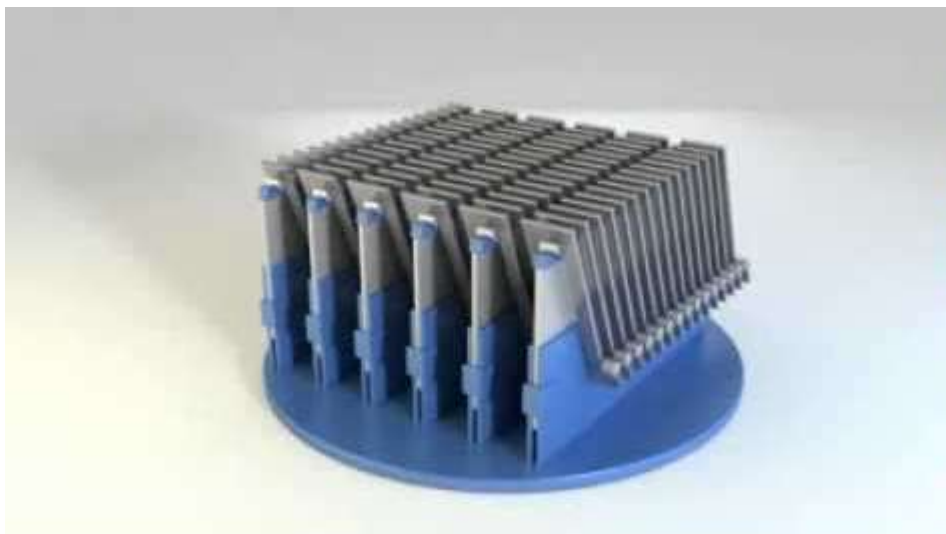


Figura 21. Funcionamiento de las placas oscilantes en el aislador de base.

Fuente: https://i.ytimg.com/vi/8r6eV_L5xKM/hqdefault.jpg

En la actualidad se está trabajando en una nueva unidad que incluya el amortiguamiento vertical.

3.1.1.5. Sistema de aislador de base cinemático (Kinematic base isolation system)

El aislador cinemático se propuso inicialmente como una solución de bajo costo para la protección sísmica de viviendas para personas de bajos ingresos, generalmente ubicadas en la periferia de las grandes ciudades, donde las condiciones normales a malas son comunes. Por lo tanto, el aislador también es una base de pilotes con un cable pretensado central y dos superficies de acero rodante en los extremos superior e inferior. Variando las formas de las superficies de rodadura extremas, se pueden obtener diferentes relaciones constitutivas de fuerza-deformación para el aislador. La disipación de energía se introduce al ceder el refuerzo pasivo en la interfase rodante. Además de indicar la formulación de deformación grande del elemento, aquí se estudian varios aspectos relevantes del comportamiento de estos dispositivos, como el aumento de la tensión del cable pretensado central, responsable de la acción autocentrante del aislador, la elevación del suelo que resulta de la geometría del aislador y la estabilidad vertical del sistema. [62]



Figura 22. Modelo a escala de un sistema de aislamiento cinético.

Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/Tqr0k4Dw2FM/mqdefault.jpg>

3.1.2. Amortiguamiento en estructuras

Los edificios altos no pueden estar aislados en la base o podrían volcarse. Al ser muy flexible en comparación con edificios de poca altura, es necesario controlar su desplazamiento horizontal. Esto se puede lograr mediante el uso de amortiguadores, que absorben una buena parte de la energía que hace que el desplazamiento sea tolerable. El reacondicionamiento de edificios existentes a menudo es más fácil con amortiguadores que con aisladores de base, especialmente si la aplicación es externa o no interfiere con los ocupantes.

Se considera que las estructuras de hormigón armado poseen un 5% de amortiguamiento inherente, mientras que las estructuras de acero se cree que tienen un 2% de amortiguación. Sin embargo, las mediciones reales del sitio han demostrado que la amortiguación intrínseca de los edificios es mucho más complicada y variable que las cifras genéricas de 1.3 y 5%. La amortiguación se reduce a medida que aumenta la altura y también los niveles de amortiguación difieren mucho de un edificio a otro. Para construir hasta 50 metros de altura, la amortiguación intrínseca medida se vio que variaba de 1 a 5%, mientras que para estructuras muy altas de más de 200 metros de altura, la amortiguación intrínseca era solo de 0,5 a 1%. Lo que es más preocupante es que esta amortiguación intrínseca no se puede conocer o calcular con precisión en la etapa de diseño. [63]

La única manera de determinar la amortiguación correcta es mediante pruebas físicas y mediciones una vez que se construye el edificio. Esta incertidumbre en los niveles de amortiguación puede resultar fatal en condiciones sísmicas.

Para probar el caso en cuestión si en realidad la amortiguación es de 1%, mientras el diseñador ha diseñado el edificio suponiendo un 5% de amortiguación, entonces la estructura así diseñada no podrá funcionar a los estándares esperados en caso de un terremoto.

Esto enfatiza el proceso de pensamiento de que los diseñadores deben asumir un valor de amortiguación conservador mientras diseñan, de lo contrario es casi seguro que incluso con el análisis y diseño asistido por computadora, los edificios diseñados serían inseguros.

Se puede agregar muy fácilmente una amortiguación diseñada y precisa adicional a los edificios mediante la instalación de ciertos dispositivos mecánicos llamados amortiguadores. Los amortiguadores pueden proporcionar una amortiguación de hasta el 25-30% de los

críticos, lo que garantiza que el edificio funcionará muy bien en condiciones sísmicas como también fuertes vientos en el caso de edificios muy altos.

Los amortiguadores actúan disipadores de energía durante cualquier tipo de movimiento y evitan que el edificio se dañe. Mediante el uso de amortiguadores, el diseñador puede superar las incertidumbres de baja amortiguación intrínseca y esto ayuda a predecir la respuesta dinámica con precisión. Al agregar amortiguación adicional, la rigidez y la masa del edificio también pueden reducirse, garantizando que el edificio esté ahora sometido a fuerzas sísmicas más bajas.

Las ventajas de la amortiguación adicional son la reducción de la oscilación del edificio evitando daños a componentes estructurales y no estructurales, fuerzas de diseño reducidas, ya que gran parte de la energía es disipada por los amortiguadores y la incertidumbre en el nivel de amortiguación intrínseca se supera mediante amortiguación suplementaria.

La amortiguación suplementaria es también la forma más eficiente y rentable de lograr la disipación de energía en los edificios. Esto significaría inadvertidamente una disminución de la demanda de disipación de energía en los componentes estructurales, es decir, vigas / columnas / losas, aumentando así la capacidad de supervivencia de la estructura del edificio. Los amortiguadores son dispositivos mecánicos cuya función es absorber y disipar la energía suministrada por el movimiento del suelo durante un terremoto, de modo que el edificio permanezca ileso.

Cuando el edificio está en movimiento durante un terremoto o vientos excesivos, los amortiguadores ayudan a evitar que el edificio se balancee excesivamente y, por lo tanto, previene el daño estructural. La energía absorbida por los amortiguadores se convierte en calor que luego se disipa inofensivamente en la atmósfera.

3.1.3. Dispositivos de amortiguación

En los últimos años, ha habido un constante desarrollo de tecnología de protección sísmica, como es el caso de los sistemas de disipación de energía, resultando de la necesidad del diseño incremental de edificios de gran altura localizados en áreas altamente sísmicas, con la principal meta de mejorar el desempeño sísmico. [64]

El uso de amortiguadores o dispositivos de disipación de energía es uno de los métodos de control de la vibración de las estructuras bajo cargas sísmicas. Las aplicaciones de estos dispositivos en el diseño de los edificios nuevos y la modernización de la existencia de edificios son posibles

Uno de los enfoques para controlar el daño sísmico en los edificios y mejorar su desempeño sísmico es mediante la instalación de amortiguadores sísmicos en lugar de elementos estructurales, como los apoyos diagonales. Estos amortiguadores actúan como los amortiguadores hidráulicos en los automóviles: gran parte de los tirones repentinos se absorben en los fluidos hidráulicos y, sólo un poco se transmite al chasis del automóvil. Cuando la energía sísmica se transmite a través de ellos, los amortiguadores absorben parte de ella y, por lo tanto, amortiguan el movimiento del edificio. [65]

Por lo tanto, al equipar un edificio con dispositivos adicionales que tienen una gran capacidad de amortiguación, podemos reducir en gran medida la energía sísmica que ingresa al edificio. Los amortiguadores funcionan así para absorber los choques de terremoto, asegurando que los miembros estructurales, es decir, la viga y las columnas permanecen ilesas. Hay cuatro tipos de amortiguadores, es decir, Viscoelástico, Fricción, Rendimiento Metálico y Fluido Viscoso. (Anexo 2)

3.1.3.1. Amortiguadores viscosos

La energía es absorbida por el fluido a base de silicona que pasa entre la disposición del cilindro del pistón. La construcción de un amortiguador viscoso o de fluidos se parece al amortiguador común que se encuentra en los automóviles. El pistón transmite energía moviendo el fluido en el regulador, este movimiento del fluido absorbe la energía cinética convirtiéndola en calor. En automóviles, esto significa que una descarga recibida en la rueda se amortigua antes que llegue al compartimento de pasajeros. En los edificios, esto puede significar que la estructura del edificio protegida por amortiguadores sufrirá considerablemente menos movimiento horizontal y daños durante un terremoto.

La operación es simple, durante un terremoto, la fuerza generada por la aceleración impuesta se transmite al amortiguador, el cual regula el paso de fluido comprimido a través de pequeños hoyos. La energía sísmica es disipada tan rápido como el líquido fluye a través de los agujeros. [64]

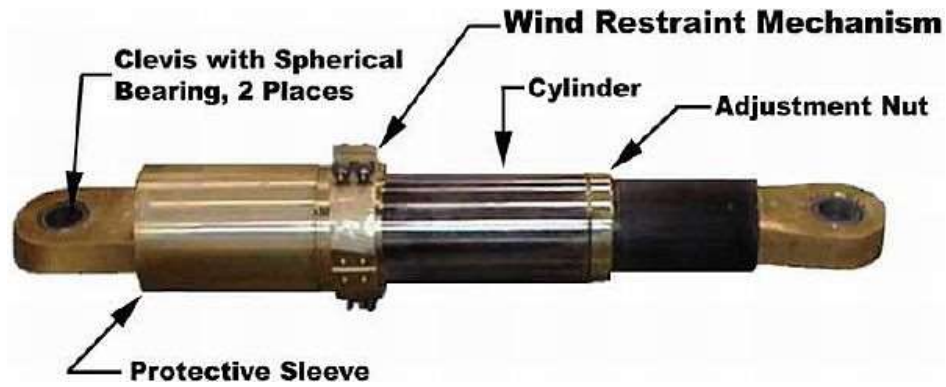


Figura 23. Amortiguador viscoso. [65]

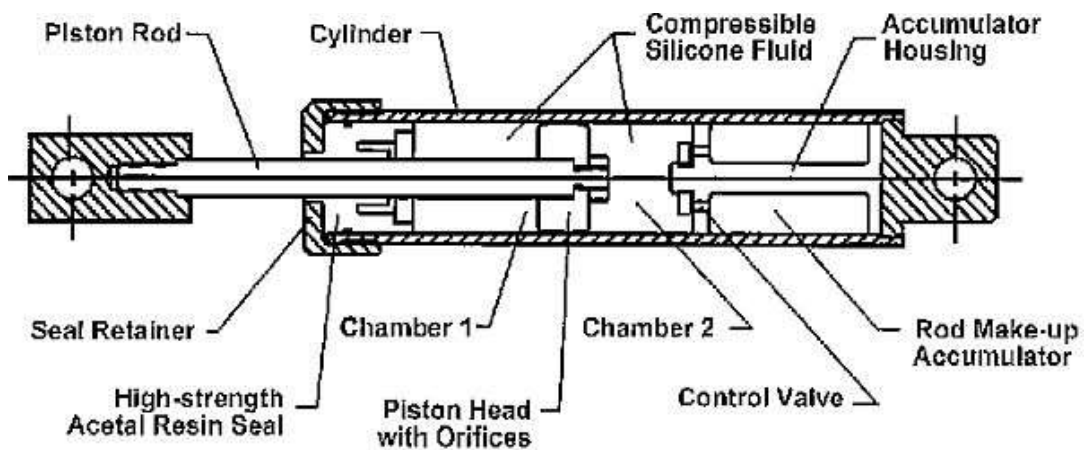


Figura 24. Funcionamiento de un amortiguador viscoso. [64]

3.1.3.2. Amortiguadores de fricción

Los amortiguadores de fricción son uno de los sistemas de control pasivo que tienen una aplicación creciente en los cuadros de momento. Estos son muchos proyectos de tales amortiguadores en todo el mundo. El amortiguador de fricción funciona según el mecanismo de fricción entre los materiales rígidos. De hecho, la fricción es un gran mecanismo de disipación de energía, utilizado en los sistemas de frenos de automóviles de forma exitosa y extensa.

La energía es absorbida por las superficies frotando entre sí. Los dispositivos amortiguadores de fricción consisten en placas de acero que giran una contra otra en direcciones opuestas. Las placas de acero están separadas por almohadillas que producen fricción entre las placas de acero.



Figura 25. Dispositivo de amortiguación por fricción.

Fuente:

<https://static1.squarespace.com/static/559eb433e4b072707d36ae92/t/55a52901e4b046e960e94f3b/1436887300938/?format=750w>



Figura 26. Mecanismo de un amortiguador de fricción.

Fuente:

<https://static1.squarespace.com/static/559eb433e4b072707d36ae92/t/55a52b88e4b01d30adbebd2d/1436887945905/?format=750w>

Cuando una fuerza externa excita una estructura de marco, la viga se desplaza horizontalmente debido a la fuerza. El amortiguador seguirá el movimiento de la placa central debido a las fuerzas de tracción entre los elementos de arriostramiento. Cuando las fuerzas aplicadas se invierten. Las placas rotarán en sentido contrario. El amortiguador disipa la energía por medio de la fricción entre las superficies. [65]

3.1.3.3. Amortiguadores de deformación o de rendimiento metálico (Metallic-yielding dampers)

En los amortiguadores de deformación la energía es absorbida por los componentes metálicos que ceden. También conocido como el dispositivo de disipación de energía de rendimiento metálico, como un dispositivo de disipación de energía pasiva bien conocido, proporciona una nueva forma de resistir las cargas impuestas a las estructurales. La respuesta

estructural puede reducirse cuando se somete a vientos y terremotos mediante el montaje de amortiguadores metálicos de rendimiento en los edificios, con lo que se reduce la demanda de disipación de energía en los miembros estructurales primarios y se minimiza el posible daño estructural. Su efectividad y bajo costo ahora son bien reconocidos y ampliamente probados en el pasado en ingeniería civil. Los MYD están hechos principalmente de algún metal especial o material de aleación y es fácil de obtener y tienen un buen rendimiento de disipación de energía cuando se utiliza en la estructura que sufrió los eventos sísmicos.

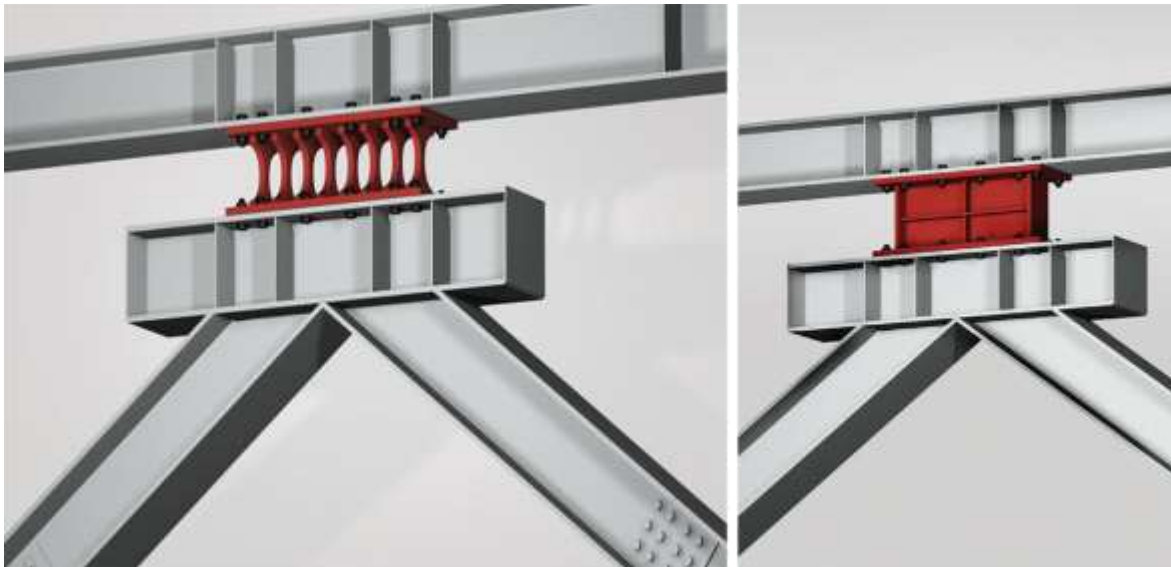


Figura 27. Amortiguador de rendimiento metálico convencional.

Fuente: <http://www.roadjz.com/en/upfile/201701/2017012348243401.png>

La teoría de trabajo de MYD se basa en el principio de que el dispositivo metálico se deforma plásticamente, disipando así la energía vibratoria y reduciendo el daño a la estructura primaria. La parte funcional principal del amortiguador de rendimiento metálico está hecha de un material especial de metal o aleación. La deformación inelástica del metal es un mecanismo efectivo para la disipación de energía de los terremotos de entrada. Además, el metal es también una opción popular y económica para un dispositivo de disipación de energía debido a su rigidez elástica relativamente alta, buena ductilidad y alto potencial para disipar energía en la región posterior al rendimiento. Cuando la estructura sufre por los eventos sísmicos, los amortiguadores de rendimiento metálico son muy fáciles de obtener y disipan la energía de los eventos sísmicos de manera suficiente. [66]

Otro modelo de amortiguador de deformación es el llamado U-shaped metallic-yielding dampers, que busca disipar energía mediante el trabajo conjunto de piezas metálicas

en forma de U entre otras grandes planchas metálicas que sirven de soporte. Esta tecnología es aplicada en grandes rascacielos como la Torre Titanium la Portada, en Chile (Figura 50).

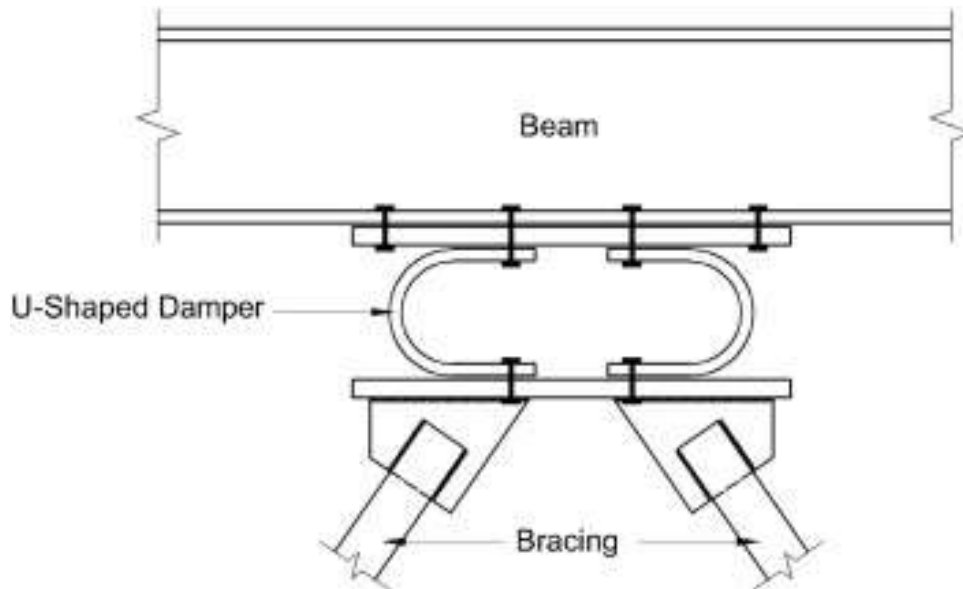


Figura 28. U-shaped metallic-yielding damper

Fuente: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2352012415000508-gr3.jpg>

3.1.4. El poder del péndulo: Amortiguador de masa sintonizado.

La amortiguación puede tomar muchas formas. Otra solución, especialmente para los rascacielos, consiste en suspender una enorme masa cerca de la parte superior de la estructura. Los cables de acero soportan la masa, mientras que los amortiguadores de fluido viscoso se encuentran entre la masa y el edificio que está tratando de proteger. Cuando la actividad sísmica hace que el edificio se balancee, el péndulo se mueve en la dirección opuesta, disipando la energía.

