

MÉXICO:

Un camino hacia
la resiliencia

Septiembre 2017:
al interior de los dos sismos

Brigadas:
un ejemplo de preparación,
generosidad y conocimiento

**El método postsismo
de SURA:**
ir más allá de los daños



CONTENIDO

04	LOS SISMOS DEL 7 Y EL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN MÉXICO: ¿REACCIÓN EN CADENA O SIMPLE COINCIDENCIA?
10	INCIDENCIA DE LOS EFECTOS DEL SITIO EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES
16	METODOLOGÍA DE SURA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES POSTSISMO
22	
30	EFECTOS DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN LAS EDIFICACIONES DE CIUDAD DE MÉXICO
36	TECNOLOGÍA E INGENIERÍA PARA LA GESTIÓN DE LOS SISMOS
	LOS APRENDIZAJES: EL CAMINO HACIA UN MUNDO RESILIENTE A SISMO



Gonzalo Alberto Pérez Rojas
Presidente Suramericana S.A.

Adelaida Del Corral Suescún
Dirección. Taller de Edición S.A.

Juana Francisca Llano Cadavid
Vicepresidente de Seguros Suramericana S.A.

Andrés Cadavid Quintero
Edición. Taller de Edición S.A.

Gloria María Estrada Álvarez
Gerente de Geociencias Suramericana S.A.

Revista Geociencias Sura | Edición 3 | Marzo de 2018
Suramericana S.A. una compañía de Seguros, Tendencias y Riesgos

Un camino hacia la resiliencia sísmica

Los fenómenos de la naturaleza hacen parte de su dinámica e inciden en el desarrollo urbano de las ciudades. Por esto, la resiliencia es un gran desafío para la ingeniería sísmica mundial, la cual se entiende como la capacidad de una sociedad para controlar el nivel de daños y recuperar su funcionalidad en el menor tiempo posible. La capacidad de resiliencia resulta de las interacciones entre las fuerzas de la sociedad, el medioambiente, la ciencia y la tecnología. La sociedad busca cada vez con más interés la protección de la vida y de la propiedad, la sostenibilidad de los negocios, la estabilidad económica y social, y por eso se enfoca en conocer mejor las fuerzas de la naturaleza y en desarrollar técnicas de construcción y rehabilitación con capacidad para resistirlas.

De esta manera, el logro de esta capacidad de resiliencia resulta de la integración de los avances en el monitoreo e instrumentación sísmica, el conocimiento de la respuesta sísmica de suelos y edificaciones, unidos al desarrollo de tecnologías de construcción.

La organización de México en grupos de brigadas para la inspección de edificaciones en la Ciudad de México es un gran logro que muestra que el conocimiento solo es útil en la medida que se pone al servicio del bien común. El esquema de brigadas muestra no solo la generosidad de sus integrantes, sino la utilidad de sus esfuerzos para orientar las decisiones del Estado. Siempre se podrá hacer mejor, pero el resultado es una potente iniciativa que fue posible gracias a la dedicación generosa de un grupo de personas motivadas por una causa común, que tiene el gran desafío de fortalecerse a partir de las experiencias de 2017.

SURA también puso a prueba su plan postsismo en México, el cual se desarrolló hace varios años por su compromiso con la resiliencia sísmica en América Latina. El gran balance de este plan de clasificación de daños, estudios de vulnerabilidad y rehabilitación, es que ha sido un mecanismo muy eficaz para apoyar con un enfoque de ingeniería a nuestros asegurados en México afectados por estos sismos.

SURA ha dedicado esta edición especial de la revista Geociencias SURA, para mostrar una visión positiva de los sismos de septiembre de 2017 en México, por sus aportes al conocimiento sísmico y por el balance positivo de todos los esfuerzos de investigación llevados a la práctica desde el gran sismo de 1985, que permiten vislumbrar un camino promisorio para incrementar la resiliencia sísmica del medio construido. Estos aprendizajes son la puerta de entrada para ver el riesgo como oportunidad. El gran legado y la responsabilidad que nos dejan los sismos es llevar sus aprendizajes a la práctica con responsabilidad y convicción de que la resiliencia sísmica es un desafío alcanzable para nuestras sociedades.

GONZALO ALBERTO PÉREZ ROJAS
Presidente Suramericana S.A.

Los sismos del 7 y el 19 de septiembre de 2017 en México: ¿Reacción en cadena o simple coincidencia?

México nos ha recordado recientemente la amenaza sísmica latente en la mayoría de los países de América Latina, debido a la ocurrencia de varios sismos durante el mes de septiembre de 2017. Lo más impactante es que uno de estos eventos se registró justo el día en el que se conmemoraban 32 años del gran sismo del 19 de septiembre de 1985.

SEP.19

1985

Este sismo tuvo efectos muy importantes en la Ciudad de México, marcando un hito en la historia sísmica mundial, a partir del cual se concentraron muchos esfuerzos de investigación en la respuesta sísmica del suelo y su influencia en el comportamiento de las edificaciones.

Epicentro: Costas de Michoacán

Hora: 07:19 a. m. Hora local

Profundidad: 28 km

Distancia a la Ciudad de México: 400 km

Origen tectónico:

Sismo de subducción debido a contacto entre placas tectónicas de Cocos y Norteamérica.

Magnitud
8.0
Fuente USGS

MICHOACÁN



El gran sismo de Michoacán de magnitud 8.0 (Mw), del 19 de septiembre de 1985, ocurrió en la región central de la costa pacífica mexicana, a casi 400 km de la Ciudad de México. Este sismo liberó 32 veces más energía que el sismo del 19 de septiembre de 2017.