Los ingenieros se refieren a tales sistemas como amortiguadores de masa sintonizados porque cada péndulo se ajusta con precisión a la frecuencia vibratoria natural de una estructura. Si el movimiento del suelo hace que un edificio oscile a su frecuencia de resonancia, el edificio vibrará con una gran cantidad de energía y es probable que experimente daños. El trabajo de un amortiguador de masa sintonizado es contrarrestar la resonancia y minimizar la respuesta dinámica de la estructura. Este tipo de mecanismos

utiliza el acoplamiento entre la frecuencia natural de la estructura y un oscilador simple para reducir la respuesta dinámica de la estructura. [67]

Uno de los más claros ejemplos de un amortiguador de masa sintonizada corresponde al utilizado en la Torre Taipei 101, en Taiwan.



Figura 29. Amortiguador de masa utilizado en el Taipei 101.

Fuente: <https://edukavital.blogspot.com/2014/09/el-amortiguador-de-masa-sintonizado-728.html>.

3.1.5. Corazón de roca: Núcleo de hormigón.

En muchos edificios modernos de gran altura, los ingenieros utilizan la construcción de pared central para aumentar el rendimiento sísmico a un menor costo. En este diseño, un núcleo de hormigón armado atraviesa el corazón de la estructura, rodeando los bancos de ascensores. Para edificios extremadamente altos, la pared del núcleo puede ser bastante considerable: al menos 30 pies en cada dirección del plano y de 18 a 30 pulgadas de espesor.

Si bien la construcción del muro central ayuda a los edificios a resistir los terremotos, no es una tecnología perfecta. Los investigadores han descubierto que los edificios de base fija con muros de núcleo aún pueden experimentar importantes deformaciones inelásticas, grandes fuerzas de corte y aceleraciones dañinas en el piso. Una solución, como ya hemos discutido, involucra el aislamiento de la base, flotando el edificio sobre los rodamientos de plomo y caucho. Este diseño reduce las aceleraciones del piso y las fuerzas de corte, pero no previene la deformación en la base de la pared del núcleo.

Una mejor solución para las estructuras en las zonas de terremotos requiere una pared de núcleo oscilante combinada con aislamiento de base. Una pared de núcleo oscilante se balancea al nivel del suelo para evitar que el concreto en la pared se deforme permanentemente. Para lograr esto, los ingenieros refuerzan los dos niveles inferiores del edificio con acero e incorporan postesado a lo largo de toda la altura. En los sistemas de postesado, los tendones de acero se roscan a través de la pared del núcleo. Los tendones actúan como bandas elásticas, que pueden tensarse estrechamente mediante gatos hidráulicos para aumentar la resistencia a la tracción de la pared central. [68]

De entre las grandes estructuras que utilizan en su diseño un núcleo de hormigón se encuentra la Gran Torre Santiago, en Santiago de Chile (Figura 52).

3.1.6. Capa de invisibilidad sísmica.

Las aplicaciones de la física podrían hacer que las consecuencias de los devastadores terremotos sean cada vez menores en los edificios. La idea del "manto sísmico" proviene de investigadores en el Reino Unido, Italia y Francia, algunos de los cuales fueron los primeros en demostrar que la física de las capas de invisibilidad podría tener otras aplicaciones

En el año 2000, el físico teórico John Pendry, del Imperial College de Londres, propuso una vía para conseguir la invisibilidad en objetos. En el año 2006 su teoría se confirmó con los primeros experimentos que hacían desaparecer objetos a simple vista. Para ello utilizaron metamateriales con estructuras geométricas más pequeñas que las longitudes de onda que la luz que estaban desviando. Así consiguieron guiar las microondas a través de un cilindro de cobre, lo cual permitía que cualquiera que mirara a través del detector de microondas viera simplemente un espacio vacío. [69]

A partir de este mismo concepto, el equipo de investigadores liderado por Sebastien Guenneau de la Universidad de Liverpool en el Reino Unido, su colega de Liverpool Sasha Movchan, Michele Brun en la Universidad de Cagliari, Italia, y Stefan Enoch y Mohamed Farhat en el Fresnel Institute (CNRS) en Marsella, Francia, ha calculado la forma con la que convertir la tierra bajo nuestros pies en una suerte capa de invisibilidad que desvía y anula las ondas sísmicas. Lo que propone el equipo es convertir un área en invisible para las ondas sísmicas. Para ello quieren utilizar el mismo concepto teórico que se aplica para hacer desaparecer los objetos a través de metamateriales. Las ondas sísmicas de un terremoto se

dividen en dos grupos principales: las ondas del cuerpo que se propagan a través de la Tierra y las ondas superficiales que viajan solo a través de la superficie. Esta capa inhibidora se centra en la protección de los edificios frente a las ondas superficiales producidas en un evento telúrico que generalmente son las más destructivas que causan estragos en las estructuras.



Figura 30. Disposición de anillos concéntricos para formar el manto sísmico

Fuente: <https://i2.wp.com/blogthinkbig.com/wp-content/uploads/2014/06/Ondas-s%C3%ADsmicas.jpg>

Este sistema consta de una serie de hasta un máximo de 100 anillos concéntricos incorporados bajo el edificio, cada uno sintonizado a una frecuencia determinada (Figura 30). De esta forma, cuando vienen las ondas a lo largo de la superficie, los anillos que están sintonizados en particular, recuperan la mayor parte de esa frecuencia y comienzan a vibrar a lo largo de la misma. Posteriormente, estos anillos situados alrededor del edificio, desvían las ondas de choque hacia otra dirección concreta para su eliminación.

En experimentos realizados por estos grupos de investigadores, y tal y como estaba predicho en modelos teóricos, la energía se dispersó en gran medida llegando a registrarse tan solo un 20% de la energía total de la prueba de control. [70]

En el trabajo publicado en la revista *Physics Review Letters* de marzo de este año explican que para disipar ondas sísmicas de 1,5 metros se necesita realizar agujeros en la tierra de 30 centímetros de ancho y separados unos de otros 1,73 metros. Cuando se produzca un terremoto, cada agujero dispersará una onda. La acción conjunta de este fenómeno permitirá que las ondas se contrarrestarán hasta eliminarse evitando cualquier vibración [71].

Para proteger un edificio de 10 metros de ancho, cada anillo tendría que ser de 1 a 10 metros de diámetro y 10 centímetros de espesor.

El problema es que el metamaterial está hecho para usarse a una longitud de onda específica con lo que no se puede asegurar que funcionaría en un terremoto normal. Por otra parte, estas ondas reflejadas han de ir hacia algún sitio con lo que lo más probable es que acabaran afectando a los edificios colindantes. Es por ello que ya se está estudiando absorber las ondas en lugar de reflejarlas. [72]

Guenneau sueña con que un día su teoría sirva para proteger a ciudades enteras de terremotos. Incluso cree que podría utilizarse para disipar la fuerza de los tsunamis utilizando columnas de madera estratégicamente colocadas a 200 metros de la costa.

3.1.7. Materiales novedosos

Una de las soluciones en la que siempre están trabajando los investigadores tratando de construir estructuras más resistentes es la inclusión de nuevos materiales que puedan soportar de mejor manera las cargas generadas.

3.1.7.1. Aleaciones de memoria de forma

La plasticidad de los materiales presenta un gran desafío para los ingenieros que intentan construir estructuras resistentes a los terremotos. La plasticidad describe la deformación que ocurre en cualquier material cuando se le aplican fuerzas. Si las fuerzas son lo suficientemente fuertes, la forma del material se puede alterar permanentemente, lo que compromete su capacidad de funcionar correctamente. El acero puede experimentar deformación plástica, pero también el concreto. Y sin embargo, ambos materiales se utilizan ampliamente en casi todos los proyectos de construcción comercial.

La gran mayoría de las estructuras están hechos de acero y hormigón. Si bien esta combinación es conveniente y económica, las estructuras de acero y concreto no se sostienen tan bien en terremotos fuertes (7.0 de magnitud o más). Las columnas reforzadas convencionales dependen del acero y el concreto para disipar la energía durante terremotos fuertes, creando potencialmente deformación y daños permanentes en la columna y volviendo inutilizable la columna.

Bajo la carga de terremotos, los ingenieros permiten el daño de zonas localizadas de concentración de esfuerzos para la disipación de la energía y evitar el colapso total de las estructuras. Si bien esta práctica es ampliamente aceptada, los efectos del daño pueden inferir con las operaciones de recuperación de desastres y tener un gran impacto económico en la comunidad. [73]

El ingeniero civil M. Saiid Saiidi de la Universidad de Nevada, Reno, y sus colegas, han descubierto una solución, han identificado varios materiales inteligentes como alternativas del acero y el hormigón en estructuras. Las aleaciones con memoria de forma son únicas en su capacidad para resistir una gran tensión y aun así regresar a su estado original, ya sea mediante calentamiento o superelasticidad.

Una aleación prometedora es el níquel titanio, o nitinol. Si bien la mayoría de las aleaciones con memoria de forma son solo sensibles a la temperatura, lo que significa que requieren una fuente de calor para volver a su forma original, el Nitinol también es superelástico (Figura 31). Esto significa que puede absorber el estrés impuesto por un terremoto y volver a su forma original, lo que hace que el nitinol sea una alternativa particularmente ventajosa al acero. De hecho, la superelasticidad del níquel titanio está entre 10 y 30 veces la elasticidad de metales normales como el acero.



Figura 31. Marcos de lentes hechos de nitinol

Fuente: http://www.samaterials.com/img/cms/Nitinol%20wire/bendable_glasses.jpg

Estos investigadores de la Universidad de Nevada, Reno, compararon el rendimiento sísmico de columnas de puentes de acero y hormigón con columnas de nitinol y hormigón. La aleación con memoria de forma superó a los materiales tradicionales en todos los niveles y experimentó mucho menos daño.

Si bien el costo inicial de un puente típico hecho de níquel titanio y estructura de concreto reforzado sería aproximadamente un 3% más alto que el costo de un puente convencional, el costo de vida útil del puente disminuiría. El puente no solo requeriría menos reparaciones, sino que también sería útil en caso de terremotos moderados y fuertes. Como resultado, luego de un fuerte terremoto, el puente permanecerá abierto a los vehículos de emergencia y a otro tipo de tráfico.

3.1.7.2. Biomateriales

Mientras que los ingenieros se conforman con las aleaciones de memoria de forma y las envolturas de fibra de carbono, anticipan un futuro en el que incluso materiales mejores estarán disponibles para la construcción resistente a terremotos. Y la inspiración para estos materiales probablemente provenga del reino animal. Consideremos el humilde mejillón, un molusco bivalvo que se encuentra junto a las rocas del océano y, aún después de haber sido removido y cocido al vapor en vino, permanece unidos a sus precarias perchas. Los mejillones secretan fibras pegajosas conocidas como hilos de sésal. Algunos de estos hilos son rígidos y rígidos, mientras que otros son flexibles y elásticos. Cuando una ola se estrella en un mejillón, se queda porque los hilos flexibles absorben el impacto y disipan la energía. Los investigadores incluso han calculado la proporción exacta de fibras rígidas a flexibles (80:20) que le da al mejillón su pegajosidad. Ahora se trata de desarrollar materiales de construcción que imiten al mejillón y su asombrosa capacidad para quedarse quieto. [74]



Figura 32. (i) Mejillones. (d) Seda de araña.

Fuente (i): https://r.hswstatic.com/w_907/gif/earthquake-technologies-10.jpg.

Fuente (d): <https://palomavaleva.com/site/wp-content/uploads/2015/10/cordes-pour-violon-en-soie-daraign%C3%A9e.jpg>.

Otro hilo interesante proviene del extremo sur de las arañas. Todos sabemos que, libra por libra, la seda de araña es más fuerte que el acero, pero los científicos del MIT (Massachusetts Institute of Technology) creen que es la respuesta dinámica del material natural sometido a una gran tensión lo que la hace tan única. Cuando los investigadores tiraron y tiraron de hebras individuales de seda de araña, descubrieron que los hilos eran inicialmente rígidos, luego elásticos y luego rígidos de nuevo. Es esta respuesta compleja, no lineal, la que hace que las telas de araña sean tan resistentes y la araña enrosque un material tan tentador como para imitar en la próxima generación de construcciones resistentes a los terremotos.

3.1.7.3. Cartón

Para países en desarrollo, donde no es económicamente viable incorporar tecnologías antisísmicas en casa o edificios, equipos de ingenieros trabajan en todo el mundo para diseñar estructuras resistentes a los terremotos utilizando materiales disponibles localmente o de fácil obtención.

Siendo este el caso, cabe mencionar al arquitecto japonés Shigeru Ban, ganador del Premio Pritzker 2014, uno de los galardones más importantes en arquitectura, por su conocido uso innovador de materiales como el cartón en algunos tipos de construcciones. Este arquitecto que ha estado construyendo con cartón desde 1986, ha diseñado todo, desde un museo de arte en Metz, Francia, hasta un alojamiento de emergencia después del terremoto y el tsunami en Japón.

Su obra más representativa se trata de la nueva Catedral de Transición, ubicada en Christchurch, Nueva Zelanda ([Figura 33](#)), ubicada en una zona de elevada actividad sísmica ya que este país forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. El antiguo edificio de la catedral fue destruida por el devastador terremoto de 2011.

Con una estructura de fachada en forma de A, hecha de 98 tubos de cartón gigantes con una base de madera, acero y concreto, la nueva Catedral de Transición albergará a 700 fieles y está diseñada para durar hasta 50 años. Los tubos están recubiertos con tres capas de poliuretano impermeable y la mayoría están protegidos por el techo de policarbonato, que es translúcido y se ilumina cuando la catedral se ilumina por la noche. Ban dice que la nueva catedral es a prueba de terremotos, a prueba de fuego y no se mojará en la lluvia. El arquitecto

japonés usaba papel para espacios interiores cuando se dio cuenta que era lo suficientemente fuerte para ser utilizado como elemento estructural puesto que la madera y el cartón pueden soportar terremotos que destruirían estructuras de hormigón. [75]



Figura 33. Catedral de Transición, en Christchurch, Nueva Zenada.

Fuente:

https://images.adsttc.com/media/images/5217/f9f3/e8e4/4e45/fc00/0010/slideshow/Anderson_MG_5559.jpg?1377303021



Figura 34. Estructura Principal de la Catedral de Transición constituida con tubos gigantes de cartón.

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/-vSOs1dqeYg/UX-jvpWU19I/AAAAAAAAAN0A/coPgWV1IBRI/s400/catedral+de+carton.jpg>

Las estructuras de cartón y madera son naturalmente más resistentes a los terremotos. El concreto es más pesado, por lo que tiene más inercia y también genera más impulso cuando se desplaza durante un terremoto. Además, la flexibilidad de la madera y el cartón significa que tienen más fuerza bajo tensión y pueden absorber mucha energía con el colapso. Otro aspecto positivo es que, si una estructura de cartón llegase a colapsar, es mucho menos probable aplastar a las personas reunidas en el interior.

La Catedral de Transición, que incluye vigas de madera dentro de los tubos de cartón que forman la estructura principal, está hecho para resistir hasta 1.2g de fuerza lateral, un evento que se esperaría en la región una vez en mil años.

3.1.7.4. Madera

El uso de madera como material estructural en edificios altos es un área de interés emergente por su variedad de beneficios potenciales; el más obvio es que es un recurso renovable, a diferencia de los métodos de construcción prevalecientes que usan hormigón y acero. La investigación también investiga otros beneficios potenciales, tales como costos reducidos y escalas de tiempo de construcción mejoradas, mayor resistencia al fuego y una reducción significativa en el peso total de los edificios [76]. Una propuesta interesante de construcción en madera es la Torre de Madera de Oakwood en Londres, Reino Unido, una torre de uso mixto de 1 millón de pies cuadrados que albergará más de 1000 nuevas unidades residenciales y terrazas de mediana altura.



Figura 35. Torre de Madera de Oakwood en Londres, Reino Unido [76]

Con 65.000 m³ de madera, 300 metros de altura y 88 pisos será la construcción más alta en este material si llega erigirse y nace con la clara vocación de divulgar desde su privilegiada ubicación las bondades de las estructuras de madera.

La investigación de edificios altos de madera también busca crear nuevos potenciales de diseño con edificios de madera, en lugar de simplemente copiar las formas de la construcción de acero y hormigón. La transición a la construcción de madera puede tener un impacto positivo más amplio en los entornos urbanos y la forma construida, y ofrece oportunidades no solo para repensar la estética de los edificios, sino también las metodologías estructurales que informan su diseño.

Las ventajas que ofrece la madera como material de construcción son numerosas, pues en primer lugar, es un material ligero que facilita su transporte, y más barato, tanto en su producción como en el resultado de la edificación, pues reduce tiempos de construcción y maquinaria; es más eficiente energéticamente que otros materiales como el hormigón y se puede decir que es “técnicamente renovable” si se hace uso de un cultivo responsable.

En comparación con los materiales más habituales en las estructuras (acero y hormigón), la madera tiene un comportamiento mecánico muy particular, que tal vez la ha convertido en algo demasiado desconocido entre los técnicos que se dedican al diseño y construcción de las estructuras.

Sin embargo, la madera es un material con muy buenas cualidades estructurales, que cada vez se utiliza más, en los últimos años incluso para construir edificios en altura. Esto, y sus ventajas de sostenibilidad y respecto al medio ambiente, la convierten en una opción con un gran futuro de desarrollo y expansión. [77]

3.1.7.5. Bricker

Mientras que Turquía es conocida como un destino de vacaciones caluroso y soleado, también se enfrenta a bajas temperaturas, lo que significa que tiene necesidades sustanciales de calefacción y refrigeración para sus edificios. El país también se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas del mundo y las medidas de eficiencia energética deben ser resistentes a los terremotos.

Una consideración adicional es la ubicación del país en una de las regiones más sísmicamente activas del mundo. Esto requiere una cuidadosa selección de medidas de

eficiencia energética para garantizar el cumplimiento de las normas de construcción de terremotos. Estos estándares tienen prioridad sobre cualquier trabajo de retroadaptación si los materiales y sistemas utilizados no coinciden con los requisitos de seguridad.



Figura 36. Hospital Universitario Adnan Menderes.

Fuente: http://www.rankweb.es/files/file1341_amu.jpg

Un ejemplo es el cambio de imagen verde del Hospital Universitario Adnan Menderes, en el oeste de Turquía, donde los colectores solares parabólicos con seguimiento solar, que producirán alrededor de 1.000kW, se están instalando bajo un proyecto de demostración europeo llamado BRICKER.

Aunque no está diseñado específicamente para un área propensa a terremotos, esta medida cumple con las regulaciones de resistencia sísmica, debido a que el campo solar se construye a nivel del suelo y ligeramente alejado de cualquier edificio. La intervención también incluye un nuevo sistema de tres generaciones que produce electricidad, calefacción y refrigeración de una sola vez, lo que hace que la energía vaya más allá. [78]

El proyecto BRICKER es una iniciativa de cuatro años destinada a desarrollar un sistema replicable y rentable para la modernización de edificios existentes no públicos de propiedad pública. Al implementar un paquete de medidas en dos sitios de demostración diferentes en condiciones reales, proporcionará orientación y estrategias para abordar tanto la tecnología como los desafíos regulatorios.

3.1.8. Refuerzo con fibras

Tiene sentido considerar la resistencia a los terremotos cuando se está construyendo una nueva estructura, pero la adaptación de edificios antiguos para mejorar su desempeño sísmico es igualmente importante.

3.1.8.1. Envolturas con fibra de carbono

Una solución prometedora para mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones y quizás mucho más fácil de implementar que aisladores de base o disipadores, requiere de una tecnología conocida como envoltura de plástico reforzado con fibras o FRP. Los fabricantes producen estas envolturas mezclando fibras de carbono con polímeros aglutinantes, como epoxi, poliéster, éster de vinilo o nylon, para crear un material compuesto ligero pero increíblemente fuerte. [79]



Figura 37. Refuerzo de estructuras con envolturas de FRP

Fuente: https://www.construnario.com/notiweb/noticias_imagenes/28000/28893.jpg

En su procedimiento, los ingenieros simplemente envuelven el material alrededor de las columnas de soporte de concreto de los puentes o edificios y luego bombean epoxi presurizado en el espacio entre la columna y el material. Según los requisitos de diseño, los ingenieros pueden repetir este proceso seis u ocho veces, creando un haz envuelto en una momia con una resistencia y ductilidad significativamente más altas. Sorprendentemente, incluso las columnas dañadas por el terremoto pueden repararse con envolturas de fibra de carbono. En un estudio, los investigadores encontraron que las columnas debilitadas del puente de la carretera captadas con el material compuesto eran 24 a 38 por ciento más fuertes que las columnas sin envolver. [80]

3.1.8.2. Papel Tapiz Sísmico

El último avance en Italia, con el objetivo de reducir o prevenir la pérdida de vidas y propiedades cuando ocurren eventos repentinos como los terremotos, es el “Papel Tapiz Sísmico”, material delgado y tejido hecho de fibras de vidrio y plástico que se adhiere a las paredes para aumentar su resistencia al agrietamiento y al colapso. Este tipo de textiles también se puede usar para reforzar los diques y terraplenes construidos para prevenir derrumbes e inundaciones.