SEP.19

2017

La ocurrencia de este sismo coincidió con la conmemoración de los 32 años del gran sismo de 1985. Sus efectos se presentaron principalmente en la Ciudad de México, aunque también se registraron zonas afectadas en los estados de México, Morelos y Puebla.

Epicentro: Límite entre Puebla y Morelos

Hora: 1:14 p. m. Hora local

Profundidad: 48 km

Distancia a la Ciudad de México: 120 km

Origen tectónico:

Sismo intraplaca, ocurrió dentro de la placa oceánica de Cocos.

Magnitud
7.1
Fuente USGS

PUEBLA



El sismo del 19 de septiembre de 2017 mostró avances importantes en la ingeniería sísmica mexicana desde 1985, y marcó un nuevo desafío hacia la resiliencia.

SEP.7 2017

La zona de influencia del sismo del 7 de septiembre se concentró en los estados de Oaxaca y Chiapas.

Según registros del Servicio Sismológico Nacional de México, 2 días después del sismo se habían registrado 482 réplicas.

Epicentro: 80 km de las costas de Chiapas

Hora: 11:49 p. m. Hora local

Profundidad: 47 km

Distancia a la Ciudad de México: 720 km

Origen tectónico:

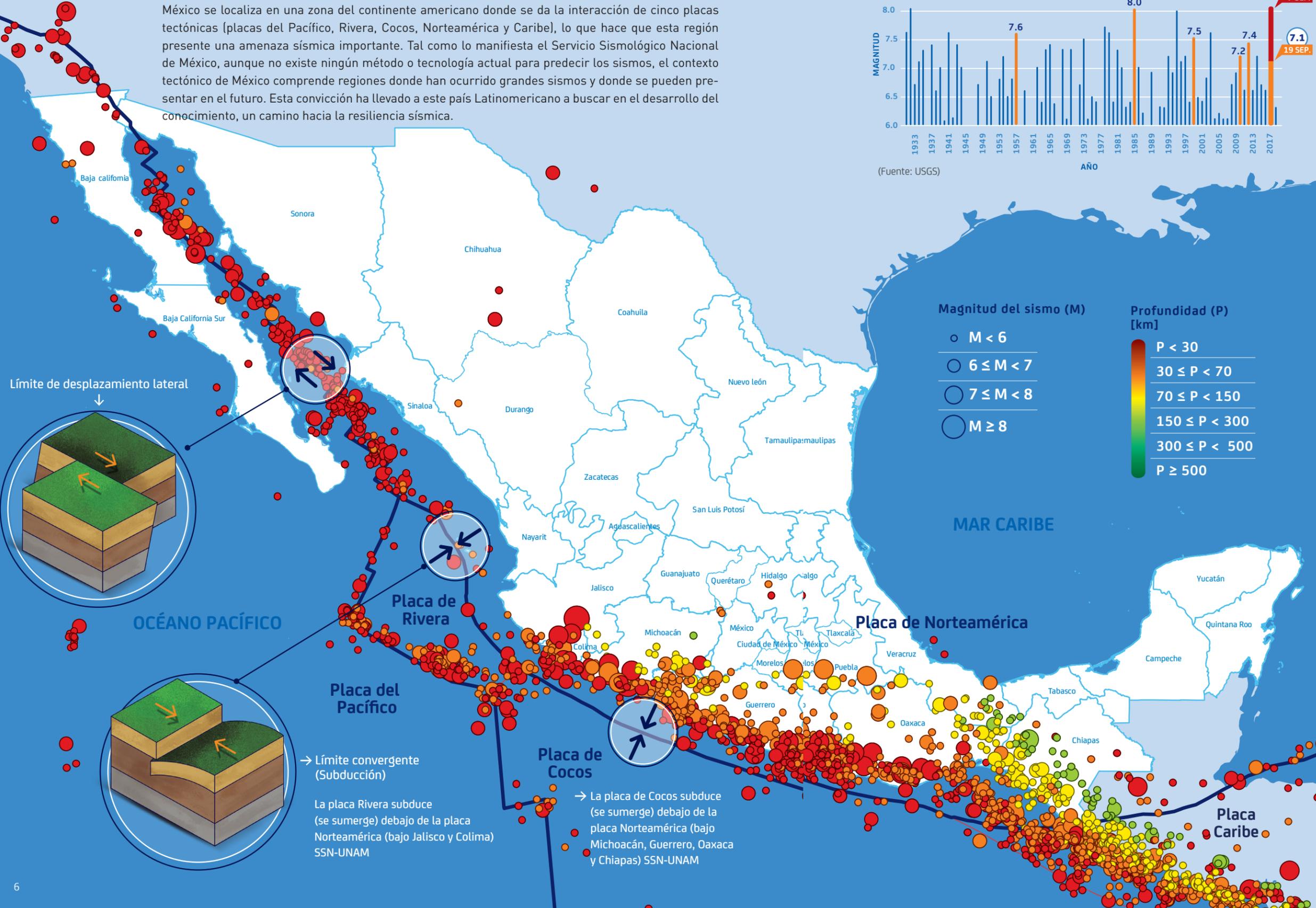
Sismo intraplaca (placa oceánica de Cocos)

Magnitud
8.1
Fuente USGS

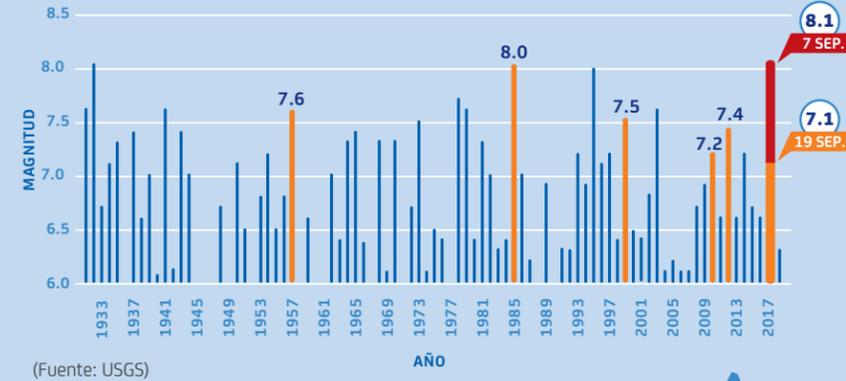
CHIAPAS

↓ Ambiente tectónico y sismicidad histórica de México

México se localiza en una zona del continente americano donde se da la interacción de cinco placas tectónicas (placas del Pacífico, Rivera, Cocos, Norteamérica y Caribe), lo que hace que esta región presente una amenaza sísmica importante. Tal como lo manifiesta el Servicio Sismológico Nacional de México, aunque no existe ningún método o tecnología actual para predecir los sismos, el contexto tectónico de México comprende regiones donde han ocurrido grandes sismos y donde se pueden presentar en el futuro. Esta convicción ha llevado a este país latinoamericano a buscar en el desarrollo del conocimiento, un camino hacia la resiliencia sísmica.



↓ Eventos sísmicos de México



SISMOS DESTACADOS DESDE 1957

EL SISMO DEL ÁNGEL DE 1957

Fecha: **28 de julio**
Localización: **Acapulco**
Magnitud: **7.6**
Profundidad: **38 km**
→ Este sismo motivó por primera vez la incorporación de la zonificación de suelos en la norma sísmica de la Ciudad de México.

GRAN SISMO DE 1985

Fecha: **19 de septiembre**
Localización: **Costas Michoacán**
Magnitud: **8.0**
Profundidad: **28 km**

SISMO DE OAXACA DE 1999

Fecha: **28 de septiembre**
Localización: **Oaxaca**
Magnitud: **7.5**
Profundidad: **60 km**

SISMO DE BAJA CALIFORNIA DEL 2010 (EL MAYOR-CUCAPAH)

Fecha: **04 de abril**
Localización: **23 km al sur de Mexicali**
Magnitud: **7.2**
Profundidad: **10 km**

SISMO DE OMETEPEC, GUERRERO DE 2012

Fecha: **20 de marzo**
Localización: **Sur de Ometepepec, Guerrero**
Magnitud: **7.4**
Profundidad: **20 km**

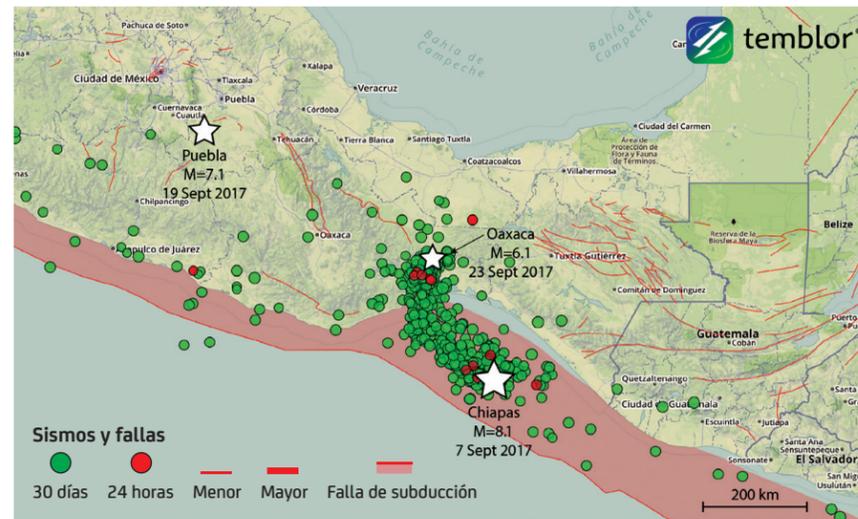
SISMO DE CHIAPAS 7 DE SEP. DE 2017

Fecha: **07 de septiembre**
Localización: **80 km de las costas de Chiapas**
Magnitud: **8.1**
Profundidad: **47 km**

SISMO DE PUEBLA DEL 19 DE SEP. DE 2017

Fecha: **19 de septiembre**
Localización: **Límite entre Puebla y Morelos**
Magnitud: **7.1**
Profundidad: **48 km**

Los dos grandes sismos recientes en México están separados por 600 km y 12 días



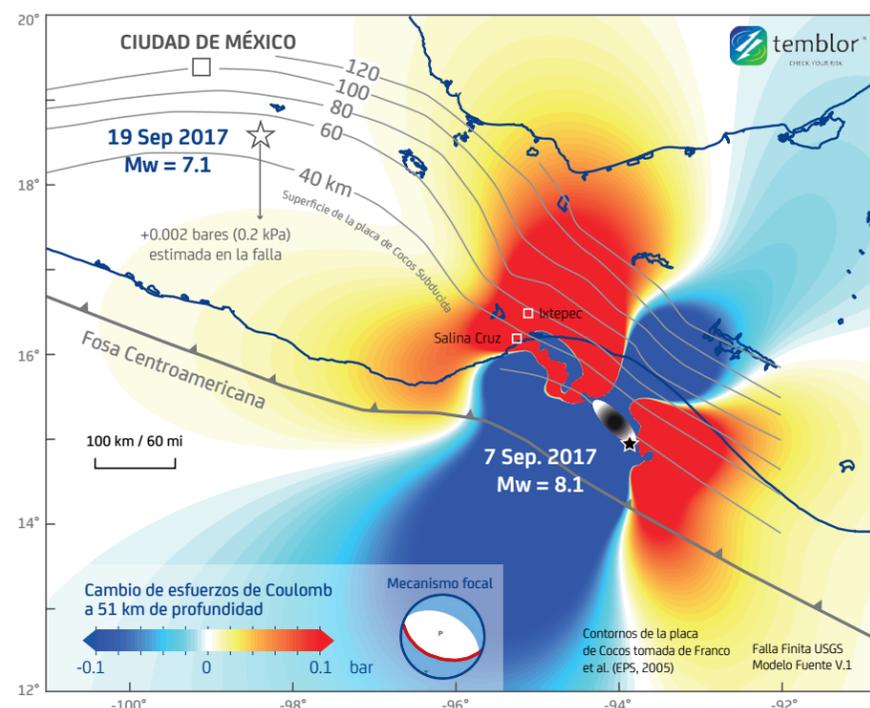
¿Los sismos del 7S y 19S de 2017 están relacionados?