Las estructuras textiles se usan ampliamente en la construcción en forma de geotextiles. En aplicaciones geotécnicas, estos materiales proporcionan refuerzo para pendientes, estructuras de retención, carreteras, terraplenes, así como varias estructuras de drenaje. En las aplicaciones de albañilería, los textiles están adquiriendo mayor importancia ya que proporcionan una técnica no intrusiva para proporcionar resistencia de refuerzo a una estructura (dañada o no dañada) [81]. El reacondicionamiento de muros de mampostería y estructuras de suelo existente es particularmente importante para la protección de edificios históricos y otras estructuras. Las estructuras de mampostería no reforzada son altamente vulnerables porque al estar originalmente diseñadas para cargas de gravedad, a menudo no pueden soportar cargas horizontales dinámicas en caso de fuertes terremotos.

Liderando este esfuerzo revolucionario está el proyecto POLYTECT (por sus siglas en inglés de Textiles Técnicos Polifuncionales) financiado con fondos comunitarios uniendo investigadores de 12 países para actuar en contra de los peligros naturales.

El coordinador del proyecto POLYTECT Donato Zangani, de la firma de ingeniería con sede en Génova D’Appolonia en Italia, junto con su equipo descubrió una forma de unir fibras de vidrio y plástico en tres direcciones diferentes, con el objetivo de dar soporte a las edificaciones independientemente de la dirección en que viajan las ondas sísmicas. Este grupo de investigadores encontró la manera de tejer sensores de fibra óptica en el papel tapiz usando señales láser para monitorear el estado de las paredes antes, durante y después de un terremoto. Estos sensores pueden informar si existe algún daño en la pared y, de ser así, dónde están localizados. De esta manera se puede determinar si un edificio es todavía seguro.

Este revolucionario material de reforzamiento fue probado exhaustivamente en el Centro Europeo de Formación e Investigación de Ingeniería de Terremotos en Pavia, Italia, que tiene una mesa vibratoria que mide la capacidad de las estructuras para resistir sacudidas violentas. En la prueba fue construida una casa de mampostería se piedra de dos pisos y casi

5 metros de altura, similar a los edificios existentes en áreas históricas del centro de Italia, esta casa casi de derrumba ante las sacudidas. Luego, la casa fue reparada y recubierta con el Papel Tapiz Sísmico y permaneció intacta cuando fue sometida a sacudidas nuevamente. [82]

Debido a que son rígidos y quebradizos, los edificios de mampostería se pueden agrietar y colapsar muy rápidamente durante un terremoto. La clave del Papel Tapiz Sísmico es que absorbe y disipa parte de la energía del terremoto. El papel tapiz, que se puede pintar, tiene varios milímetros de grosor y pegado a paredes internas o externas con aproximadamente 1 centímetro de adhesivo a base de mortero.



Figura 38. Agrietamiento de paredes de mampostería por efecto de los terremotos.

Fuente: <https://media.metrolatam.com/2018/01/24/447865096921cc538da1-1200x600.jpg>

Las pruebas han demostrado que el material de POLYTECT puede aumentar más de tres veces la resistencia estructural de los edificios, y le da a las paredes agrietadas una resistencia adicional para resistir la acción sísmica. También se pueden incorporar textiles similares en los diques y otras barreras de tierra para evitar o disminuir inundaciones y deslizamientos de tierra, y, como en los edificios, usar sensores para identificar puntos débiles y proporcionar una alarma en caso fallas.

Un material similar ha sido desarrollado en Colombia por Bayer Material Science bajo el nombre de EQ-Top, una medida de protección económica y efectiva para terremotos, en forma de tejido de fibra de vidrio combinada con un adhesivo especial que “se pega a la

pared como un papel mural” e incrementa la estabilidad de la estructura, y por lo tanto reduce el riesgo de que la misma se convierta en una trampa mortal.

EQ-Top permite fortalecer sistemáticamente los puntos débiles de los muros de mampostería en donde el estrés es especialmente alto, como las esquinas de los marcos de las puertas, ventanas o el mortero entre ladrillos (Figura 36). Distribuye el impacto de la energía del terremoto a través de toda la superficie de la pared, lo que ayuda a absorber la energía y previene punto de concentración del estrés.

EQ-Top fue capaz de probar su valor en numerosas pruebas. Los investigadores llevaron su sistema al límite en los ensayos. Se usaron gigantescas prensas hidráulicas para aplastar un segmento de pared después del otro – algunas reforzadas por el sistema EQ-Top y otras sin él, para hacer la comparación. La diferencia fue notable. Los ladrillos de la pared protegida no se derrumbaron bajo la presión fuerte, pues el tejido de fibra de vidrio y el adhesivo siempre la mantuvieron unida. En contraste, la pared no reforzada simplemente colapsó. [83]

Los investigadores están convencidos que sistemas como el EQ-Top o POLYTECT pudieron haber prevenido las consecuencias más graves de algunos terremotos como el de Nueva Zelanda en el 2011 donde muchas paredes se derrumbaron y muchas casas colapsaron.

3.1.9. Exoesqueleto

Hoy en día, los edificios en Europa generalmente no están preparados para enfrentar terremotos importantes, excepto los construidos bajo códigos de construcción recientes. Existe una gran necesidad de mejorar la seguridad de los edificios salvando vidas. Una de las barreras para implementar medidas de seguridad es el alto costo de una renovación estructural. ProGETonE [84] propone un enfoque prefabricado para reducir estos costos de manera significativa. 15 entidades europeas trabajan juntas en este proyecto de innovación para ofrecer nuevas formas de renovar edificios, aumentando su seguridad sísmica, reduciendo drásticamente el consumo de energía, manteniendo un enfoque centrado en el usuario.

En resumen, ProGETonE desarrolla y demuestra un enfoque integrado para abordar dos necesidades importantes en edificios existentes: actualizaciones de seguridad para

enfrentar futuros terremotos en zonas sísmicas y un consumo de energía casi nulo para alinearse con los objetivos de reducción del cambio climático de la UE.

Es así como ProGETonE propone una técnica que hasta ahora no se ha usado comúnmente y puede ser configurado como un exoesqueleto conectado al marco de hormigón armado de los edificios existentes [85]. El proyecto desarrolla nuevas estructuras externas que pueden ayudar a resistir las acciones sísmicas horizontales de acuerdo con las regulaciones actuales. Eso significa una gran mejora para la mayoría de los edificios en las zonas sísmicas del Mediterráneo, donde el ambiente construido existente con frecuencia se encuentra en condiciones inseguras. Esta nueva estructura soportará la envoltura adicional de alto rendimiento, en términos de ahorro de energía, energía renovable y sistemas de confort, así como las diferentes posibilidades de diseño (sin balcón, balcón o espacio de vida adicional).

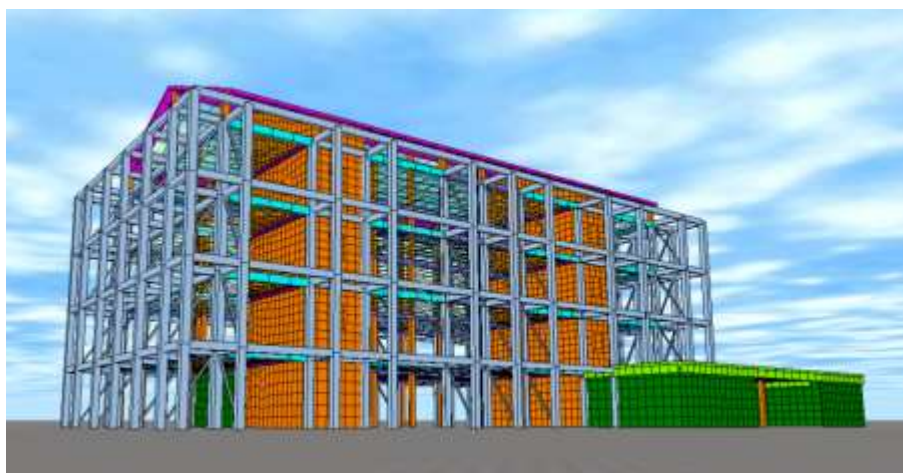


Figura 39. Proyecto Exoeskeleton de refuerzo externo de edificaciones antiguas. [84]

3.2. Superando las dificultades sísmicas. Estructuras resilientes

Muchos de los grandes centros urbanos que pueblan el planeta están ubicados en zonas costeras o al lado de áreas montañosas que son parte de sistemas tectónicos que incluyen zonas de subducción o fallas importantes capaces de generar grandes terremotos. Además, la mayoría de estos conglomerados urbanos se encuentran en áreas en desarrollo del mundo que tienen baja resiliencia frente a los peligros naturales y presentan altos niveles de riesgo contra el riesgo sísmico. La baja resiliencia se debe principalmente, entre otros factores,

incluidos los socioeconómicos, debido a la alta vulnerabilidad del parque de edificios, que se caracteriza por la mala calidad de la construcción y la ausencia de características de diseño sísmico, que se encuentran comúnmente en lo que se conoce como estructuras no diseñadas. [86]

La evolución de la Ingeniería sísmica ha permitido a la humanidad superar algunas de las principales dificultades en cuanto las condiciones del suelo donde se construye y la lucha en contra de los efectos que grandes fenómenos naturales, como son los terremotos, pueden tener en la infraestructura. Esto es aún más complicado cuando no se piensa en construir simples estructuras de unos cuantos pisos sino que el objetivo es una edificación de gran altura, rascacielos, sobre todo si se habla de una zona considerada peligrosa por su elevada actividad sísmica.

La Torre Latinoamericana, La Torre Ejecutiva Pemex y La Torre Mayor, en México; El U.S. Bank Tower, en Estados Unidos; La Torre Santiago del Costanera Center y la Torre Titanium La Portada, en Chile; y La Torre Taipei 101 en Taiwan, son las algunas de las más destacadas mega-estructuras en estar en una zona de alto riesgo sísmico.

3.2.1. La Torre Latinoamericana. Ciudad de México, México, 1972.

La Torre Latinoamericana es un rascacielos ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México (Figura 40). Catalogado como el edificio más alto de la ciudad de México desde su construcción en 1956 hasta 1972, obtuvo el record del rascacielos más alto del mundo fuera de Estados Unidos y por lo tanto de América Latina. Además se inauguró como el primer y más grande edificio con fachada de cristal y aluminio, siendo también el único rascacielos en todo el mundo en estar en una zona sísmica lo cual sirvió de ejemplo para la cimentación y construcción de futuros edificios en el mundo.

Para la construcción del edificio la propuesta original consideraba un edificio de 27 pisos, con pilotes de madera, estructura de acero y reforzado con concreto, el diseño arquitectónico tenía cierta semejanza con edificios vecinos, pero luego de una revisión al subsuelo se encontró que era posible diseñar un edificio de 40 pisos.

Conforme al avance del proyecto se agregaron tres pisos más y una antena de televisión que daba al edificio una altura total de 181.33 m. el más alto en América Latina.



Figura 40. La Torre Latinoamericana. Ciudad de México, México.

Fuente: <http://www.tvnotas.com.mx/virales/por-que-despues-de-3-fuertes-sismos-la-torre-latinoamericana-sigue-de-pie>

El ingeniero Leonardo Zeevaert Wiechers, estructural y geólogo, elaboró un amplio programa de investigación del subsuelo que en parte consistió en el sondeo con muestras inalteradas hasta 50m. en el sitio del edificio; instalación de piezómetros a 18, 28, 33 y 50m. en el lugar, en la banqueta y en la Alameda Central e instalaciones de bancos de nivel.

Se llegó a la conclusión de proyectar una cimentación estructural que crearía paradigmas en la ingeniería moderna, ya que el subsuelo de la ciudad es fangoso, con consistencia esponjosa. Para la cimentación de la Torre se hincaron 361 pilotes de concreto de punta a 34 metros de profundidad hasta la capa resistente del subsuelo y una losa de cimentación a manera de cajón, que además sirve para empotrar la Torre a una profundidad de 13.50 m, con lo cual la torre literalmente “flota” en el subsuelo.

Para soportar un peso total de edificio de 25,000 toneladas, se construyó una estructura rígida de acero; que dan forma a 3 sótanos y a 44 pisos que se elevan a 139 metros, más una antena de 42 metros, totalizando 181.33 metros sobre el nivel de la calle.

La Torre Latinoamericana ganó prestigio a nivel mundial cuando resistió un fuerte terremoto el 28 de Julio de 1957, gracias a su construcción con estructura de acero y pilotes profundos, Esta hazaña le obtuvo un reconocimiento al recibir el premio del American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de la Construcción de Acero), por ser el edificio más alto que jamás haya sido expuesto a una enorme fuerza sísmica, como atestiguan inscripciones en sendas placas en el vestíbulo y mirador del edificio. Sin embargo, su prueba

más dura vino durante el terremoto del 19 de Septiembre de 1985, en donde La Torre resistió sin problemas un registro máximo de 8.1 grados en la escala de Richter, cuya duración aproximada fue de poco más de 2 minutos y el 13 de Abril del 2007 soportó un temblor de 6.3 grados en la escala de Richter. Actualmente se le considera uno de los edificios más seguros de la ciudad y del mundo a pesar de su ubicación. [87]

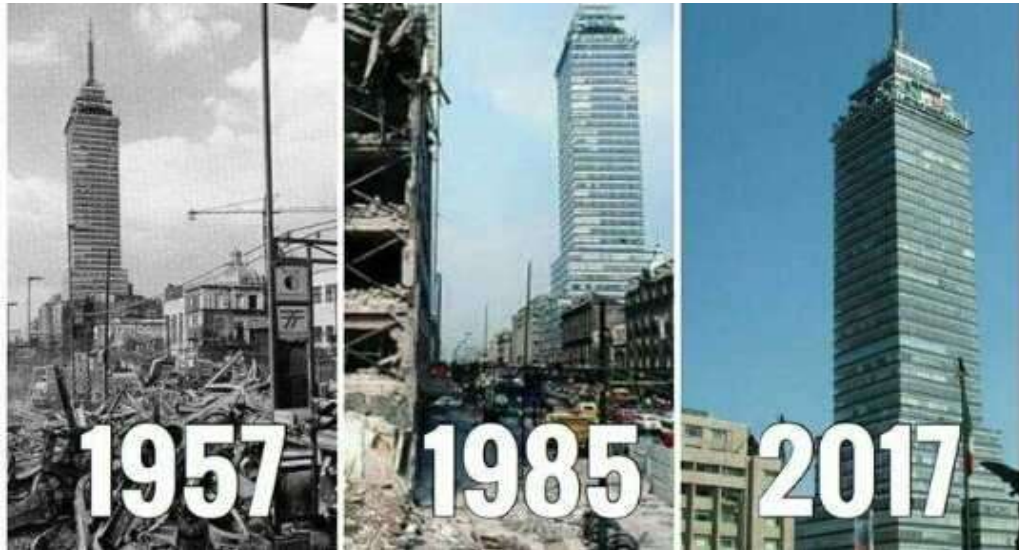


Figura 41. Fotografías de la Torre Latinoamericana en pie después de los Terremotos acontecidos en México en 1957 y 1985, y la torre en pie hasta el año 2017.

Fuente: <http://www.chilango.com/ciudad/por-que-no-se-cayo-la-torre-latino/>

El ingeniero mexicano Germán López Rincón indica que el empotramiento de la torre debido a su cimentación explica el por qué los sismos no le afectan, se debe a la forma en que vibra. Considerando que con 44 pisos y cada uno de ellos vibra en el orden de un décimo de segundo, la cifra habla de un periodo de vibración de más de cuatro segundos, y el suelo sobre el que se asienta se mueve a 2.5 segundos. Esto significa que cuando la torre empieza a regresar, el sismo la vuelve a empujar, la onda sísmica, y lo que hace es que se detiene el movimiento y así se mantiene. No ocurriría lo mismo si el edificio tuviera un periodo de dos y medio segundos, eso significaría que el movimiento se acoplaría como cuando alguien empuja un columpio, entrando en resonancia. [88]

Germán López Rincón afirma también que la Torre Latinoamericana es una proeza de la ingeniería mexicana, que debe considerarse en el tiempo en que fue levantada, aunque en la actualidad construir un edificio similar ya no sea novedad.

3.2.2. La Torre Ejecutiva Pemex. Ciudad de México, México, 1982.

La Torre Ejecutiva PEMEX es un rascacielos de diseño arquitectónico internacional, su construcción comenzó en el año 1979 y fue ocupada en el año 1982, los materiales empleados fueron acero, vidrio y aluminio. Originalmente su altura fue de 222 metros, pero cerca de su inauguración en 1984, la punta de la torre sufrió modificaciones y la altura se redujo a 214 metros.



Figura 42. Torre Ejecutiva de Pemex. Ciudad de México, México.

Fuente: <https://mxcity.mx/edificios-emblematicos/edificio-de-pemex/>

La Torre de PEMEX fue el rascacielos mexicano más alto de México durante 19 años, título que cedió a la Torre Mayor en el año 2003. Es 32 metros más alto que la Torre Latinoamericana y 11 metros menos que la Torre Mayor. [89]. La construcción de la Torre de Pemex estuvo a cargo del arquitecto Pedro Moctezuma. A decir de los expertos, su diseño regular es una de las cualidades que brinda mayor estabilidad en la zona sísmica donde fue asentada.

El subgerente de Ingeniería de Pemex Corporativo, Héctor Moreno Alfaro, comenta: “eso le permite, lo que nosotros denominamos, defenderse de las fuerzas horizontales de temblor de una manera más eficiente, al distribuir mejor las cargas (..) Es un edificio que por donde quiera que se le ve tiene simetrías, quizá le reste un poco de creatividad arquitectónica, pero a cambio ganamos en estabilidad y mayor capacidad de resistir” [90]

Toda la estructura de 53 pisos pesa 110 mil toneladas, que está soportada por su cimentación, la cual está conformada por 164 pilas hincadas a 32 metros de profundidad, superando el relleno pantanoso del antiguo lago, hasta llegar al subsuelo más firme. Las pilas en la parte superior tienen 1.20 metros de diámetro y en la punta 1.50, definiendo un estilo de cimentación que en la época de su construcción se denominaba pilas con campana, esto permite que tengas una capacidad de carga de hasta 1000 toneladas cada una.

Para soportar las cargas verticales, que son las provocadas por los sismos, la edificación cuenta con una serie de diagonales que definen marcos cada 16 pisos y que confieren mayor rigidez a la estructura. Adicionalmente se construyeron armaduras horizontales tipo diafragma en los pisos 21 y 37, ligándolos con las diagonales, a manera de tener unos elementos rígidos que ayudan a reducir los desplazamientos horizontales y permiten que se conserve la forma de la estructura del edificio.

En caso de sismo, la torre empezará a oscilar en un efecto como de péndulo invertido por varios segundos y se desplazaría 1.80 metros por cada lado.

La Torre fue diseñada para soportar sismos de 8.5 grados en la escala Richter y un año después de su construcción fue puesta a prueba con el terremoto que azotó a la Ciudad de México el 19 de Septiembre de 1985 (8.1 grados Richter), la torre sólo se movió sin ser afectada debido a sus cimientos. Así también logró superar los eventos ocurridos en el mes de septiembre del 2017. A pesar de que el terremoto del 19-S ya había terminado, la torre seguía balanceándose en un movimiento “armónico muy suave”. El sismo se registró primero como un movimiento más o menos caótico, llegó un momento en que ya no había fuerza exterior del sismo y el edificio quedó vibrando en forma libre, hasta que finalmente se detuvo.

3.2.3. U.S. Bank Tower. Los Ángeles, Estados Unidos, 1989.

El US Bank Tower, también llamado Library Tower, es un rascacielos situado en el centro de Los Ángeles, California.