En el mes de septiembre de 2017, en un lapso de 12 días, México fue sacudido por dos grandes sismos. La secuencia empezó el 7 de septiembre con un sismo de magnitud 8.1 (Mw) en el litoral Pacífico cerca al estado de Chiapas. Doce días después, el 19 de septiembre, un sismo de magnitud 7.1 (Mw) sacudió Puebla, y causó el colapso de 44 edificaciones en Ciudad de México.

Tal como lo plantea el Ph.D. Ross Stein, profesor de geofísica de la Universidad de Stanford, científico emérito de la USGS y CEO de Temblor Inc: "Surge una pregunta inquietante luego de la ocurrencia de estos dos sismos: ¿Están estos eventos relacionados entre sí?"

La cercanía espacio temporal de estos dos eventos y la naturaleza de su origen tectónico podrían llevar a suponer que en efecto existe una reacción en cadena. Para responder a esta interesante

pregunta el Ph.D. Ross Stein y el equipo de Temblor Inc. estudió los dos sismos, con el fin de estimar la posible relación entre ellos. Para esto, evaluó el impacto potencial que el sismo de Chiapas pudo haber tenido sobre el sismo de Puebla, mediante un análisis de transferencia de esfuerzos. Los resultados de este análisis le permitieron concluir al equipo de Temblor Inc., que el sismo de magnitud 8.1 (Mw) registrado el 7 de septiembre en Chiapas no generó esfuerzos sobre la falla que dio origen al sismo registrado en Puebla 12 días después. Tal como lo expresa el Ph.D. Ross Stein en su publicación sobre este análisis: "Al calcular los esfuerzos generados por el sismo de Mw = 8.1 en Chiapas sobre la falla que generó el sismo de Mw = 7.1 en Puebla, encontramos que los esfuerzos experimentados en esta son tan pequeños, que incluso son menores a los generados al frotar los dedos de la mano.



El aumento de esfuerzos generado por la ocurrencia del sismo de Chiapas (Mw = 8.1) corresponden a los colores más fuertes, mientras que los colores claros indican una incidencia del sismo muy baja e incluso insignificante en esas regiones.

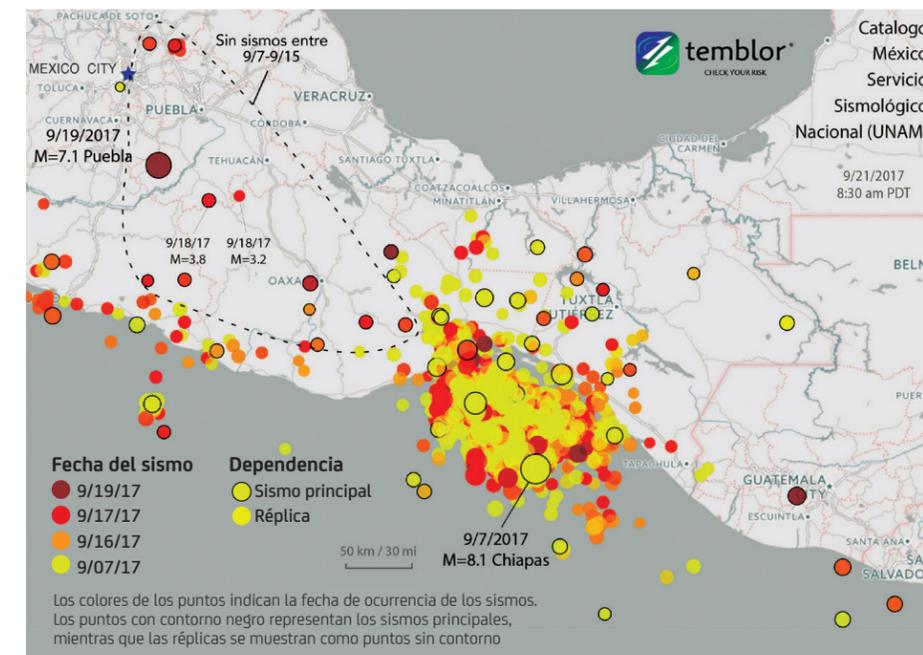
¿La sismicidad registrada podría mostrar alguna relación entre los sismos del 7S y 19S de 2017?

El equipo de Temblor Inc., analizó el catálogo del Servicio Sismológico Nacional (UNAM) y encontró que las réplicas del sismo de Chiapas presentan un patrón consistente con la distribución de los incrementos de esfuerzos estimada (análisis de Coulomb).

Otro hallazgo muy contundente que plantea el Ph.D. Ross Stein es que al

revisar la distribución de los puntos donde se originaron las réplicas del sismo del 7S en Chiapas (Mw = 8.1), no se encontró ninguna réplica cerca de la región donde se presentó el sismo del 19S en Puebla (Mw = 7.1). De este análisis se concluye que los esfuerzos transmitidos por el sismo del 7S en Chiapas sobre la falla que dio origen al sismo del 19S en Puebla son despreciables, y, en ese sentido, no hay relación entre estos dos sismos.

Localización de los sismos registrados en México entre el 7 y el 19 de septiembre.



¿Cuál es la probabilidad de que estos dos eventos sean independientes?

Según los análisis realizados por el equipo de Temblor Inc., es posible inferir que el sismo de Chiapas no tuvo ninguna incidencia sobre la ocurrencia del sismo de Puebla, pero, ¿cuál es la probabilidad de que estos dos eventos sean independientes, considerando el hecho de que el sismo de Puebla se dio tan solo con una diferencia temporal de 11 días con respecto al sismo de Chiapas, y que sus epicentros estaban a 600 km de distancia uno del otro?

Según las estimaciones del Ph.D. Ross Stein y su equipo, esta probabilidad corresponde a 1 en 30.000: "Tú podrías decir que una probabilidad de 1 en 30.000 es demasiado remota para pensar que los sismos de

Chiapas y Puebla no estén relacionados; pero antes de considerar que 1 en 30.000 es un número demasiado pequeño como para considerar ambos sismos como una coincidencia, es bueno hacerse esta pregunta: ¿Cuál es la probabilidad de que el sismo de Puebla (Mw = 7.1) se presentara a tan solo 2 horas del simulacro conmemorativo de los 32 años del sismo de 1985 en la Ciudad de México?, esto definitivamente tiene que ser una coincidencia, ¿verdad? Esta probabilidad corresponde a 1 en 900.000 ¡Casi una en un millón!"

Así que, en palabras del Ph.D. Ross Stein, "Las coincidencias extremas pueden ocurrir en nuestras vidas y luego de los análisis sismológicos, esta es la mejor explicación que tenemos".

FUENTES

David Jacobson
 Licenciado en Ciencias Geológicas de Whitman College en Walla Walla, Washington, y M.Sc. en Geología de la Universidad de Canterbury, en Christchurch, Nueva Zelanda. Participó en una extensa investigación sobre licuefacción en Christchurch y sus alrededores, al tiempo que llevó a cabo investigaciones sobre fallas activas, tema central en su tesis de maestría. David recibió la distinción académica y el premio Albert Ripley Leeds en geología de Whitman College. Actualmente trabaja como analista de información geográfica en Temblor.net.

Ross S. Stein
 CEO de Temblor.net, profesor de Geofísica de la Universidad de Stanford, científico emérito del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), presidente de la sección de Tectonofísica de la Unión Americana de Geofísica (AGU), y ponente internacional de la Sociedad de Geología de América (GSA) durante el período 2017-2018. En 2012, el profesor Stein recibió la distinción Gilbert F. White, otorgada por la sección de Amenazas Naturales de la AGU. En 2012 dictó la conferencia TED "Defeating Earthquakes". Recibió la distinción Eugene M. Shoemaker, otorgada por la USGS. En 2003, el profesor Stein fue distinguido como el segundo autor más citado en ciencias sísmicas durante la década precedente según reportes del Índice de Citación Científica, y fue el décimo autor más citado entre 1900-2010. Frecuentemente comparte su experiencia y conocimiento al público a través de entrevistas, conferencias y documentales en IMAX y Discovery Channel. Actualmente, es miembro del panel de América Resiliente de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos.

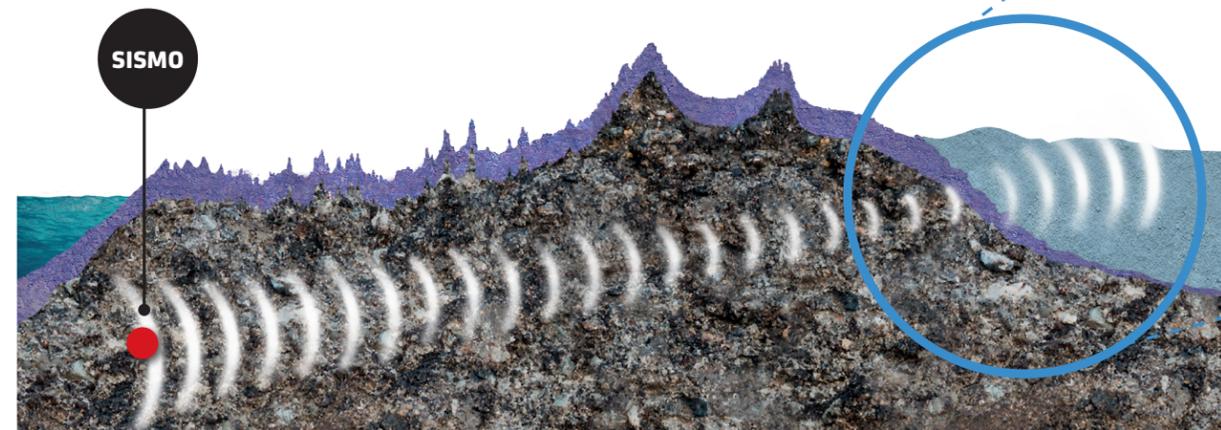
REFERENCIAS

- Stein, R., Jacobson, D and Toda, S. (2017). *The M=8.1 Chiapas, M=7.1 Puebla, and M=6.1 Oaxaca earthquakes: Chain reaction or coincidence?*: Temblor Inc. USA.
- UNAM (2017). *Reporte preliminar: Parámetros del movimiento del suelo sismo de Puebla-Morelos (Mw 7.1) 19 de septiembre de 2017*. Unidad de Instrumentación Sísmica – Coordinación de Ingeniería Sísmológica, UNAM, México.
- Servicio Sismológico Nacional (2017). *Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)*. Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM, México.
- Servicio Sismológico Nacional (2017). *Zona de subducción mexicana y su potencial para un sismo mayor*. Instituto de Geofísica, UNAM, México.