Cuando se construyó, US Bank Tower era la estructura más alta que se ubicaría en un área sísmicamente activa. Los diseñadores basaron el diseño de la torre en un concepto de geometrías superpuestas, una forma circular superpuesta a una matriz rectilínea, una forma

que se traduce al exterior del edificio y se extruye hacia arriba en una serie de contratiempos de nivel superior y una fachada texturizada de bahías de ventanas triangulares. [91]

Su estructura fue diseñada para resistir los frecuentes terremotos que tienen lugar en California, pudiendo soportar un terremoto de 8.3 sobre la escala de Richter. Este consiste de 73 niveles sobre la tierra y dos niveles de parqueo subterráneo con una altura total de 310 m sobre el nivel del suelo. La construcción fue comenzada en 1987 y fue completada en 1989. El edificio fue diseñado por Henry N. Cobb de la forma arquitectónica Pei, Cobb & Partners y costó 350 millones de dólares para su construcción. Es uno de los edificios más reconocibles en Los Ángeles, a menudo usado para tomas de la ciudad en películas y programas de televisión. [92]



Figura 43. US Bank Tower. Los Ángeles, California, Estados Unidos.

Fuente: <http://thetowerinfo.com/buildings-list/us-bank-tower/>

3.2.4. Torre Mayor. Ciudad de México, México, 2003.

La Torre Mayor es un rascacielos ubicado en la ciudad de México, desarrollado por el canadiense Paul Reichmann. El edificio de 55 niveles (más 4 sótanos de estacionamiento) se eleva a 225 m sobre el nivel de la calle.

El diseño sísmico propuesto que se utilizó en La Torre Mayor ofrece un innovador concepto de absorción de la energía sísmica para edificios altos. Para obtener una información realista con respecto a la sismicidad y la respuesta de la misma, se llevó a cabo un análisis de interacción con la estructura del suelo y un análisis del espectro específico del sitio.



Figura 44. La Torre Mayor. Ciudad de México, México.

Fuente: <https://www.taringa.net/posts/offtopic/13666181/Edificios-De-Mexico.html>

Su estructura de soporte combina de forma innovadora acero, concreto y cuenta con 98 amortiguadores sísmicos que reducen al mínimo su desplazamiento durante un sismo, amortiguando y disipando una porción importante de la energía que la torre absorbe. Torre Mayor es el primer edificio en Latinoamérica en contar desde su diseño con enormes

amortiguadores sísmicos. En la construcción de este edificio ICA reportó un margen de efectividad del 95%.



Figura 45. Sistema de amortiguadores sísmicos usados en la estructura de la Torre Mayor

Fuente: http://www.arquigrafico.com/wp-content/uploads/2012/01/4374055093_4a752cebdd_o.jpg

La cimentación para la Torre Mayor es una combinación de sistemas conformado por pilotes de concreto y losas. El edificio descansa sobre un pedestal formado por 251 pilas de cimentación de hasta 1.50 m de diámetro llegando al estrato duro o depósitos profundos existentes debajo de la capa de depósitos de suelo suaves típicamente encontrados en Ciudad de México, apoyadas a casi 50 m de profundidad, coronadas por una gruesa losa de concreto armado que sirve de fondo al cajón estructural prácticamente cuadrado, con casi 80 m por lado y 16 m de profundidad, donde se alojan 4 sótanos de estacionamiento. [93]

El diseño incorpora un grado de redundancia para asegurar la acción uniforme bajo las más severas fuerzas sísmicas. En teoría, el edificio puede soportar un sismo de 8.5 grados en la escala de Richter, una fuerza que podría derrumbar cualquier otro edificio del tamaño de Torre Mayor.

La seguridad estructural de Torre Mayor ha sido calculada para exceder los requerimientos de los Reglamentos de Construcciones de la Ciudad de México y California, que son los más rigurosos del mundo y proporcionar al máximo de seguridad y confort a sus ocupantes. [94]

3.2.5. La Torre Taipei 101. Taipei, Taiwan, 2004.

Una de las torres más altas del mundo, se encuentra en Taipéi, Taiwan; su construcción inició en 1999, fue inaugurada en 2004; y mide 509m de alto. El nombre del lugar hace referencia a los 101 pisos con los que cuenta, además de ello el edificio tiene cinco pisos subterráneo que sirven de aparcamiento. Taiwan se ubica sobre una falla geológica, por lo que siempre ha tenido sismos, por lo tanto este rascacielos es una verdadera obra maestra.



Figura 46. Torre Taipei 101, Taipei, Taiwan.

Fuente: <http://infraestructura.ingenet.com.mx/wp-content/uploads/2013/05/14052013-taipei-e1368126141394.jpg>

El edificio en su diseño inicial era de 88 pisos en principio pero como no entraba entre los más altos del mundo, se incrementó a 100 pisos con 488 metros de altura, pero como ninguno edificio llegaba a los 500 metros, se aumentó a 101 pisos con 508 metros. [95]

La resistencia de la estructura del edificio se basa en 8 columnas laterales, y 16 columnas centrales. Estas últimas forman una mega estructura por donde pasa el ascensor. Las columnas son un híbrido de metal y hormigón. El edificio está construido sobre 380 pilas de concreto, de 1.5 m. de diámetro, hundidas a 80 metros sobre el suelo. Por si fuera poco, además de las 8 super-columnas base, cuenta con otras 36 de soporte. Para distribuir

la carga del edificio, los ingenieros construyeron una plataforma de concreto en la parte central de 3.5 metro de espesor y en la parte periférica de 4.7 metros y en los laterales de 3.5 metros. Las columnas se apoyan en la plataforma y ésta a su vez distribuye la carga sobre las columnas de apoyo a nivel de suelo.

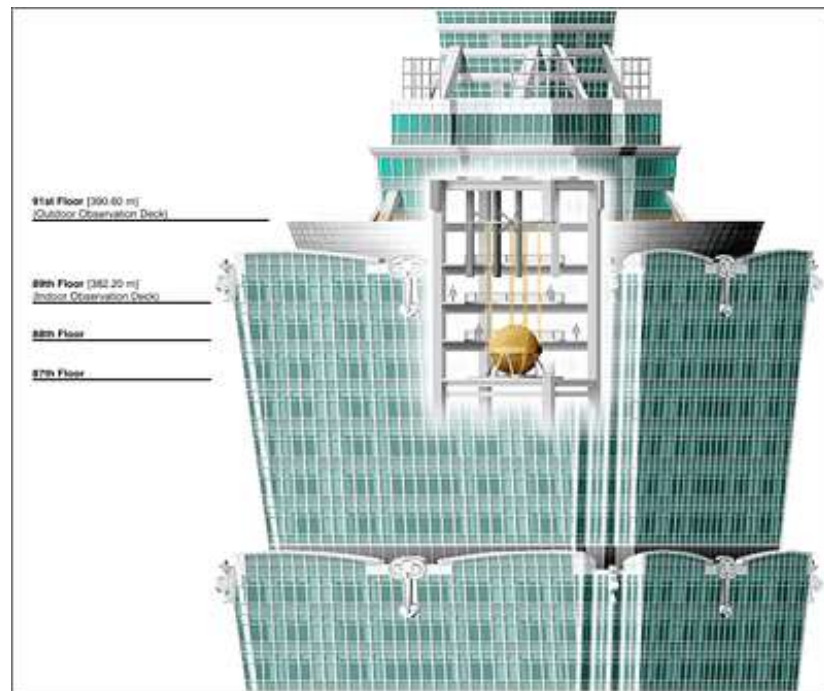


Figura 47. Ubicación del amortiguador de masa en la Torre.

Fuente: <http://www.microsiervos.com/archivo/mundoreal/amortiguador-masa-taipei-101-funcionamiento.html>.

Según técnicos, puede soportar terremotos de hasta 7 grados en la escala de Richter y vientos de más de 450 km/h. La importante capacidad de absorción de movimiento de masas en esta estructura, reside en un amortiguador de masa ubicado entre los pisos 92 y 88 (Figura 47) formado por una gran bola dorada de acero de 680 toneladas de peso siendo el más grande y pesado del mundo (y el único que está a la vista del público) (Figura 29), con este, el edificio contrarresta los fuertes vientos y los meneos de la tierra. Cabe mencionar que este amortiguador cuenta con 41 placas de acero, está suspendido de ocho cables del mismo material; se basa en ocho amortiguadores viscosos y puede moverse poco más de un metro hacia cualquier dirección. Cuando el edificio se mueve en una dirección el amortiguador lo impulsa en dirección contraria, absorbiendo la energía de movimiento, sirviendo de contrapeso mecánico de las vibraciones, limitándolas y estabilizando el edificio. [95, 96]

3.2.6. Titanium La Portada. Santiago de Chile, Chile, 2010.

Es una de las más tecnológicas y modernas piezas de ingeniería construidas en Chile y forma parte de un selecto grupo mundial de edificios certificados como proyectos líderes en diseño sustentable de eficiencia energética y medioambiental.

En primer lugar, la excavación a 25 m de profundidad no fue tradicional, pues incorporó muros de hormigón armado, ubicados de forma descendente en las superficies laterales del terreno, para la construcción de las fundaciones y los siete niveles de subterráneo. También fue singular la construcción de muros hacia abajo: la cantidad de agua que comenzó a surgir a medida que se avanzaba con la excavación, obligó a hacer las paredes de contención en forma paralela, lo que implicaba la construcción de muros hacia abajo, eliminando el uso de pilas y permitiendo con ello una fortificación más densificada, además de un estándar de seguridad más alto [97]. No obstante debido a la zona sísmica, el edificio está anclado a 50 metros de profundidad con 65 pilotes de concreto y acero, y puede soportar en teoría un sismo de 8.5 grados.



Figura 48. Titanium La Portada. Santiago de Chile, Chile, 2010.

Fuente: https://c1.staticflickr.com/4/3192/4593496059_cbfd864c55_b.jpg

La estructura del edificio Titanium La Portada está conformada por un núcleo rígido de hormigón armado y una estructura flexible de marcos en el perímetro, unidos por medio de una membrana horizontal compuesta por vigas, losetas pretensadas y una sobrelosa

estructural (Figura 49). Una gran innovación fue incorporar, cada tres pisos, disipadores de energía sísmica en forma de X, los cuales funcionan como amortiguadores en caso de sismo (Figura 50). Estos disipadores de energía son los primeros de este tipo utilizados en Chile, capaces de disminuir las deformaciones y vibraciones del edificio hasta en un 40% en caso de sismo y viento, otorgando mayor seguridad y vida útil a la estructura. Esta tecnología hace que la estructura funcione como los discos intervertebrales de la columna y que los disipadores de energía actúen como fusibles, reemplazables en caso de un gran terremoto. [98]

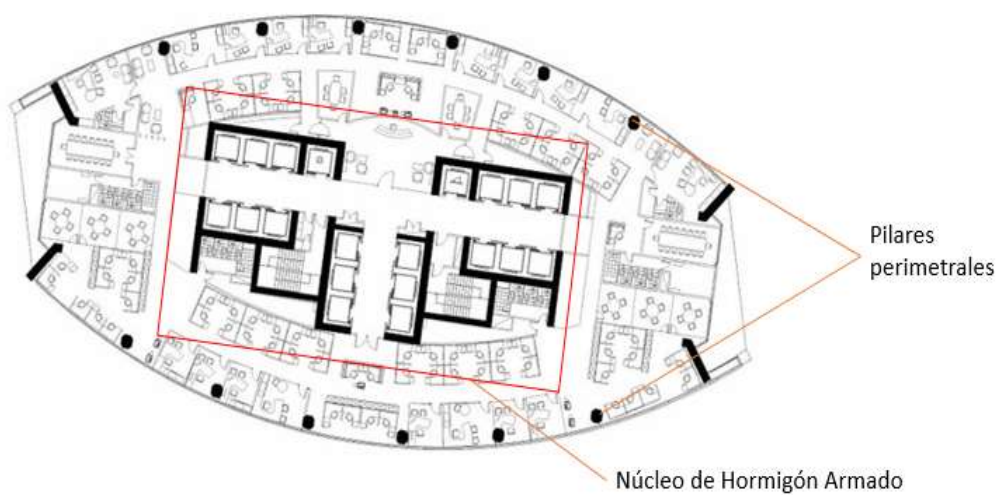


Figura 49. Conformación de la estructura de la Torre Titanium La Portada, vista en planta.

Fuente: Elaboración propia, imagen tomada de:

http://www.arquitecturaenacero.org/sites/default/files/planos/2pl.planta_habilitada.jpg



Figura 50. Disipadores sísmicos utilizados en la Torre Titanium.

Fuente: <http://sirve.cl/wp-content/uploads/2013/08/proteccion-sismica.jpg>

Los disipadores de energía utilizados en el edificio son estructuras más económicas y con altos niveles de seguridad y eficiencia durante sismos severos, lo que quedó en evidencia durante el terremoto del 27 de febrero de 2010, a pocos días de ser inaugurado y tuvo un excelente comportamiento [98]. Asimismo en el sismo que afectó a gran parte de Chile en 2015, alcanzando en Santiago 8,3 grados, y que el edificio no sufrió ningún daño estructural [99].

3.2.7. La Gran Torre Santiago. Santiago de Chile, Chile, 2014.

La Gran Torre Santiago, originalmente conocida como Torre Gran Costanera, fue diseñada por el arquitecto argentino-estadounidense César Peli, y forma parte del Costanera Center, un complejo ubicado en la ciudad de Santiago de Chile que aspira a convertirse en una mini ciudad, construyendo en los 47.000m² de terreno disponibles un centro comercial y otras tres torres en las que se ubicarán principalmente oficinas, pero también supermercados, tiendas, restaurantes, 2 hoteles cinco estrellas, estacionamiento, un helipuerto, un parque en altura, un centro médico y espacios de ocio.



Figura 51. La Gran Torre Santiago. Santiago de Chile, Chile.

Fuente: https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Costanera_center_2.jpg

Con 300m sobre nivel de suelo, 64 plantas en altura y 6 de sótano, la Gran Torre Santiago, luego de su inauguración en el 2014, se convierte en la torre más alta de Iberoamérica y el segundo edificio multifuncional más alto del hemisferio sur, sólo superada por la Q1 Tower, que se eleva hasta los 322 metros de altura en Gold Coast, Australia.

La Gran Torre fue construida para resistir terremotos. Chile, ubicado en el Anillo de Fuego del Pacífico, es especialmente propenso a los terremotos de gran alcance. El edificio aguantó con gran éxito el terremoto de 8,8° en la escala de Richter que devastó gran parte del centro y sur de Chile en 2010, sin sufrir daños estructurales. En la parte superior de la torre, los vientos con velocidades de 122km/hora provocan una oscilación de 35cm. La torre se mueve en el eje contrario a la dirección del viento.

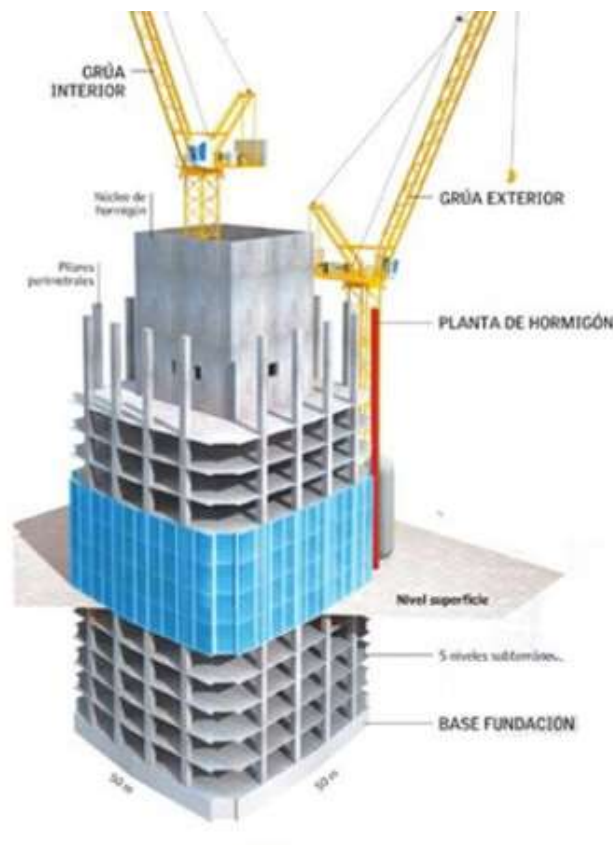


Figura 52. Núcleo de hormigón de la Torre Santiago.

Fuente: https://wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Costanera_nucleo-424x680.jpg

En el interior desarrolla un sistema estructural de planta libre abrazando un corazón de hormigón armado cuyas losas están rodeadas con pilares perimetrales y donde se concentran los servicios del edificio (Figura 52). Sus focos de revestimiento exterior se componen principalmente de vidrio con revestimientos de alto rendimiento que permiten vistas sin ningún tipo de obstáculos desde el suelo hasta el techo, con sombreados solares inteligentes

y marcos de aluminio. Muchas características hacen que el edificio sea catalogado como “verde”, desde la elección de los materiales, su diseño de fachada exterior y sus sistemas mecánicos y eléctricos. [100]

La base para los cimientos de 50x50m de lado y un grosor de 3m, se encuentra a una profundidad 20m y fue realizada con hormigón armado, tiene un peso de 20.000tn.

4. Novedad: Plataforma Informática

Con la intención de diseminar el conocimientos sobre los más recientes estudios desarrollados en todo el mundo así como las mejores prácticas sobre cómo implementar un ambiente construido más “seguro, resiliente y sustentable”, se desarrolla una plataforma informática (web-based information platform) a través del Sistema de Gestión de Contenidos “WordPress” que contiene información disponible de temas relacionados con la resiliencia sísmica, vulnerabilidad del patrimonio y mitigación del riesgo sísmico.

Esta plataforma informática se presenta como una medio novedoso poniendo a disposición toda la información recopilada en los capítulos anteriores como una opción práctica para ayudar a las personas interesadas en el tema de estudio (terremotos y nuevas tecnologías sísmicas) mediante una web page que muestre dichos contenidos.

Pero para comprender la utilidad de este medio informático de propagación de información científica es necesario conocer antes de qué se trata y cómo funciona.

4.1. ¿Qué es una plataforma informática?

En un mundo marcado por la revolución digital, aparecen maneras más sencillas, más rápidas y más optimizadas para realizar muchas operaciones que en el pasado ameritaban estar físicamente presente y que ahora pueden realizarse a través de un ordenador y una conexión a internet. Esta digitalización de procesos se aplica también para el ámbito educativo y el aprendizaje, donde a través de una búsqueda rápida en la web y un click se puede acceder a información ilimitada que antes necesitaba de una extensiva búsqueda en archivos físicos, algo mucho más tedioso.

Es por eso que los medios digitales de presentan como una forma rápida y efectiva de diseminar y adquirir información a través de las llamadas plataformas digitales, plataformas virtuales o plataformas web.

4.1.1. Plataformas digitales

Las plataformas digitales se pueden concebir como sistemas o sitios web personalizados, que satisfacen una o varias necesidades específicas en beneficio tanto del usuario, como de la empresa.

Hoy en día la clave de un buen sitio web radica en la capacidad de brindar contenido relevante y actual para nuestras audiencias, si pensamos en un sitio web como una tienda de moda, sabemos lo importante que es mantener nuestras vitrinas con lo más reciente de las colecciones o bien con grandes rótulos de “Rebajas” en épocas de liquidación. [101]

En el caso de un sitio web informativo, la plataforma digital deberá manejar un contenido relevante con la última información posible sobre el tema a tratar, para despertar el interés de los grupos lectores regulares y conseguir nueva audiencia,

Un factor decisivo en el uso y alineamiento de plataformas digitales es el usuario en sí, la audiencia, aquellos que a través de acciones específicas hacen que todo el esfuerzo tenga sentido. Aquí es donde se debe entender el comportamiento del usuario y el “recorrido” que hace para llegar a realizar las acciones que son el fin de la plataforma.

4.1.2. Plataformas virtuales

Una plataforma virtual es un sistema que permite la ejecución de diversas aplicaciones bajo un mismo entorno, dando a los usuarios la posibilidad de acceder a ellas a través de Internet.

Esto quiere decir que, al utilizar una plataforma virtual, el usuario no debe estar en un espacio físico determinado, sino que sólo necesita contar con una conexión a la Web que le permita ingresar a la plataforma en cuestión y hacer uso de sus servicios.

Las plataformas virtuales, por lo general, se emplean para la educación a distancia e intentan simular las mismas condiciones de aprendizaje que se registran en un aula. Aunque cada plataforma puede presentar diferentes características, lo habitual es que permitan la interacción de los alumnos entre sí y con los profesores. Para esto, cuentan con diversas vías de comunicación, como chat, foros, etc. [102]

El concepto de plataforma virtual es muy usado en la enseñanza de idiomas a distancia; personas de cualquier parte del mundo pueden estudiar sus lenguas favoritas sin necesidad de realizar grandes inversiones económicas, sin tener que moverse de sus casas y con docentes nativos (una de las mayores ventajas de este sistema educativo).

4.1.3. Plataformas web

Este tipo de plataformas está más dirigido hacia el ambiente académico y de formación educativa. Una plataforma web de formación es una aplicación diseñada para que los alumnos puedan formarse independientemente del lugar donde se encuentren, aprovechando las ventajas que ofrece Internet. [103]

La plataforma consta de un gran número de herramientas que facilitan el aprendizaje del alumno y el seguimiento de éste por parte del equipo docente. A continuación están algunas de esas herramientas que el alumno puede utilizar:

- Explicaciones con contenido multimedia (sonido, imágenes, animaciones)
- Ejercicios prácticos con autocorrección
- Descarga de material didáctico
- Consulta de expediente del curso
- Agenda de actividades
- Biblioteca
- Foros de debate
- Chats
- Correo electrónico para comunicarse con el teletutor y alumnos.

4.1.4. Importancia de una plataforma informática. Consideraciones.

Existen muchas plataformas con propósitos específicos, sin embargo, no hay una que nos brinde al 100% lo que exactamente necesitamos, por esta razón hay que crearla.

Para navegar en internet se requiere direcciones web como dominios o bien botones (incluyendo hipervínculos, y otros elementos que también sirven para este propósito). Este

tipo de anatomía nos permite entender que sucede una vez que cliqueamos en un botón o hipervínculo, y a donde vamos a ir a continuación.

Más que una plataforma, se lo debe dimensionar como un ecosistema digital donde el sitio web debe jugar un papel clave como punto de convergencia de nuestros esfuerzos en internet, ya que es un espacio que podemos hacer 100% nuestro, esto incluye la experiencia de usuario, el uso de imagen, además de ser un espacio para brindar herramientas especializadas como sistemas de reserva online, tracking de paquetes, configuración de productos y tal vez la más importante, nos permite ser encontrados en internet a través de Google. Un sitio Web también le da relevancia a la marca, la confianza del usuario es mayor cuando sabe que no solo somos una página en Facebook sino un negocio con presencia online.

Gracias a la tecnología actual podemos hacer que nuestro sitio web sea una verdadera herramienta de negocios interconectada con nuestra audiencia. Esto nos permite plantear verdaderos objetivos de negocio para nuestra web como dar seguimiento en tiempo real, contar con herramientas que agilicen nuestro servicio o bien extender una comunicación más personalizada y privada. [101]

En este sentido, debemos dejar de pensar en nuestra página como un simple panfleto digital y empezar a pensar en cómo esta herramienta puede simplificar, agilizar o automatizar los procesos de atención al cliente de nuestra compañía. Cómo configuramos nuestro sitio web para que convierta a nuestros usuarios en acciones que generen ganancia y oportunidades de venta. Si hablamos de una plataforma de información, pensar de qué manera esta herramienta digital que estamos manejando puede ayudar al usuario agilizando búsquedas y facilitando el acceso a la información solicitada.

Cuando un potencial cliente entra a una tienda, solemos tener una clara idea de cuál va a ser su comportamiento y el propósito de su visita, si entra a un restaurante probablemente vea el menú y a continuación ordene comida, si es una tienda de electrodomésticos entonces verá lo que busca, comparará marcas y realizará una compra, o bien si se trata de un despacho de servicios profesionales, la persona preguntara sobre tarifas y condiciones e intercambiará información personal para acordar una cita o bien adquirirá el servicio.

El mismo caso aplica en internet, donde nuestro sitio web debe ser creado para brindar la mejor experiencia de usuario posible donde procuramos darle al usuario lo que busca de manera fácil y rápida, evitando pasos innecesarios o interfaces con diseños confusos.

Invertir tiempo en crear una estrategia de vínculos permitirá que por un lado les brindemos a los usuarios lo que buscan de manera más efectiva y por otro lado, nos permitirá quitar obstáculos y crear un camino más directo para que el usuario logre realizar las acciones que deseamos.

4.1.5. Características de la Plataforma

WordPress fue el gestor de contenidos escogido para este proyecto debido a su simplicidad a la hora de cargar y editar contenidos, su versatilidad y facilidad de manejo y más que nada su popularidad a nivel mundial que ayudará a la fácil diseminación de la información, esto sin contar las muchas características que hacen de WP la mejor opción para una plataforma informativa como la que se ha desarrollado.

WordPress (WP) es un Software gratuito o herramienta de gestión de contenidos, también llamado CMS (Content Management System) que permite crear y mantener un blog u otro tipo de web. Se estima que más del 30% de los sitios Web que están activos hoy en día en Internet fueron diseñados con este CMS. [104]



Figura 53. Logotipo oficial del software WordPress.

Fuente: <https://www.cctvcambridge.org/sites/default/files/imagefield/wordpress-logo-680x400.jpg>.

Con casi 10 años de existencia y más de un millar de temas (plantillas) disponibles en su web oficial, no es solo un sistema sencillo e intuitivo para crear un blog personal, sino que permite realizar toda clase de web más complejas. Es el sistema ideal para los principiantes, o para los que no tienen demasiados conocimientos técnicos.

WP es un sistema ideal para un sitio web que se actualice periódicamente. Si se escribe contenido con cierta frecuencia, cuando alguien accede al sitio web, puede encontrar todos esos contenidos ordenados cronológicamente (primero los más recientes y por último los más antiguos). [105]

WP dispone de un sistema de plugins, que permiten extender las capacidades de WordPress, de esa forma se consigue un CMS más flexible.

En muchas ocasiones se asocia WP con una herramienta que solo sirve para hacer blogs. Esto no es correcto: con WP es posible hacer un blog y mucho más: webs empresariales, tiendas online, periódico digital, central de reservas, etc.

4.1.5.1. Características de WordPress

Algunas de las características que hacen de WP una plataforma ideal para la creación de páginas de contenido se describen a continuación: [105]

- **Administración de contenidos:**

Muchas personas no se dan cuenta de que ésta plataforma es mucho más que una herramienta de blogs. En realidad, es un sistema de administración de contenido o CMS.

Es altamente flexible, ya que te permite construir y administrar un propio sitio, usando sólo un navegador y diferentes tipos de plugins o complementos.

- **Funcionamiento:**

Desde los orígenes de Internet, los sitios Web se han creado en lenguajes de programación como HTML, PHP y CSS, para formatear texto, crear diseños de página, mostrar imágenes, etc.

Un navegador es capaz de leer ese código, interpretando esas etiquetas, para representar y mostrar el contenido de cada página en particular.

Pero hoy se puede instalar el software en un propio servidor en no más de 5 minutos y hasta incluso en un sólo clic.

Una vez instalado, se puede entrar en él, usando el navegador preferido, sin tener que aprender a codificar o programar.

- **Es gratuito y de código abierto:**

En primer lugar, al ser de código abierto, hay miles de personas en todo el mundo que trabajan constantemente para mejorarlo.

Y debido a ello, su descarga también es completamente gratuita.

Al decir que es de código abierto, se refiere a que cientos de voluntarios de todo el mundo crean y mejoran constantemente el código de su software, lo que supone muchas ventajas en cuanto a modificaciones manuales.

En este sentido, se contraponen a otros CMS de código cerrado, en cuyo caso solo las compañías creadoras tienen acceso al código fuente, por lo que cualquier usuario no puede modificarlo.

- **Personalización 100% mediante plugings y widgets:**

Además, este CMS es increíblemente flexible y tiene innumerables opciones.

Tiene por ejemplo la posibilidad de editar y personalizar las páginas hasta el más mínimo detalle, gracias a los cientos de complementos que existen hoy en día en el mercado online.

Se puede agregar plugins, widgets o instalar plantillas profesionales, que permitirán crear prácticamente cualquier tipo de Website que se pueda imaginar y personalizarlo al detalle, gracias a los cientos de opciones que presentan sus temas premium.

- **Un Website compatible con dispositivos móviles:**

Con el uso de las plantillas premium, el sitio Web creado será seguro, totalmente “responsive”. Es decir, se adaptará sin problemas a cualquier dispositivo móvil.

Esto, además de ser una ventaja añadida para usar este CMS, es un aspecto penalizable por parte de Google a día de hoy, a la hora de posicionar un sitio en Internet.

- **Tiene una corta curva de aprendizaje:**

En cuarto lugar, es fácil de usar y aprender. No se necesita contratar un diseñador Web cada vez que se desee hacer un pequeño cambio en tu sitio.

Además, se puede actualizar y crear fácilmente contenido propio sin tener que aprender a programar en complicados lenguajes informáticos, al igual que se hacía hace unos años. De hecho, es posible editar el sitio si se tienen conocimientos de herramientas básicas de formato en un programa como “Microsoft Word”.

Además, si se tiene problemas, su foro oficial o soporte online es un gran lugar para obtener respuestas a todas las preguntas.

Por otro lado, si se desea agregar funciones personalizadas o extras, es fácil encontrar ayuda en la red (además de la ya mencionada opción de contratar a alguien).

- **Favorece el posicionamiento orgánico de los contenidos:**

Esta plataforma también es muy amigable con el posicionamiento SEO. Es decir, ayuda a que el contenido aparezca en lugares destacados de los resultados de los motores de búsqueda, como Google.

Desde el primer momento, incluye todo lo que se necesita para asegurarse de que el contenido está optimizado, algo fundamental para la visibilidad y el éxito online.

Además, existen multitud de plugins que brindarán las recomendaciones oportunas para optimizar todos los aspectos básicos del SEO On-Page, que será de gran ayuda, sobre todo si no se tiene demasiados conocimientos en esta disciplina.

- **Control total del sitio Web:**

Otras plataformas gratuitas de publicación limitan lo que se puede y no se puede hacer en el propio Website. Algo que generalmente no es del agrado de muchos porque se cuenta con pocas opciones y escasa flexibilidad. En otras palabras, si alguna vez esa plataforma se cierra o quiebra por algún motivo, el contenido incluso podría desaparecer de Internet.

Sin embargo, con este gestor, se puede importar el contenido desde otros sistemas como Blogger, Wix o Tumblr. Y también se puede descargar una copia o exportar fácilmente los datos, si lo que se desea es dejar de utilizar esta herramienta y probar con otra diferente.

4.2. Plataforma SeismicKnowledge

Con la intención de poner a disposición toda la información reunida en el presente proyecto nace la plataforma informática SeismicKnowledge, originalmente creada en español, alojada en el dominio web del Instituto Politécnico de Leiria al cual es posible acceder a través de la siguiente dirección URL:

<http://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/>

SeismicKnowledge se desarrolla como parte de este proyecto de investigación pretendiendo proporcionar información esencial sobre los terremotos y algunos de los avances más recientes obtenidos a través de proyectos de investigación europeos y otros estudios internacionales que desarrollan soluciones para mejorar la resistencia y la seguridad

de los edificios construyendo sistemas de aislamiento y permitiendo una mejor comprensión de los fenómenos naturales externos, en este caso particular, de los terremotos.



Figura 54. Logotipo de presentación de la plataforma digital SeismicKnowledge

Fuente: Elaboración propia

El nombre del Website “SeismicKnowledge” nace de la fusión de las palabras en inglés Seismic = Sísmico y Knowledge = conocimiento, su significado en español conocimiento sísmico, porque es precisamente el contenido que se muestra en esta plataforma digital. Contenido relacionado a los sismos y terremotos, información general, los últimos avances tecnológico referentes a ello y ejemplos de que es posible superar las dificultades sísmicas.

4.2.1. Presentación del Website

El Website que tiene como nombre “SeismicKnowledge” y funciona bajo el título “Advanced Solutions for safe and resilient buildings against earthquakes” que en español significa “Soluciones avanzadas para construcciones seguras y resilientes ante movimientos telúricos” elaborado como un proyecto de diseminación de información relevante sobre temas sísmicos referentes a terremotos, tecnologías sísmicas y construcciones resilientes, se presenta como una alternativa de consulta y adquisición de conocimientos que aborda los temas con contenidos sencillos y de fácil entendimiento, dirigidos no solo a los profesionales en el campo de estudio que quieran conocer un poco más sobre esta temática que está en auge en la actualidad sino también al personal menos técnico que desea aprender desde lo más esencial.

El logotipo completo del sitio ([Figura 54](#)) se muestra el nombre en letras grande con las iniciales en color azul y las demás letras en negro, una línea con quiebres similar a las obtenidas por un sismógrafo ante movimientos telúricos y dos sencillas estructuras haciendo

alegoría al tema “...construcciones seguras y resilientes...”. El diseño del logotipo ha sido realizado por el mismo investigador con la intención de, de una manera sobria, representar en éste la temática de la plataforma digital.

Para el caso del logo que muestra la pestaña del navegador cuando se visita el sitio, se trabajó en una versión compacta aún más simplificada del logotipo de presentación, una imagen llamativa que muestra, de una manera muy resumida, la temática tratada.



Figura 55. Logotipo compacto de la plataforma digital SeismicKnowledge

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica del Website es sencilla, sobria y elegante, llamativa a la vista y con una distribución simple y ordenada de los contenidos.

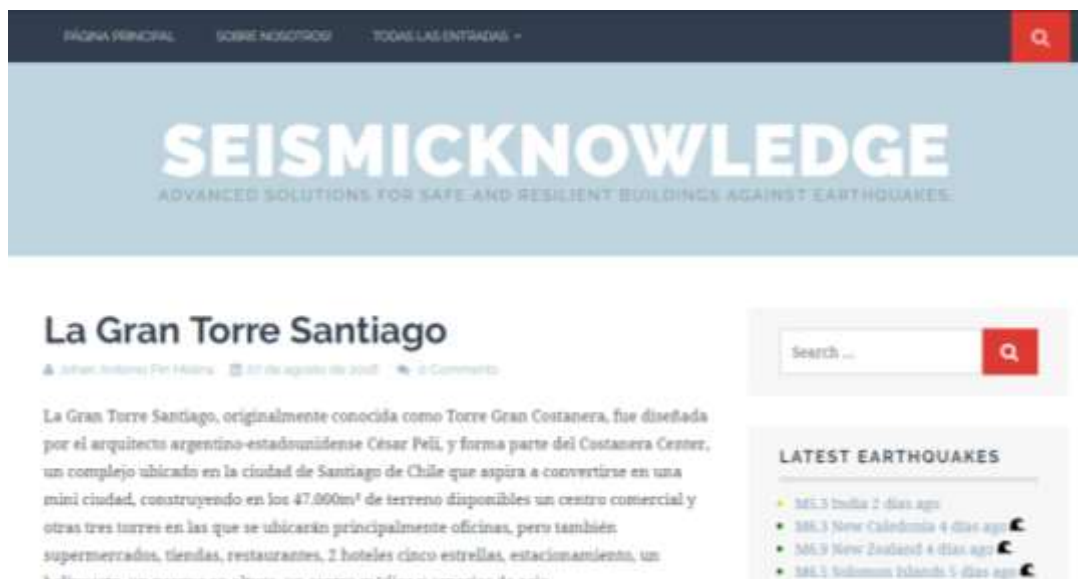


Figura 56. Primera visualización del sitio SeismicKnowledge

Al ingresar a la plataforma de SeismicKnowledge, a primera vista, se puede identificar en la parte superior izquierda y en letras mayúsculas la barra del menú principal y en la parte derecha el ícono de una lupa que permite realizar búsquedas específicas. A continuación, en un recuadro color celeste, aparece también en letras mayúsculas en nombre del sitio y el título del mismo. Debajo de esto se encuentran las publicaciones realizadas recientemente y en la parte derecha un cuadro lateral con widgets. (Figura 53)

Al final de todo, en la parte inferior, se encuentra un conjunto de widgets a modo de pie de página, cada uno de ellos con una funcionalidad específica que ayudará a mejorar la experiencia del usuario que visita la página web.

Se ha trabajado con una interfaz muy simple y específica que muestra solo lo necesario sin recargar el sitio, buscando atraer la atención del usuario.

4.2.3. Menú principal

El menú principal, ubicado en la parte superior izquierda contempla tres pestañas en las cuales se organiza todo el contenido de la página.

4.2.3.1. Página principal:

La primera pestaña introduce al usuario dándole la bienvenida a SeismicKnowledge e indicando resumidamente la temática del Website.



Figura 57. Visualización de la pestaña “Página principal”

4.2.3.2. ¡Sobre nosotros!:

Esta pestaña muestra el logotipo característico del Website (Presentado en la sección 4.3) y presenta al lector una pequeña reseña sobre la temática del sitio, dando una breve descripción de los sismos como problemática de interés para el público en general y la importancia de que el ambiente construido cuente con las condiciones necesarias para resistir estos eventos aplicando tecnologías novedosas para lograr la tan buscada resiliencia. Explica también que SeismicKnowledge, como plataforma informativa, nace como parte de un proyecto de investigación.

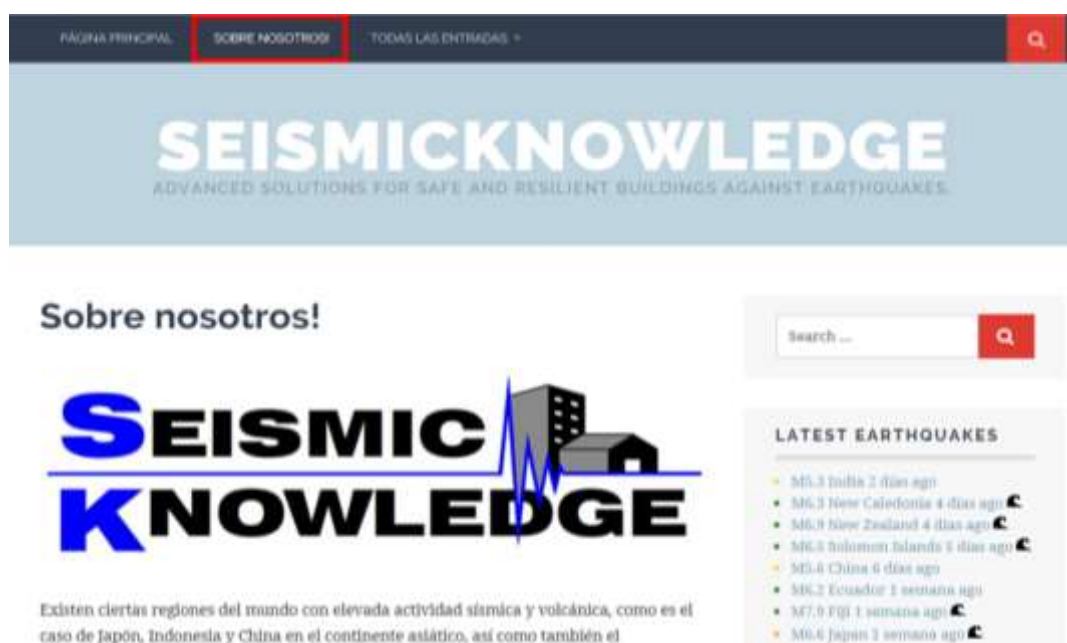


Figura 58. Visualización de la pestaña “Sobre nosotros!”

4.2.3.3. Todas las entradas:

En esta pestaña se muestra de manera ordenada toda la información bibliográfica recopilada durante la elaboración del trabajo y que se encuentra publicada en el Website.

Funciona de dos maneras:

La primera es cliqueando sobre la pestaña e ingresando a la página en la cual aparecen en orden alfabético todas las entradas o publicaciones realizadas. Al dar click en cualquiera de ellas será posible acceder directamente a la publicación y visualizar la información en ella contenida.