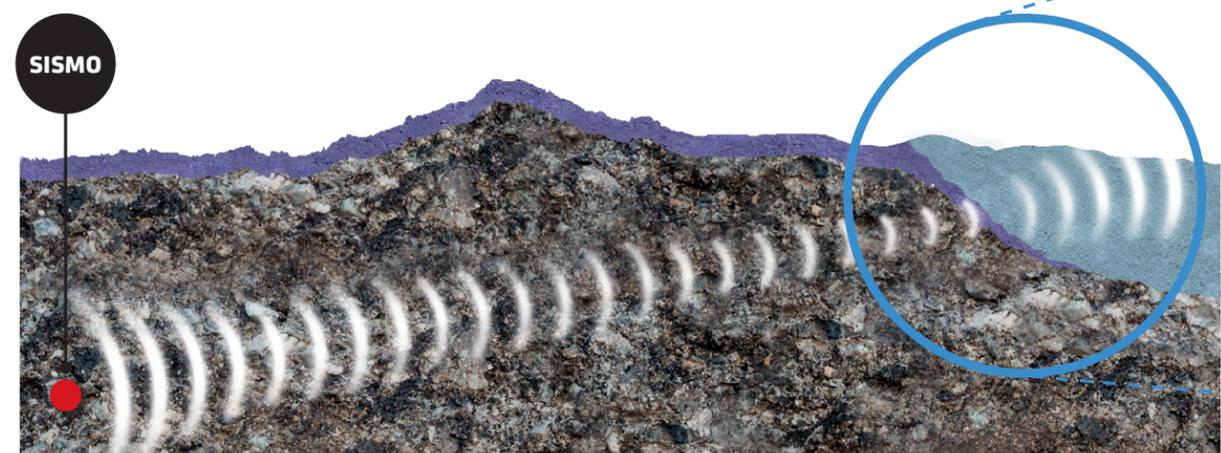
Incidencia de los efectos del sitio en la respuesta sísmica de las edificaciones

La influencia de la geología local y las condiciones del suelo en los movimientos del terreno ha sido demostrada en diversos sismos a nivel mundial. Dentro de los efectos locales del sitio se destaca la amplificación asociada a las características de los perfiles de suelo, que tiene el potencial de modificar la intensidad, el contenido frecuencial y la duración de los movimientos del terreno. Es por esto que los efectos locales del sitio juegan un papel preponderante en el diseño sísmo resistente.

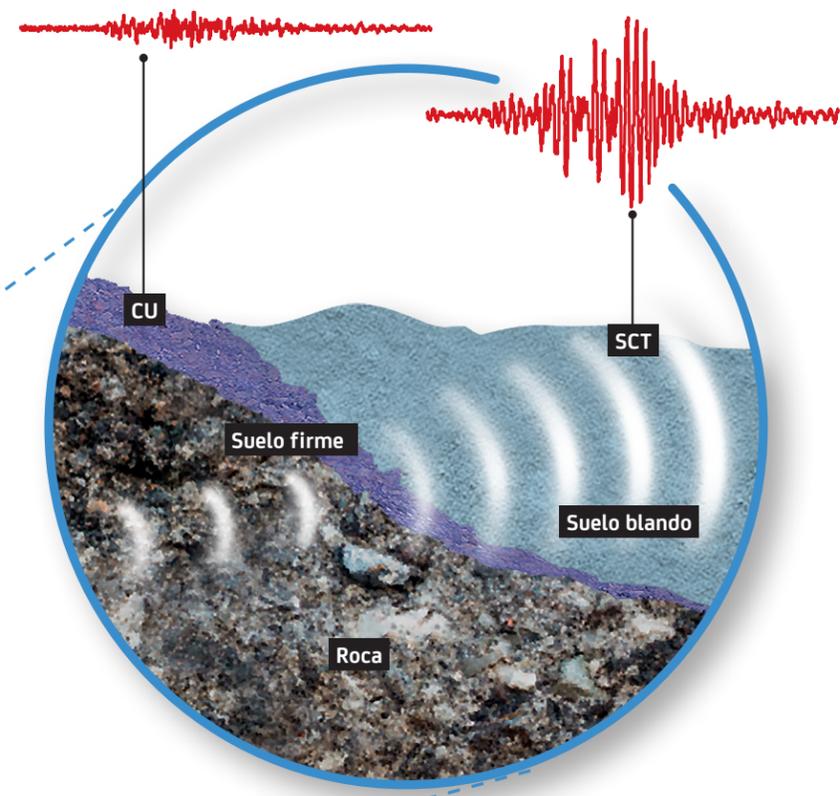
En la historia sísmica mundial reciente, la instrumentación sísmica ha permitido registrar de manera cuantitativa la intensidad de los movimientos del terreno en diferentes ubicaciones, lo que ha dado elementos para entender los efectos del sitio e incorporararlos en las normas de diseño sísmico.



Perfil esquemático 400 km

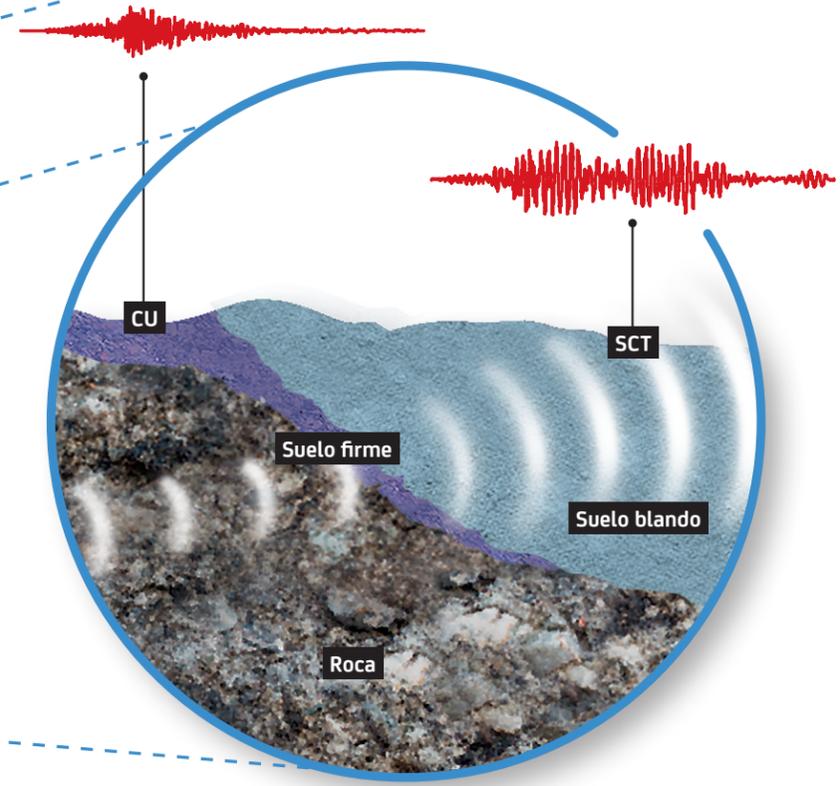


Perfil esquemático 120 km



SISMO DE 1985 **8.0** Mw
Fuente USGS

El gran sismo de 1985, cuya ruptura se generó a casi 400 km de la Ciudad de México, evidenció una relación contundente entre las condiciones del suelo y la distribución de los daños en esa ciudad. Los registros del sismo en algunos sitios de la Ciudad de México marcaron un hito muy importante para la investigación y comprensión de los efectos del suelo en esta ciudad y en el mundo.



SISMO DE 2017 **7.1** Mw
Fuente USGS

El sismo del 19S de 2017 se originó a 120 km de la capital mexicana. Este sismo confirmó la importancia de los efectos de los suelos y mostró variaciones en las intensidades en diferentes zonas de la ciudad. Las diferencias en las intensidades y respuesta sísmica de las edificaciones en este sismo, con respecto a lo registrado en 1985, se debe a factores tales como:

- Se originó en una zona mucho más cercana a la Ciudad de México, lo cual implicaba una menor distancia de propagación de las ondas sísmicas para llegar a la ciudad.
- Liberó menor cantidad de energía que el sismo de 1985 (Mw = 7.1 y Mw = 8.0, respectivamente).

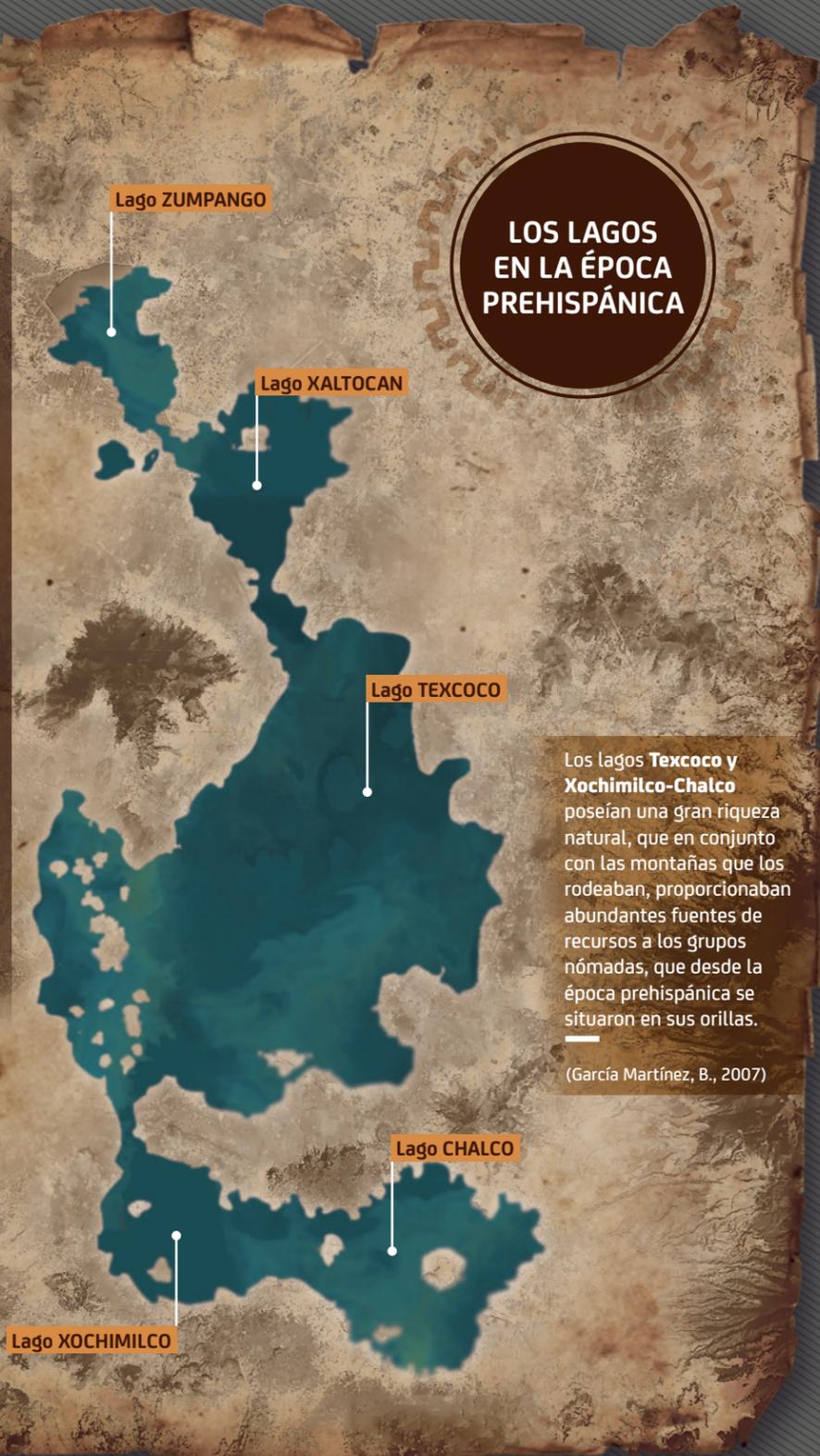
CU SCT
Dos estaciones de las redes acelerográficas de la Ciudad de México

¿Qué tienen de especial los suelos de la Ciudad de México?