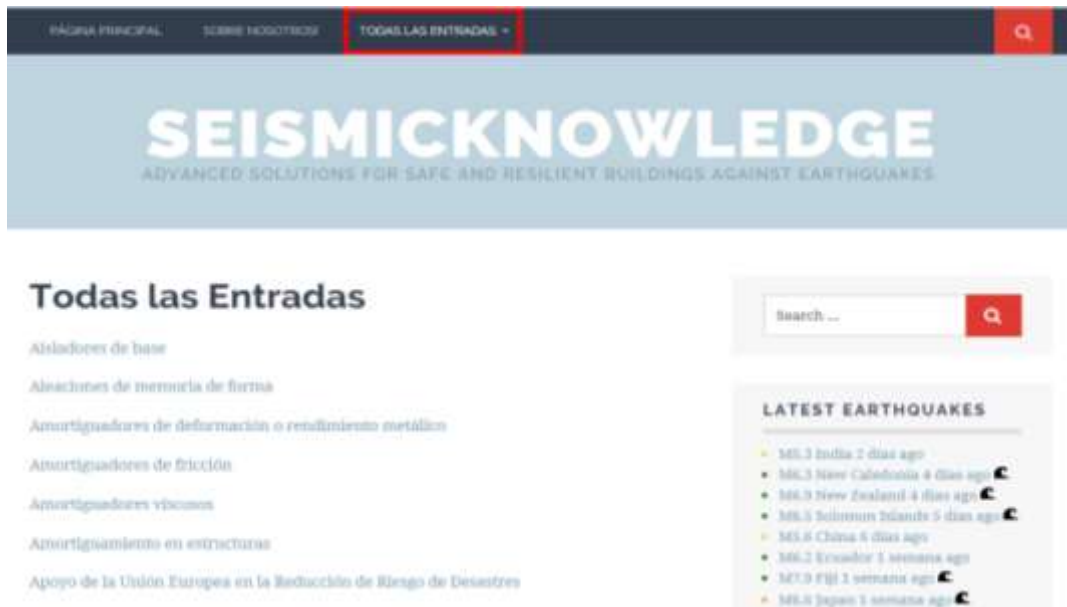


Figura 59. Visualización de las publicaciones ordenadas alfabéticamente al ingresar al menú “Todas las entradas”

La segunda manera es posicionarse sobre la pestaña sin ingresar a ella, a continuación se desplegará una lista jerarquizada de las entradas ordenadas por temas y subtemas. Dentro de la primera lista que aparece se muestran los temas principales y al posicionarse sobre estos se despliega una segunda lista con los subtemas. Al clicar sobre cualquiera de ellos será posible acceder directamente a la publicación y visualizar la información en ella contenida.

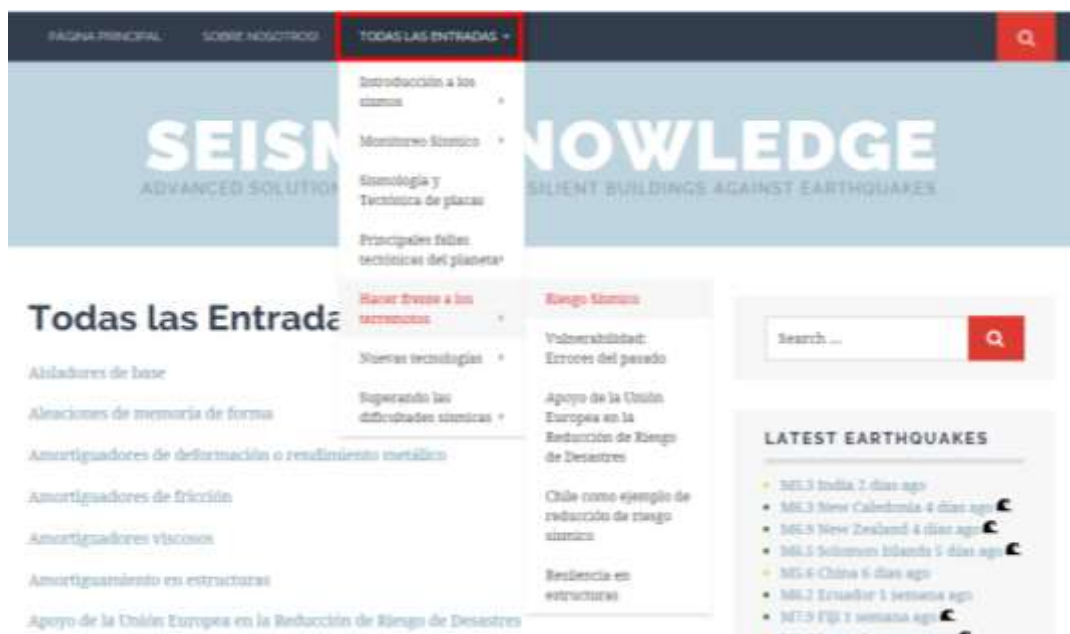


Figura 60. Visualización de la lista desplegada al posicionarse sobre la pestaña “Todas las entradas”

4.2.4. Publicaciones (Entradas)

El Website a modo de plataforma de información cuenta con un total de 51 publicaciones (posts en inglés) que presentan al usuario la información que ha sido recopilada durante la investigación bibliográfica para la realización de este proyecto.

En la primera página visualizada se muestran las últimas 5 publicaciones realizadas en el Website a modo de artículos completos. Debajo de las publicaciones se encuentra la opción “Previous articles” que permite saltar a otras páginas para visualizar publicaciones más antiguas.

4.2.5. Formato de las publicaciones

Al ingresar a cualquiera de las publicaciones, estas se muestran en un formato sencillo y fácil de interpretar. Se ha usado un tema en el que estas entradas muestren sólo lo necesario para el lector con una configuración sobria y ordenada incluyendo algunos detalles importantes de cada uno de los artículos escritos.

4.2.5.1. Encabezado y contenido

Como encabezado se encuentra en la parte superior en letras de mayor tamaño el título de la publicación. Debajo del título se muestra información de interés sobre el artículo como el nombre del autor, la fecha de publicación y el número de comentarios realizados en el artículo.

Clicando en alguno de estos apartados es posible acceder a páginas que reúnen, por ejemplo, todas las publicaciones realizadas por el mismo autor, las realizadas en la misma fecha o un salto directo a los comentarios realizados.

A continuación se ubica el contenido en formato texto y acompañado, en algunas ocasiones, con gráficos, fotografías o tablas, a fin de que el usuario logre comprender de mejor manera la información presentada.

Dentro del contenido se encuentran pequeños identificativos numéricos encerrados entre corchetes y en color azul celeste que sirven para referenciar, al final del artículo, la información mostrada y conocer de dónde ha sido extraída.

Introducción a los sismos

 Johan Antonio Pin Molina  27 de septiembre de 2017  9 Comments

Los temblores o terremotos (sismos más grandes), también conocidos como movimientos telúricos debido a su relación con la Tierra como planeta, son el resultado de la ruptura de las rocas, liberando súbitamente energía en un punto determinado de la corteza terrestre. Esta energía se transmite en forma de ondas sísmicas, que se propagan alejándose de su punto de origen, de igual manera que en un estanque los hacen las olas alejándose del punto donde arrojamos una piedra. Se denomina hipocentro al lugar bajo la tierra donde se genera el sismo, y epicentro su proyección hacia la superficie. [1]

El terremoto es uno de los fenómenos naturales que más terror y más daño ha provocado a la humanidad. La lucha del hombre por lograr su control ha sido dura, sin embargo hoy en día existe mucha información que aunque no los eviten por completo, logrará prevenir daños incalculables. Los terremotos son causados por (i) la actividad volcánica aunque no son tan comunes, (ii) el hundimiento de cavidades subterráneas que no liberan mucha

Figura 61. Encabezado y contenido de las publicaciones.

4.2.5.2. Referencias bibliográficas, etiquetas e información del autor

Al final de la publicación, inmediatamente después del contenido, se presentan de manera ordenada las referencias bibliográficas de las cuales ha sido obtenida la información. Si la información ha sido extraída de un texto físico o artículos científicos sólo se muestra la respectiva cita bibliográfica, en caso de que la información haya sido tomada de otra página web como revistas digitales o publicaciones en línea, inmediatamente posterior a la cita se incluye el link (en color celeste) con la dirección URL que proporciona acceso a la fuente.

A continuación aparece el ícono de una carpeta y el nombre de la categoría a la cual pertenece el artículo, seguido y acompañado del ícono correspondiente las etiquetas, y finalmente un ícono de Bookmark que permite dar saltos instantáneos a alguna parte de la publicación en la que hayamos colocado una marca. Cliqueando sobre la categoría o alguna

de las etiquetas es posible acceder a un apartado en donde se reúnen todos los artículos que compartan este identificativo.

Aparece también debajo de la categoría y de las etiquetas una opción que nos permite avanzar directamente al siguiente artículo publicado brindando una referencia del nombre del mismo.

Referencias:

[1] Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S. y Yepes, H. Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Corporación Editora Nacional. Quito, Ecuador. Noviembre 2007.

[2] Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Terremotos. Munich, 1974.

[3] Ingrassia, V. (15 de enero del 2010). ¿Por qué la ciencia aún no puede predecir un terremoto? La Nación, periódico digital argentino. Recuperado de <http://www.lanacion.com.ar/1221565-por-que-la-ciencia-aun-no-puede-predecir-un-terremoto>. Acceso: miércoles 06 de septiembre del 2017.

[4] Guerrero, T. (13 de enero del 2010). ¿Por qué es tan difícil predecir un terremoto? El Mundo, periódico digital español. Recuperado de <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/01/13/ciencia/1263390561.html>. Acceso: miércoles 06 de septiembre del 2017.

[5] Raimundo Delgado, Mário Lopes. Sismos e Edifícios, Primeira Edição. Capítulo I: Breve referência à história da Engenharia Sísmica, pp1. Portugal, julho 2008.

📁 Generalidades 📁 Generalidades, Información general, Sismo, Terremoto, Volcán 📌 Bookmark

NEXT ARTICLE >
[¿Cómo se mide un Terremoto?](#)

Figura 62. Referencias bibliográficas, categorías y etiquetas de las publicaciones.

4.2.5.3. Mapas

Dentro de la configuración de la plataforma fue instalado un plugin que permite a los administradores del sitio Web generar mapas de localización en las publicaciones como complemento a la información mostrada. El lector que visualiza el artículo encontrará el mapa al final del contenido y las referencias bibliográficas. En las entradas realizadas en la plataforma, aquellas que incluyen información de un sitio específico contienen un mapa adjunto.

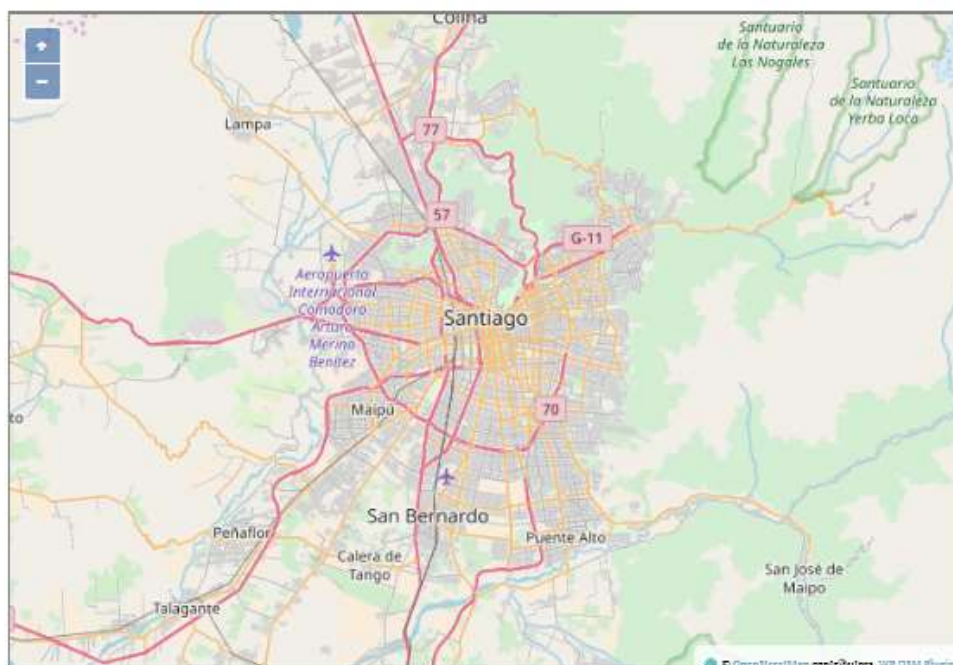


Figura 63. Mapas insertados en las publicaciones

4.2.5.4. Comentarios

Al final de todo se muestran los comentarios que ha sido realizados en la entrada por usuarios que han visitado la plataforma y un casillero para dejar nuevos comentarios.

Los comentarios realizados por los usuarios del sitio no son publicados directamente, son archivados y regulados por los administradores del Website antes de su publicación. En caso de haber comentarios ofensivos o fuera del lugar, los administradores tienen la opción de eliminarlo. (Figura 64)

4.2.5.1. Hipervínculos

Una particularidad de las publicaciones en este Website es que, al igual que en muchas otras páginas de consulta, existen dentro del texto del contenido palabras que guardan relación con otros artículos publicados también dentro de la misma plataforma o información importante de fuentes externas. Estas palabras que se encuentran resaltadas en color verde están configuradas como hipervínculos y cliqueando sobre ellas es posible acceder a esta información dando un rápido salto a otra de las publicaciones del Website o páginas externas a la plataforma. (Figura 65)



INTEGRATORI ALIMENTARI

25 de enero de 2018 / 04:55 04Thu, 25 Jan 2018 04:55:39 +000039.

Valuable info. Fortunate me I discovered your site by accident, and I'm shocked why this twist of fate didn't happened earlier!

I bookmarked it.

↳ Responder

Deja un comentario

Tu dirección de correo electrónico no será publicada. Los campos necesarios están marcados *

Message...

Name*

Email*

Website

PUBLICAR COMENTARIO

Figura 64. Comentarios en las publicaciones.

además de las 8 super-columnas base, cuenta con otras 36 de soporte. Para distribuir la carga del edificio, los ingenieros construyeron una plataforma de concreto en la parte central de 3.5 metro de espesor y en la parte periférica de 4.7 metros y en los laterales de 3.5 metros. Las columnas se apoyan en la plataforma y ésta a su vez distribuye la carga sobre las columnas de apoyo a nivel de suelo.

Según técnicos, puede soportar terremotos de hasta 7 grados en la [escala de Richter](#) y vientos de más de 450 km/h. La importante capacidad de absorción de movimiento de masas en esta estructura, reside en un [amortiguador de masa](#) ubicado entre los pisos 92 y 88, formado por una gran bola dorada de acero de 680 toneladas de peso siendo el más grande y pesado del mundo (y el único que está a la vista del público), con este, el edificio contrarresta los fuertes vientos y los meneos de la tierra. Cabe mencionar que este amortiguador cuenta con 41 placas de acero, está suspendido de ocho cables del mismo material; se basa en ocho amortiguadores viscosos y puede moverse poco más de un metro hacia cualquier dirección. Cuando el edificio se mueve en una dirección el amortiguador lo impulsa en dirección contraria, absorbiendo la energía de movimiento, sirviendo de contrapeso mecánico de las vibraciones, limitándolas y estabilizando el edificio. [\[1, 2\]](#)

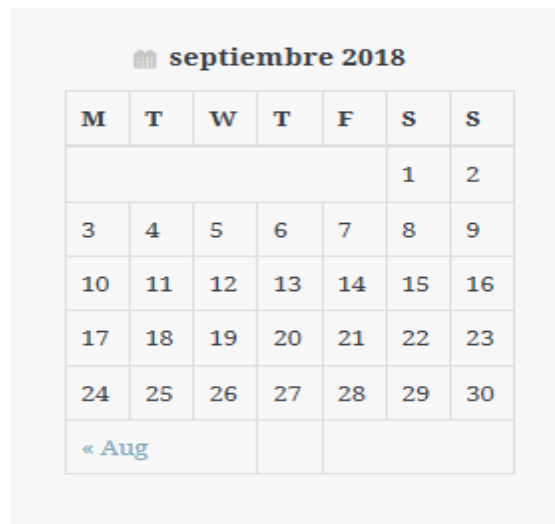
Figura 65. Hipervínculos en las publicaciones.

4.2.6. Complementos (Widgets)

Para hacer más dinámico el funcionamiento de la plataforma informática y añadir nuevas funcionalidades, en la barra lateral derecha y en la parte inferior, a modo de pie de página y organizado en varias columnas, se encuentra un conjunto de Widgets como complementos de la plataforma con el objetivo de mejorar la experiencia del usuario e incluir particularidades de gran interés.

4.2.6.1. Calendario

El calendario, además de proporcionar al usuario una referencia de la fecha actual, aparecen resaltados los días y meses en que ha sido publicada alguna entrada y cliqueando sobre ellos se accede de manera inmediata a una lista con estas publicaciones.



septiembre 2018						
M	T	W	T	F	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
« Aug						

Figura 66. Widget “Calendario”

4.2.6.2. Buscador

Uno de los más importantes complementos y quizás el favorito de muchos usuarios, el buscador. Basta con introducir en la celda una palabra o grupo de palabras y presionar sobre la imagen de la lupa. Se mostrarán todas las entradas publicadas en la plataforma que guarden relación con lo que fue escrito en la celda sin tener que pasar de artículo en artículo hasta hallar lo que se necesita.

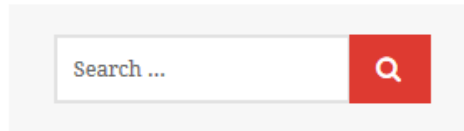


Figura 67. Widget “Buscar”

4.2.6.3. Earthquake Monitor

Bajo el título en inglés “Latest earthquakes”, se encuentra un complemento que muestra en tiempo real una lista de los más recientes eventos telúricos a nivel mundial según la USGS. Dentro de la lista se muestran solamente los diez últimos eventos detectados mayores a 4 grados de magnitud (entrando en la denominación de sismos fuertes) y, cliqueando sobre cualquiera de ellos, se accede directamente a la página de la USGS con toda la información relacionada con el sismo seleccionado.

Es de mencionar que cuando el evento ha ocurrido fuera del territorio continental o ha provocado además una alerta de Tsunami, junto a la breve denominación del evento aparecerá el símbolo de una ola.

Otra curiosidad es que, junto a cada elemento de la lista se presenta un pequeño recuadro remarcado de un color, este color representa la estimativa de pérdidas económicas y humanas que dejó el sismo, siendo color verde cuando las pérdidas han sido pocas y cambiando de tono hasta llegar a rojo cuando las pérdidas han sido considerables.

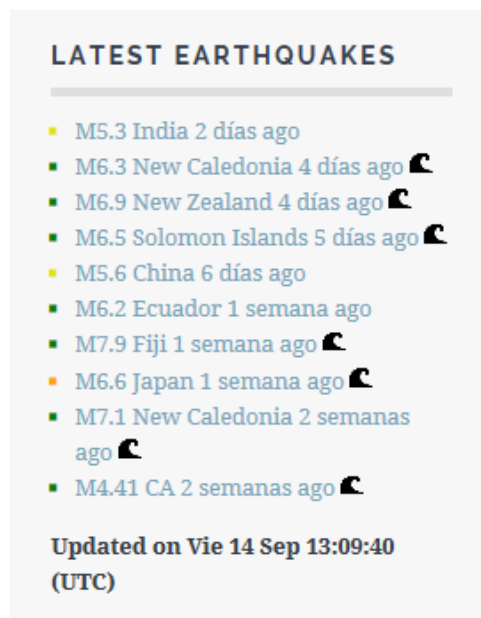


Figura 68. Widget “Earthquake Monitor”

4.2.6.4. Entrada recientes

Se muestra también el complemento de Entradas recientes que proporciona una lista de acceso rápido a los últimos 5 artículos publicados en la plataforma.



Figura 69. Widget “Entradas recientes”

4.2.6.5. Archivos

Para finalizar, el complemento “Archivo” muestra una lista de los meses y años en los que han sido realizadas las publicaciones de artículos en el sitio Web. Seleccionando cualquiera de ellos es posible visualizar todos los artículos colocados en la plataforma durante el periodo de tiempo escogido.



Figura 70. Widget “Archivos”

4.2.6.6. Categorías

Otro de los complementos presenta las categorías en los cuales se ordenan todas las entradas del Website. Manejando seis categorías en orden alfabético: (i) Actividad sísmica, (ii) Estructuras resilientes, (iii) Generalidades, (iv) Monitoreo sísmico, (v) Riesgo sísmico y

(vi) Soluciones contra terremotos. Al seleccionar cualquiera de ellas se accede a una página que agrupa todas las publicaciones que pertenecen a la misma categoría.



Figura 71. Widget “Categorías”

5. Conclusiones y recomendaciones futuras

5.1. Conclusiones

Innumerables proyectos son desarrollados alrededor del mundo y en este trabajo han sido reunidos algunos de ellos que se enfocan no sólo en el reforzamiento de las estructuras principales de los edificios sino también en los elementos no estructurales que, si bien no pertenecen al sostén de la construcción, bajo las consideraciones apropiadas aportan beneficiosamente al desempeño de la misma y su adecuada gestión puede ayudar a salvar vidas en caso de eventualidades que la naturaleza propicia.

Se ha realizado un trabajo de recopilación de información científica sobre temas referentes a los sismos y terremotos y algunos de los avances tecnológicos más recientemente desarrollados a través de proyectos que se ejecutan en Europa, América Latina y otras partes del mundo. Esto con la finalidad de encontrar soluciones aptas que permitan a las comunidades superponerse a estos eventos telúricos que son cada vez más catastróficos, no por el hecho de que con el pasar del tiempo la fuerza de los mismos vaya en aumento sino porque la población mundial se acrecienta y se sitúa en centros urbanos, generando más infraestructura que corre peligro de colapsar si no se cuenta con las condiciones adecuadas.

Hablando de resiliencia, existen ya varios ejemplos de grandes estructuras que han sido construidas bajo normas rigurosas y aplicando algunas de las tecnologías sísmicas investigadas y que, estando asentadas sobre zonas altamente sísmicas y rompiendo cualquier paradigma, han soportado ya eventos telúricos de magnitudes increíbles y siguen en pie y funcionales hasta la actualidad. Un claro ejemplo de que la resiliencia sísmica en estructuras es posible.

Es de indicar que el ámbito sísmico y su estudio no sólo se refiere a construcciones resistentes y adaptadas sino a un campo más amplio de trabajo conjunto, con la colaboración de organizaciones internacionales encargadas del monitoreo de la Tierra y los eventos que ocurren a fin manejar sistemas de alerta temprana y proyectos a gran escala que, reconociendo que las alteraciones climáticas que sufre el planeta influyen también en la ocurrencia de eventos como los terremotos, están en búsqueda de “Ciudades resilientes” ante los cambios climáticos y las adversidades que ello conlleva.

En búsqueda de futuras cooperaciones con otros organismos y proyectos inmiscuidos dentro del ámbito de estudio de las construcciones resilientes, se ha creado “SeismicKnowledge”, una plataforma informática dinámica con la finalidad de que la información en ella contenida sea de libre acceso para toda la población interesada en esta problemática que cada vez gana más protagonismo. Desde que SeismicKnowledge está disponible online a inicios del 2018, con las primeras publicaciones en términos generales sobre los sismos y terremotos, algunas personas han visitado el sitio comentado positivamente sobre el trabajo que se ha desarrollado.

5.2. Recomendaciones para estudios futuros

El ámbito de estudio de la resiliencia y las construcciones adaptadas a eventos telúricos es extenso por lo que el presente trabajo estuvo particularmente enfocado en la información relevante sobre eventos sísmicos, los desarrollos científicos y tecnológicos más recientes, y las metodologías innovadoras, con el objetivo de mejorar la seguridad y resiliencia de los edificios, aumentando la esperanza de vida de las poblaciones ante estos eventos extremos. Es por ello que se considera que el estudio en este campo debe ser continuado, expandiendo el alcance del proyecto emprendido en favor del desarrollo tecnológico y la seguridad de las poblaciones.

Para una continuación del estudio se recomienda lo siguiente:

En lo referente al primer objetivo, actualmente la plataforma SeismicKnowledge se encuentra desarrollada solamente en idioma español, sin embargo con miras a la cooperación internacional debería ser también trabajada en otros idiomas siendo recomendados: portugués (por la influencia de Portugal en Europa, Brasil en América Latina y África) e inglés, que permitirá una extensa divulgación del conocimiento sobre las mejores prácticas y estudios experimentales para implementar un ambiente construido más “seguro, resiliente y sustentable”.

Considerando lo pretendido en los objetivos 2 y 3, continuar con la actualización de conocimientos sobre desarrollos tecnológicos en pro de la resiliencia sísmica de las estructuras, ya que constantemente son presentadas nuevas propuestas y elaborados nuevos proyectos en este ámbito.

Actualmente, se está realizando un estudio más detallado sobre la situación de América Latina en lo referente a las prácticas y políticas innovadoras desarrolladas para la resiliencia a raíz de los eventos sísmicos ocurridos recientemente. Este estudio será también extendido a otras regiones del mundo sometidas constantemente a eventos telúricos.

En lo referente al cuarto objetivo, promover la cooperación con otras plataformas informáticas de intereses similares, otros organismos políticos y sociales y las poblaciones localizadas en sectores de alto riesgo sísmico, con el fin de realizar proyectos colaborativos multidisciplinarios relacionados con la resiliencia y su importancia en las comunidades y ciudades. Hoy en día en Europa y el mundo entero se desarrollan proyectos en favor de las comunidades, por ejemplo: **COMRADES** (Collective Platform for Community Resilience and Social Innovation during Crises) [106] está creando una plataforma de resiliencia comunitaria de código abierto, diseñada por las comunidades, para las comunidades, para ayudarlos a reconectarse, responder y recuperarse de situaciones de crisis; la plataforma **SERA** (Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe) [107] que tiene como objetivo reducir el riesgo planteado por los terremotos naturales y antropogénicos en base a proyectos innovadores de investigación y desarrollo; **ClimateChangeResearch** (Red global de investigación sobre el cambio climático) [108] una plataforma australiana cuyo objetivo es aumentar la capacidad de los gerentes, legisladores, investigadores y conservacionistas para tomar decisiones informadas que conduzcan a resultados positivos que reduzcan los impactos del cambio global en los ecosistemas megadiversos de los trópicos.

Es importante también mejorar la interactividad de la plataforma “SeismicKnowledge” mediante la instalación de nuevos plugins que tornen la plataforma más dinámica, y la creación de foros y espacios de intercambio de información, fortaleciendo la cooperación internacional, mediante la colaboración de personas de varias partes del mundo que estén interesadas en esta temática.

Bibliografía

- [1] ¿Por qué tantos terremotos? (15 de abril del 2010). BBC Mundo, Periódico digital. Recuperado de: http://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/03/100303_terremotos_frecuencia_men.shtml. Acceso: Lunes 25 de septiembre del 2017.
- [2] González, I. Actualización de la evaluación del riesgo sísmico en edificios de hormigón armado en los sectores con mayor riesgo sísmico de Guayaquil. Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 2012.
- [3] Raimundo Delgado, Mário Lopes. Sismos e Edifícios, Primeira Edição. Capítulo I: Breve referência à história da Engenharia Sísmica, pp1. Portugal, julho 2008.
- [4] La estrategia Europa 2020. Portal Web oficial de la Comisión Europea. Recuperado de: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy_it. Acceso: Jueves 15 de marzo de 2018.
- [5] Una economía baja en carbono para el 2050. Portal Web oficial de la Comisión Europea. Recuperado de: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es. Acceso: Jueves 15 de marzo de 2018.
- [6] Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S. y Yepes, H. Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Corporación Editora Nacional. Quito, Ecuador. Noviembre 2007.
- [7] Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Terremotos. Munich, 1974.
- [8] Ingrassia, V. (15 de enero del 2010). ¿Por qué la ciencia aún no puede predecir un terremoto? La Nación, periódico digital argentino. Recuperado de <http://www.lanacion.com.ar/1221565-por-que-la-ciencia-aun-no-puede-predecir-un-terremoto>. Acceso: miércoles 06 de septiembre del 2017.
- [9] Guerrero, T. (13 de enero del 2010). ¿Por qué es tan difícil predecir un terremoto? El Mundo, periódico digital español. Recuperado de <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/01/13/ciencia/1263390561.html>. Acceso: miércoles 06 de septiembre de 2017.
- [10] Martín Algarra (jueves 25 de febrero de 2016). Por qué se producen las réplicas de un terremoto y qué peligros adicionales traen. La información, Periódico digital. Recuperado de: https://www.lainformacion.com/tecnologia/mundo/por-que-se-producen-las-replicas-de-un-terremoto-y-que-peligros-adicionales-traen_aa0axjdr7oxyhb08hrgr6. Acceso: martes 8 de mayo de 2018.
- [11] Jesús Casillas Romero (21 de septiembre de 2017). Terremotos y cambio climático ¿acontecimientos aislados? Publicación realizada en el sitio Web mexicano Crónica.com. Recuperado de: <http://www.cronica.com.mx/notas/2017/1044348.html>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.

- [12] María Prieto (4 de marzo de 2010). La relación entre el cambio climático y los terremotos. Artículo publicado en el Blog Nueva Mujer. Recuperado de: <https://www.nuevamujer.com/bienestar/2010/03/04/la-relacion-entre-cambio-climatico-y-los-terremotos.html>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.
- [13] Climate Smart Cities. Evaluating the economic case for low carbon, climate resilient cities. Portal Web oficial de Climate Smart Cities. Recuperado de: <http://www.climatesmartcities.org/home>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.
- [14] Drouet, S., Cotton, F., & Guéguen, P. (2010), vs30,k, regional attenuation and Mw from accelerograms: application to magnitude 3-5 French earthquakes, *Geophysical Journal International*, 182, 880–898.
- [15] Gupta, I.D. (2000). Using strong-motion accelerograms for estimation of local magnitudes of earthquake in Himalayan region. *ISSET Journal of Earthquake Technology*, No 398, Vol 37, March-Sept. pp 1-10.
- [16] Kanamori, H. & Jennings, P. (1978). Determination of local magnitude, M_L , from strong-motion accelerograms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 68, 2, pp 471-486.
- [17] Margaris, B.N. & Papazachos, B. (1999) Moment-magnitude relations based on strong-motion records in Greece, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 2, pp 442-455.
- [18] Zollo, A., Amoroso, O., Lancieri, M., Wu, Y. & Kanamori, H. (2010) A threshold-based earthquake early warning using dense accelerometer networks, *Geophysical Journal International*, 183, 963–974.
- [19] Trnkoczy, A., Havskov, J. y Ottemoller, L. Seismic Networks. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice, vol 1, capítulo 8.
- [20] Una cara de investigación sísmica (21 de diciembre de 2016). Plataforma virtual de la Comisión Europea. Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?artid=42516. Acceso: 22 de mayo de 2018.
- [21] John Stenmark (30 de abril de 2014). Precise to a fault: How GPS revolutionized seismic research. EARTH, revista científica digital del instituto Estadounidense de Geociencias. Recuperado de: <https://www.earthmagazine.org/article/precise-fault-how-gps-revolutionized-seismic-research>. Acceso: 22 de mayo de 2018.
- [22] Comunidad GEO. Portal web oficial de GEO (Group on Earth Observation). Recuperado de: http://www.earthobservations.org/geo_community.php. Acceso: miércoles 12 de septiembre de 2018.
- [23] Wegener, A. (1912): Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, 3(4): 276-292. (Título en español: El origen de los Continentes. Recorrido Geológico)
- [24] Kious, J., R. Tilling, This Dynamic Earth: the story of Plate Tectonics. Serie General Interest Publications of the U.S. Geological Survey, Cranch Of Information Services.

[25] Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S. y Yepes, H. Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Corporación Editora Nacional. Quito, Ecuador. Noviembre 2007.

[26] Mapa: Zonas de peligro de terremotos em todo el mundo (2 de abril del 2014). Plataforma virtual de la radio canadiense CBCnews. Recuperado de: <http://www.cbc.ca/news2/interactives/world-quakes/>. Acceso: 20 de mayo de 2018.

[27] Cicatrices de la Tierra: las 5 fallas tectónicas más grandes del planeta (viernes 20 de abril de 2018). Sputnik, agencia de información digital del siglo XXI. Moscú, Rusia. Recuperado de: <https://mundo.sputniknews.com/ecologia/201804201078072496-rift-corteza-terrestre-terremotos-volcanes/>. Acceso: lunes 7 de mayo del 2018.

[28] San Andreas fault 'locked, loaded and ready to roll' with big earthquake, expert says (miércoles 4 de mayo de 2016). Los Angeles Times, Periódico Digital del estado de California, EE.UU. Recuperado de: <http://www.latimes.com/local/lanow/la-me-ln-san-andreas-fault-earthquake-20160504-story.html>. Acceso: lunes 7 de mayo de 2018.

[29] San Andrés: el peligro real de una de las fallas más temidas del mundo (viernes 30 de septiembre del 2016). BBC Mundo, Periódico digital. Recuperado de: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150504_eeuu_california_falla_san_andres_pelicula_peligros_j_g. Acceso: Lunes 7 de mayo del 2018.

[30] Evaluación de daños y análisis de necesidades – Manual de Campo, Oficina de Asistencia de desastres en América Latina y el Caribe USAID, Gráfica Editores. Managua, Nicaragua, Febrero 2002:7)

[31] El temido cinturón de fuego del Pacífico (viernes, 11 de marzo del 2011). La Nación, Periódico digital argentino. Recuperado de: <http://www.lanacion.com.ar/1356552-el-temido-cinturon-de-fuego-del-pacifico>. Acceso: jueves 31 de agosto del 2017.

[32] Mateo, G. (26 de Noviembre de 2016). Terremotos en el Cinturón de Fuego del Pacífico. El Español, Periódico digital de Pedro J. Ramírez. Recuperado de: https://cronicaglobal.elespanol.com/graficnews/terremotos-cinturon-fuego-pacifico_63987_102.html. Acceso: viernes 18 de agosto del 2017.

[33] Terremoto de Chiapas de 2017. Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Chiapas_de_2017. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[34] Temblor de 7,9 sacude Papúa Nueva Guinea (22 de enero de 2017). Noticia publicada en el Portal Web oficial de CNN en español. Recuperado de: <http://cnnespanol.cnn.com/2017/01/22/alerta-de-tsunami-despues-de-temblor-de-7-9-en-papua-nueva-guinea/>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[35] Un terremoto de 7,3 grados sacudió el mar entre Indonesia y Filipinas (10 de enero de 2017). RPP Noticias, Portal Web oficial del GrupoRPP. Recuperado de: <http://rpp.pe/mundo/asia/un-terremoto-de-7-3-grads-sacudio-el-mar-entre-indonesia-y-filipinas-noticia-1022505>

[36] Fuerte sismo de 7,1 sacudió ña zona central de Chile (24 de abril de 2017). Sitio Web de información y noticias de Buenos Aires, Argentina Infobae.com. Recuperado de:

<https://www.infobae.com/america/america-latina/2017/04/24/fuerte-sismo-se-registro-en-la-zona-central-de-chile/>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[37] Los tres seísmos de las últimas semanas dejan más de 430 muertos en México (26 de septiembre de 2017). Portal Web oficial de noticias del Grupo EITB. Recuperado de: <http://www.eitb.eus/es/noticias/internacional/detalle/5105159/terremoto-mexico-19-septiembre-2017-noticias-sismo-dia-26/>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[38] Terremoto de 6,1 de magnitud sacude a las islas Ogasarawa en Japón (7 de septiembre de 2017). Periódico digital ecuatoriano El Universo. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/09/07/nota/6369589/terremoto-61-magnitud-sacude-islas-ogasarawa-japon>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[39] Un terremoto de magnitud 6.1 sacude Nueva Zelanda (19 de septiembre de 2017). Periódico digital hondureño El Heraldo. Recuperado de: <http://www.elheraldo.hn/mundo/1109776-466/un-terremoto-de-magnitud-61-sacude-nueva-zelanda>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[40] Fuerte temblor de 7.6 grados sacude Honduras este martes (10 de enero de 2018). Periódico digital hondureño El Heraldo. Recuperado de: <http://www.elheraldo.hn/inicio/1141853-465/temblor-de-76-grados-sacude-a-honduras-sismo-honduras-centroamerica-temblor-honduras>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[41] Terremoto del sur del Perú de 2018. Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_del_sur_del_Per%C3%BA_de_2018. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[42] Cancelada la alerta de tsunami tras el terremoto de 7,9 en Alaska (23 de enero de 2018). Portal Web oficial de noticias del Grupo EITB. Recuperado de: <http://www.eitb.eus/es/noticias/internacional/detalle/5352912/terremoto-alaska-23-enero-2018-sismo-79/>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[43] Terremoto de 7.2 estremece costa de Oaxaca, México (16 de febrero de 2018). Sitio Web del diario Noticias de Oaxaca. Recuperado de: <https://www.voanoticias.com/a/mexico-terremoto-oaxaca-4258707.html>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[44] Sismo de 7,5 sacude Papúa Nueva Guinea (25 de febrero de 2018). Noticia publicada en el Portal Web oficial de CNN en español. Recuperado de: <http://cnnespanol.cnn.com/2018/02/25/sismo-de-75-sacude-papua-nueva-guinea/>. Acceso: miércoles 2 de mayo del 2018.

[45] Cinturón de Fuego del Pacífico: Expertos esperan un mega terremoto (Lunes, 18 de abril de 2016). Los Andes, Periódico digital argentino de los hermanos Calle. Recuperado de: <http://www.losandes.com.ar/article/cinturon-de-fuego-del-pacifico-expertos-esperan-un-mega-terremoto>. Acceso: jueves 31 de agosto del 2017.

[46] Mercy Asamba, (martes 20 de marzo de 2018). Alarma a medida que las grietas de Suswa vuelven a aparecer después de dos semanas. Standard Digital, Periódico Digital, Kenia. Recuperado de: <https://www.standardmedia.co.ke/article/2001273849/alarm-as-suswa-crevasses-re-appear-after-two-weeks-photos>. Acceso: lunes 7 de mayo de 2018.

[47] Javier Jiménez, (lunes 26 de marzo del 2018). Una enorme grieta se ha abierto en el Valle del Rift de Kenia y parece que es solo el principio. Xataka, Periódico Digital. Recuperado de: <https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/una-enorme-grieta-se-ha-abierto-en-el-valle-del-rift-de-kenia-y-parece-que-es-solo-el-principio>. Acceso: lunes 7 de mayo de 2018.

[48] Cardona, O. Gestión del riesgo colectivo. Curso de Educación Superior Gestión Integral de riesgos y desastres. Capítulo 3. Barcelona, España. 39-62 pp.

[49] Park, R. y Gamble, W. L.; Losas de concreto reforzado; Editorial LIMUSA; 1ª Edición, 2ª Reimpresión: 1992; México, pp. 21, 25.

[50] Burke Garance (9 de octubre de 2017). Engineers: Lives lost in Mexico quake could have been saved. The Denver Post, digital press. Recuperado de: <https://www.denverpost.com/2017/10/09/mexico-city-earthquake-flat-slab-construction/>. Acceso: lunes 28 de mayo de 2018.

[51] Hilaire Avril (13 de octubre de 2016). 20 years of Disaster Risk Reduction in Latin America and the Caribbean. Official web-page of European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations. Recuperado de: http://ec.europa.eu/echo/field-blogs/stories/20-years-disaster-risk-reduction-latin-america-and-caribbean_en. Acceso: lunes 28 de mayo de 2018.

[52] Zamorano A. (17 de septiembre del 2015). Terremotos en Chile: el secreto de sus construcciones antisísmicas. BBC Mundo, Periódico digital. Recuperado de: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_chile_terremoto_edificios_az. Acceso: Lunes 25 de septiembre del 2017.

[53] João Pedro Ataíde Archer Guerra Pratas. Tsunamis e Cidades Resilientes. Disertação de Mestrado Integrado em Arquitetura. Coimbra, Portugal. Favereiro 2014.

[54] Leticia Rialto (Diciembre de 2017). La construcción resiliente, la oportunidad ante los desastres naturales. El Mundo, Unidad Editorial web. Madrid, España. Recuperado de: <http://www.futurosostenible.elmundo.es/sostenibilidad/la-construccion-resiliente-la-oportunidad-ante-los-desastres-naturales>. Acceso: miércoles 23 de mayo de 2018.

[55] Seismic base isolation technique for building earthquake resistance. Arquitectura inspirada, portal web sobre contenidos de arquitectura, ingeniería y construcción. Recuperado de: http://articles.architectjaved.com/earthquake_resistant_structures/seismic-base-isolation-technique-for-building-earthquake-resistance/. Acceso: 15 de mayo de 2018.

[56] William Harris. Cómo funcionan los edificios resistentes a terremotos: Fundamentos y materiales resistentes a los terremotos. Howstuffworks, plataforma web informativa. Recuperado de: <https://science.howstuffworks.com/engineering/structural/earthquake-resistant-buildings4.htm>. Acceso: 13 de junio de 2018.

[57] James M. Kelly (13 de noviembre de 2013). Una forma probada y económica de proteger los edificios de los terremotos. NovaNext, portal web de arte e información de los Estados Unidos. Recuperado de: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/tech/rubber-bearings-seismic-protection/>. Acceso: domingo 10 de junio de 2018.

[58] Aguiar R., Almazán J.L., Dechent P. y Suárez V. Aisladores de base elastoméricos y FPS. Centro de investigación científica de la Escuela Politécnica del Ejército. Quito, Ecuador. Noviembre, 2008.

[59] 10 Tecnologías que ayudan a los edificios a resistir los terremotos: La fundación levitante. Howstuffworks, plataforma web informativa. Recuperado de: <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/10-technologies-that-help-buildings-resist-earthquakes1.htm>. Acceso: 25 de mayo de 2018.

[60] Fujita S., Minagawa K., Tanaka V., Shimosaka H. (2011). Intelligent seismic isolation system using air bearings and earthquake early earing, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31, 223-230.

[61] Larry Bowlus (2013). Aislamiento base de Alaska, tecnología de péndulo a horcadas. Recuperado de: <http://straddlingpendulum.com>. Acceso: jueves 31 de mayo de 2018.

[62] Pinochet, Julio & de la Llera, Juan & Lüders, C. (2006). Analysis of a kinematic self-centring seismic isolator. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 35. 1533 - 1561.

[63] Ensayo: Aplicación de dispositivos de disipación energética como técnicas resistentes a terremotos en la estructura. Essay UK, Student Academic Services Limited. Reino Unido. Recuperado de: <http://www.essay.uk.com/essays/engineering/essay-application-of-energy-dissipation-devices-as-earthquake-resistant-techniques-on-structure/>. Acceso: martes 29 de mayo de 2018.

[64] Santos M.F. (2011). Energy dissipation systems for buildings. Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon – Portugal. Recuperado de: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143135967/Extended%20Abstract_Mauro%20Monteiro.pdf. Acceso: 1 de junio de 2018.

[65] Dispositivos de disipación de energía para diseño de edificios resistentes a terremotos. Arquitectura inspirada, portal web sobre contenidos de arquitectura, ingeniería y construcción. Recuperado de: http://articles.architectjaved.com/earthquake_resistant_structures/energy-dissipation-devices-for-earthquake-resistant-building-design/. Acceso: 15 de mayo de 2018.

[66] Amortiguador de rendimiento metálico. Sitio web oficial de la Changzhou Road Structure Damping Co., Ltd, proveedor profesional de soluciones de disipación de energía y fabricante de dispositivos de amortiguación en China. China 2016. Recuperado de: <http://www.roadjz.com/en/show.asp?id=19>. Acceso: 17 de julio de 2018.

[67] 10 Tecnologías que ayudan a los edificios a resistir los terremotos: Poder del péndulo. Howstuffworks, plataforma web informativa. Recuperado de: <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/10-technologies-that-help-buildings-resist-earthquakes3.htm>. Acceso: 25 de mayo de 2018.

[68] 10 Tecnologías que ayudan a los edificios a resistir los terremotos: Rocking Core-wall. Howstuffworks, plataforma web informativa. Recuperado de: <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/10-technologies-that-help-buildings-resist-earthquakes5.htm>. Acceso: 25 de mayo de 2018.

[69] Amate Chema (16 de junio de 2014). Este sistema podría proteger ciudades enteras de ondas sísmicas. Portal de información digital. Recuperado de: <https://blogthinkbig.com/ondas-sismicas>. Acceso: 5 de junio de 2018.

[70] Un Manto de Invisibilidad podría esconder edificios de los terremotos. (28 de junio de 2009). Revista digital ConstruGeek. Recuperado de: <http://www.construcgeek.com/tecnologia/un-manto-de-invisibilidad-podria-esconder-edificios-de-los-terremotos>. Acceso: 5 de junio de 2018.

[71] Brûlé S., Javelaud E.H., Enoch S., Guenneau S. (2014). Experiments on Seismic Metamaterials: Molding Surface Waves. *Physical Review Letters*, 112, 133901.

[72] La capa de invisibilidad sísmica ya se prueba en Francia. (2013). Hipertextual, publicaciones digitales independientes. Recuperado de: <https://hipertextual.com/archivo/2013/02/capa-de-invisibilidad-sismica/>. Acceso: 5 de junio de 2018.

[73] Rafiee Misha. (17 de agosto de 2012). Smart Materials Improve Earthquake-Resistant Bridge Design. Portal web informativo Live Science. Recuperado de: <https://www.livescience.com/22317-smart-materials-earthquake-safe-bridges-nsf-bts.html>. Acceso: 7 de junio de 2018.

[74] 10 Tecnologías que ayudan a los edificios a resistir los terremotos: Biomateriales. Howstuffworks, plataforma web informativa. Recuperado de: <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/10-technologies-that-help-buildings-resist-earthquakes9.htm>. Acceso: 25 de mayo de 2018.

[75] Michael Slezak (16 de agosto de 2013). Catedral a prueba de terremotos hecha de cartón develado. NewScientist, Plataforma web informativa. Recuperado de: <https://www.newscientist.com/article/dn24058-quake-proof-cathedral-made-of-cardboard-unveiled/>. Acceso: martes 5 de junio de 2018.

[76] Oakwood Timber Tower, United Kingdom. Artículo publicado en el portal Web oficial de PLP Architecture. Recuperado de: <http://www.plparchitecture.com/oakwood-timber-tower.html>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.

[77] Eduardo Medina Sánchez. Curso de cálculo y construcción de estructuras en madera. Portal Web Ingenio xyz. Recuperado de: https://ingenio.xyz/cursos/calculo_estructuras_madera. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.

[78] Mark Thompson (12 de octubre de 2017). Terremotos, edificios y energía verde: el acto de equilibrio de Turquía. Sitio web oficial del proyecto Bricker: Energy Reduction in public building stock. Recuperado de: <http://www.bricker-project.com/News/Articles/earthquakes--buildings-and-green-energy-turkeys-balancing-act.kl>. Acceso: martes 26 de junio de 2018.

[79] 10 Tecnologías que ayudan a los edificios a resistir los terremotos: Carbon-fiber wrap. Howstuffworks, plataforma web informativa. Recuperado de: <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/10-technologies-that-help-buildings-resist-earthquakes8.htm>. Acceso: 25 de mayo de 2018.

[80] Saadatmanesh H., Mohammad R. and Jin L. (1997). Repair of Earthquake-Damaged RC Columns with FRP Wraps. *ACI Structural Journal*. 94 (2), 206-214.

[81] Textiles técnicos polifuncionales contra riesgos naturales. CORDIS, Servicio de Información Comunitario de Investigación y Desarrollo. Portal Público de la Comisión Europea. Recuperado de: https://cordis.europa.eu/project/rcn/81556_en.html. Acceso: miércoles 23 de mayo de 2018.

[82] El “papel tapiz sísmico” revolucionario puede ayudar a edificios frágiles a soportar terremotos (27 de noviembre de 2014). Página Web oficial de la Comisión Europea. Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?artid=33417#. Acceso: miércoles 23 de mayo de 2018.

[83] Bayer lanza en Colombia nuevo papel tapiz antisísmico (21 de abril de 2012). Portal web oficial de la radio Santa Fe 1070 a.m. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://www.radiosantafe.com/2012/04/21/bayer-lanza-en-colombia-nuevo-papel-tapiz-antisismico/>. Acceso: miércoles 23 de mayo de 2018.

[84] Progetone, New solutions for more comfortable, efficient and seismic-safe homes. Website oficial del proyecto europeo ProGETonE. Recuperado de: <https://www.progetone.eu/project/>. Acceso: martes 11 de septiembre de 2018.

[85] Ferrante, A.; Mochi, G.; Predari, G.; Badini, L.; Fotopoulou, A.; Gulli, R.; Semprini, G. Special Issue Energy and Seismic Renovation Strategies for Sustainable Cities. A European Project for Safer and Energy Efficient Buildings: Pro-GET-onE (Proactive Synergy of inteGrated Efficient Technologies on Buildings' Envelopes). Sustainability 2018, 10, 812, doi:10.3390/su10030812

[86] Taucer, F. (2010). Desempeño de estructuras no de ingeniería en recientes terremotos: panorama y estrategias de mitigación. América, 1-12.

[87] Torre Latino, Historia. Recuperado de: <http://torrelatinoamericana.com.mx/historia/>. Acceso: martes 8 de mayo de 2018.

[88] La Torre Latinoamericana, una proeza de ingeniería en México. (23 de abril de 2016). El Economista, Periódico digital mexicano. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/La-Torre-Latinoamericana-una-proeza-de-ingenieria-en-Mexico-20160423-0026.html>. Acceso: martes 8 de mayo de 2018.

[89] Torre Ejecutiva PEMEX. Edificios de México, el sitio web de los edificios de México. Recuperado de: http://www.edemx.com/citymex/rascacielos/T_PEMEX.html. Acceso: miércoles 9 de mayo de 2018.

[90] Fanny Miranda (20 de diciembre de 2017). Torre de Pemex libra terremoto sin daños. Milenio Diario S.A. de C.V. Periódico Digital Mexicano, todos los derechos reservados. Recuperado de: http://www.milenio.com/region/torre_de_pemex-libr-sin-danos-rascacielos-sismo-cdmx-terremotos-balanceandose-milenio_0_1051694838.html. Acceso: miércoles 9 de mayo de 2018.

[91] US Bank Tower. The Skyscraper Center, The Global Tall Building Database of the CTBUH. Recuperado de: <http://www.skyscrapercenter.com/building/us-bank-tower/445>. Acceso: miércoles 9 de mayo de 2018.

[92] Revista ARQHYS (Diciembre 2012). Bank Tower (Library Tower). Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com. Recuperado de: <http://www.arqhys.com/construccion/bank-tower.html>. Acceso: martes 8 de mayo de 2018.

[93] Torre Mayor (28 de agosto de 2009). Ingenet, La comunidad de la Ingeniería Mexicana. Recuperado de: <http://infraestructura.ingenet.com.mx/2009/08/torre-mayor-2/>. Acceso: miércoles 9 de mayo de 2018.

[94] Estructura Sísmica de la Torre Mayor, México (7 de enero de 2018). Arquigráfico, portal web sobre arquitectura, ingeniería, construcción y decoración. Recuperado de: <https://arquigrafico.com/estructura-sismica-de-la-torre-mayor-mexico/>. Acceso: miércoles 9 de mayo de 2018.

[95] Taipei 101. WikiArquitectura, la mayor enciclopedia digital de Arquitectura del Mundo. Recuperado de: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/taipei-101/>. Acceso: martes 8 de mayo de 2018.

[96] Taipei 101: Una torre increíble (21 de mayo de 2013). Ingenet, La comunidad de la Ingeniería Mexicana. Recuperado de: <http://infraestructura.ingenet.com.mx/2013/05/taipei-101-una-torre-increible/>. Acceso: martes 8 de mayo de 2018.

[97] Torre Titanium La Portada. Arquitectura en Acero, sitio web patrocinado por ALACERO (Asociación Latinoamericana del Acero). Recuperado de: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-en-altura/torre-titanium-la-portada>. Acceso: jueves 10 de mayo de 2018.

[98] La Torre que resistió el terremoto (22 de diciembre de 2010). Revista digital mexicana Expansion, en alianza con CNN. Recuperado de: <https://expansion.mx/obras/2010/12/20/sismo-sistema-hidraulico-aislamiento>. Acceso: jueves 10 de mayo de 2018.

[99] Poderoso terremoto de 8.3 sacude zona centro-norte de Chile (16 de septiembre de 2015). BBC Mundo, Periódico digital. Recuperado de: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150916_chile_terremoto_ao. Acceso: jueves 10 de mayo de 2018.

[100] Gran Torre Santiago – Torre Gran Costanera. WikiArquitectura, la mayor enciclopedia digital de Arquitectura del Mundo. Recuperado de: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/gran-torre-santiago-torre-gran-costanera/>. Acceso: jueves 10 de mayo de 2018.

[101] Cristian Meneses Flaque (14 de mayo de 2017). La importancia de una plataforma digital alineada a su negocio. Comunidad IEBS, Escuela de Negocios de la Innovación y los Emprendedores, sitio web oficial. Recuperado de: <https://comunidad.iebschool.com/cristianmeneses/2017/05/14/la-importancia-de-una-plataforma-digital-alineada-a-su-negocio/>. Acceso: 4 de septiembre de 2018.

[102] Pérez Julián y Gardey Ana (2015). Definición de plataforma virtual. Recuperado de: <https://definicion.de/plataforma-virtual/>. Acceso: 3 de Septiembre de 2018.

[103] ¿Qué es una plataforma Web? Portal del área de Formación de la Cámara de Comercio de Granada. Recuperado de: <http://www.camaraforma.org/e-learning/que-es-una-plataforma-web/>. Acceso: 4 de septiembre de 2018.

[104] José Facchin (11 de marzo de 2018). ¿Qué es WordPress, cómo funciona y qué tipo de proyectos Web puedo crear con este CMS? El Blog de José Facchin. Recuperado de: <https://josefacchin.com/que-es-wordpress-como-funciona/>. Acceso: 2 de septiembre de 2018.

[105] ¿Qué es WordPress? Webempresa Europa S.L. sitio web oficial. Recuperado de: <https://www.webempresa.com/wordpress/que-es-wordpress.html>. Acceso: 1 de septiembre de 2018.

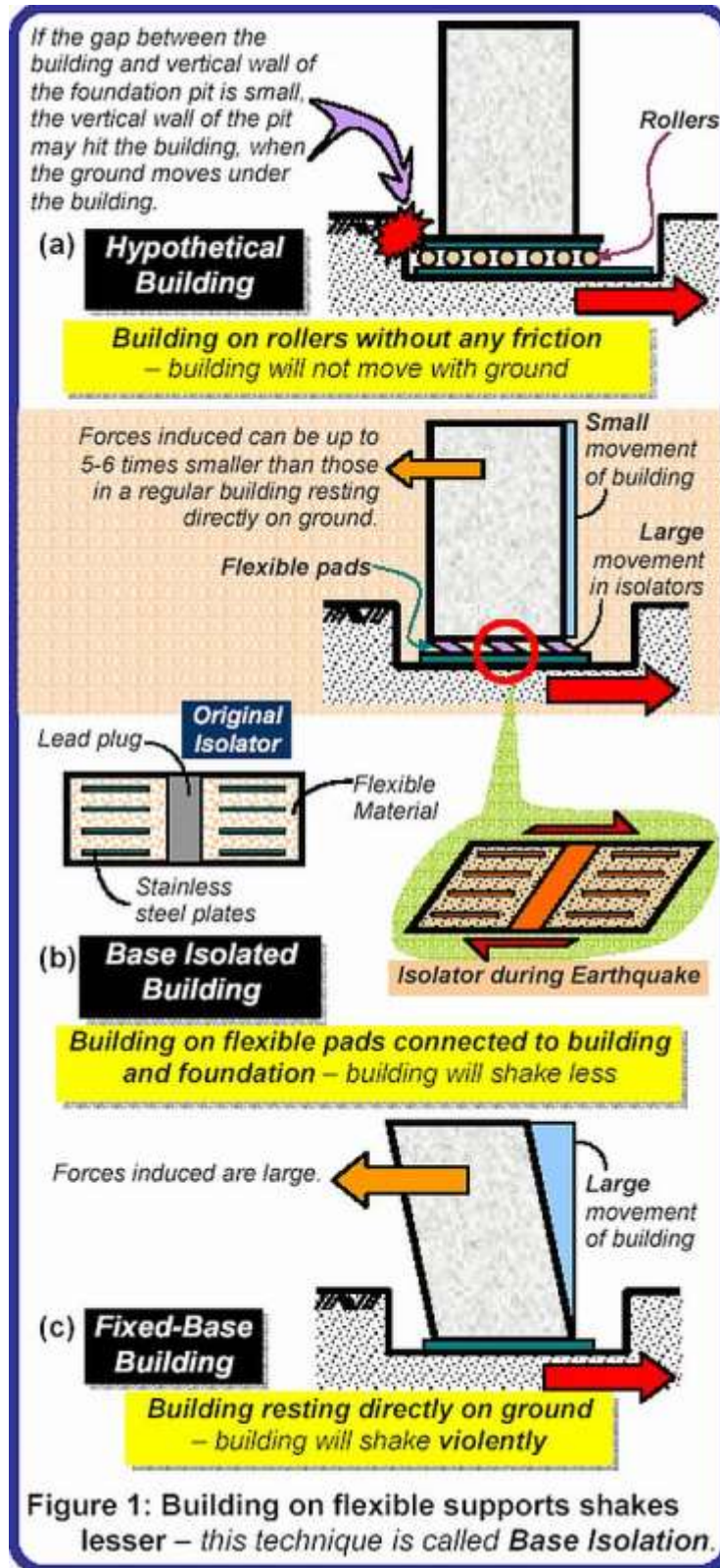
[106] Collective Platform for Community Resilience and Social Innovation During Crises. Plataforma Web oficial de COMRADES. Obtenido de: <https://www.comrades-project.eu/about.html>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.

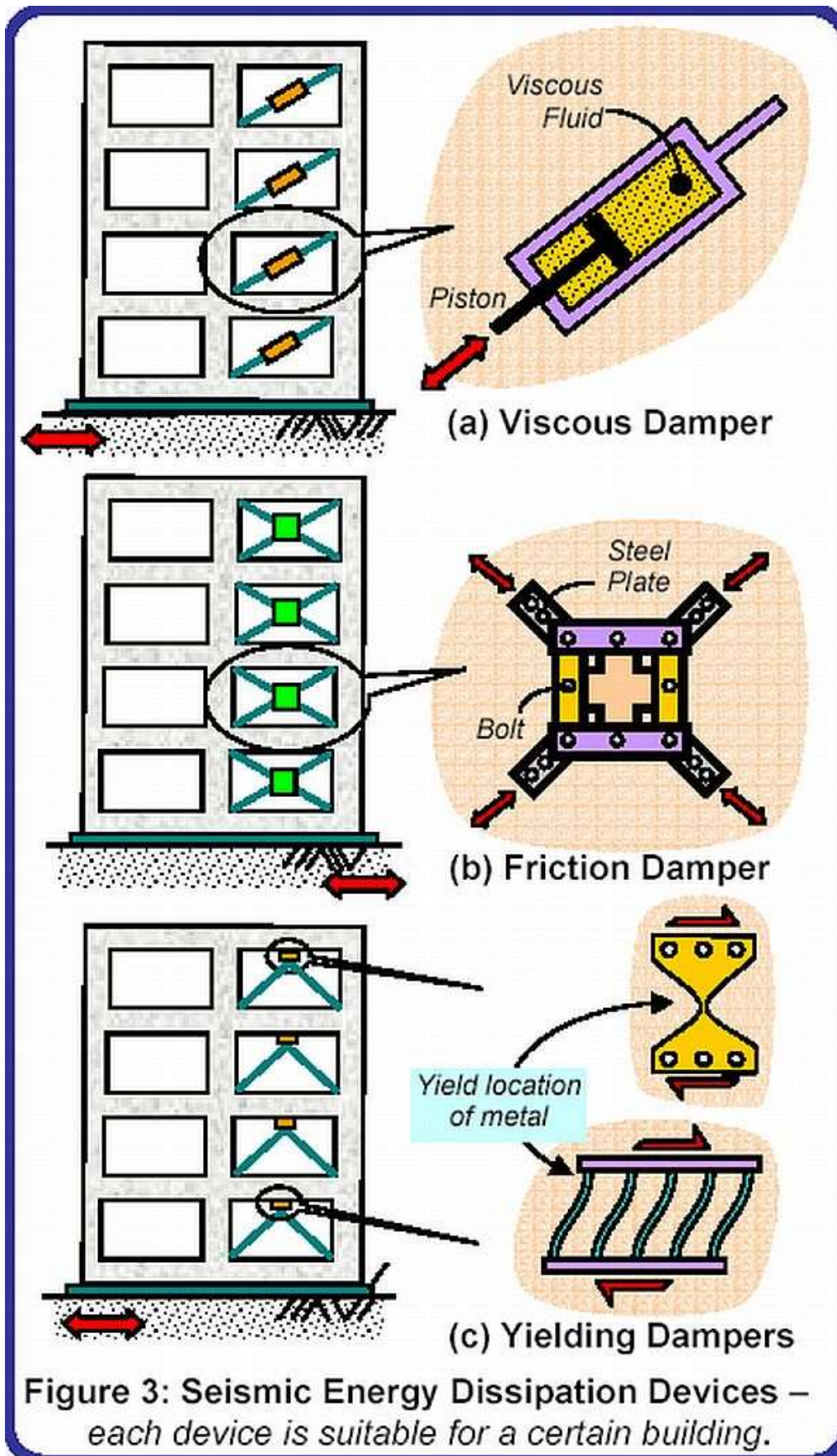
[107] Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe. Plataforma Web oficial de SERA. Obtenido de: <http://www.sera-eu.org/home>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.

[108] Global Climate Change Research Network. Plataforma web oficial de la James Cook University de Australia. Obtenido de: <https://climatechangeresearch.network/>. Acceso: jueves 13 de septiembre de 2018.

Anexos

Anexo 1. Concepto de aislamiento de base.





Anexo 3. Detalle de las características estructurales de la Torre Ejecutiva de Pemex para resistir sismos.

Fuente: http://www.milenio.com/region/Torre-Pemex-libra-danos_MILIMA20171020_0036_1.jpg