UNA HISTORIA DE 32.000 AÑOS

En la época prehispánica existía un sistema lacustre, conformado por los lagos Texcoco y Xochimilco-Chalco, en el área donde hoy se ubica gran parte de la Ciudad de México. En las zonas donde estaban estos lagos se encuentran depósitos de sedimentos blandos que generan los denominados "efectos de amplificación" de las ondas sísmicas.

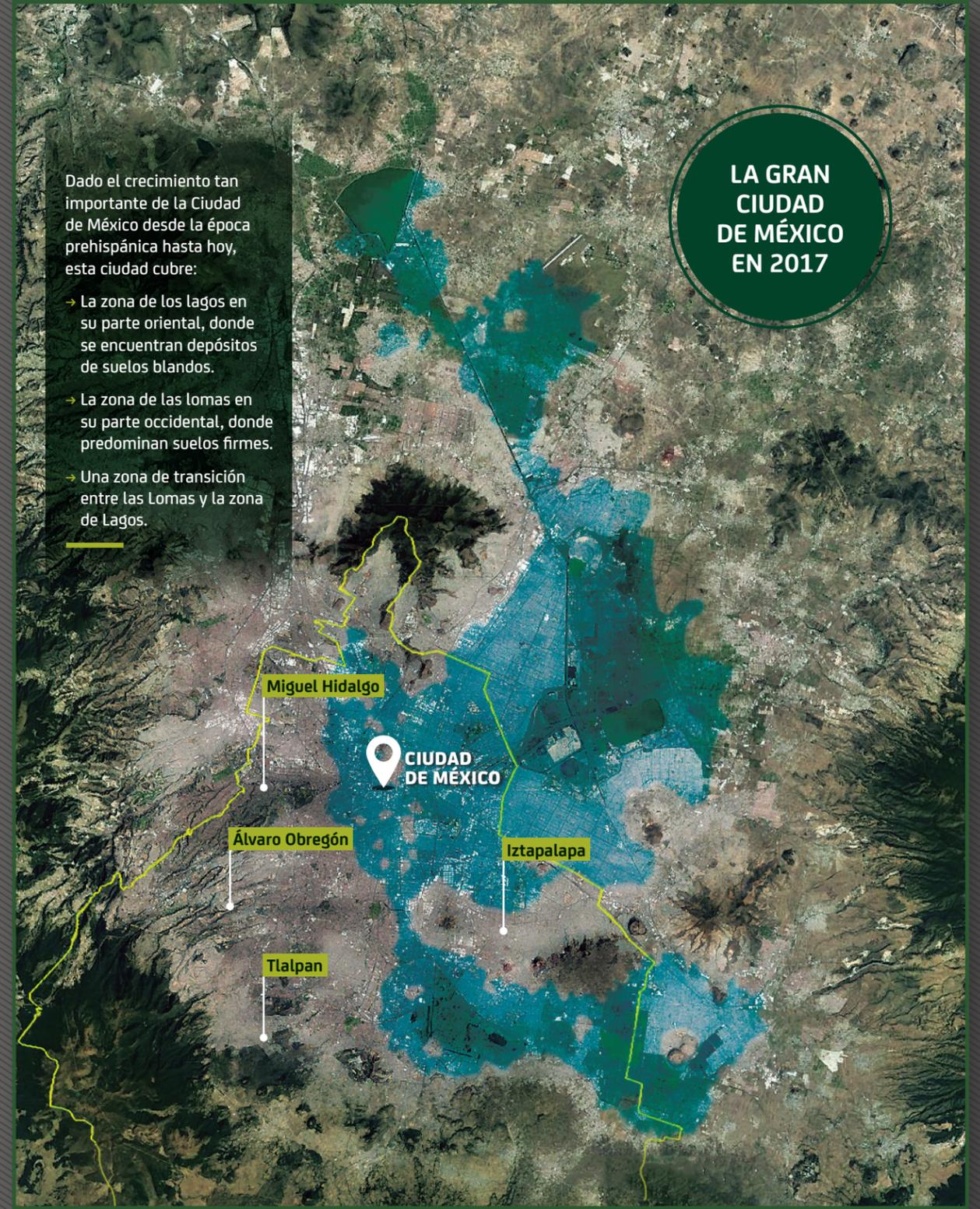
Las ondas sísmicas se propagan desde la zona de ruptura que origina el sismo y al llegar a los estratos de suelo blando, estos alteran las características de las ondas de forma muy significativa, amplificando la intensidad de los movimientos que llegan a las edificaciones.



LOS LAGOS EN LA ÉPOCA PREHISPÁNICA

Los lagos **Texcoco** y **Xochimilco-Chalco** poseían una gran riqueza natural, que en conjunto con las montañas que los rodeaban, proporcionaban abundantes fuentes de recursos a los grupos nómadas, que desde la época prehispánica se situaron en sus orillas.

(García Martínez, B., 2007)



LA GRAN CIUDAD DE MÉXICO EN 2017

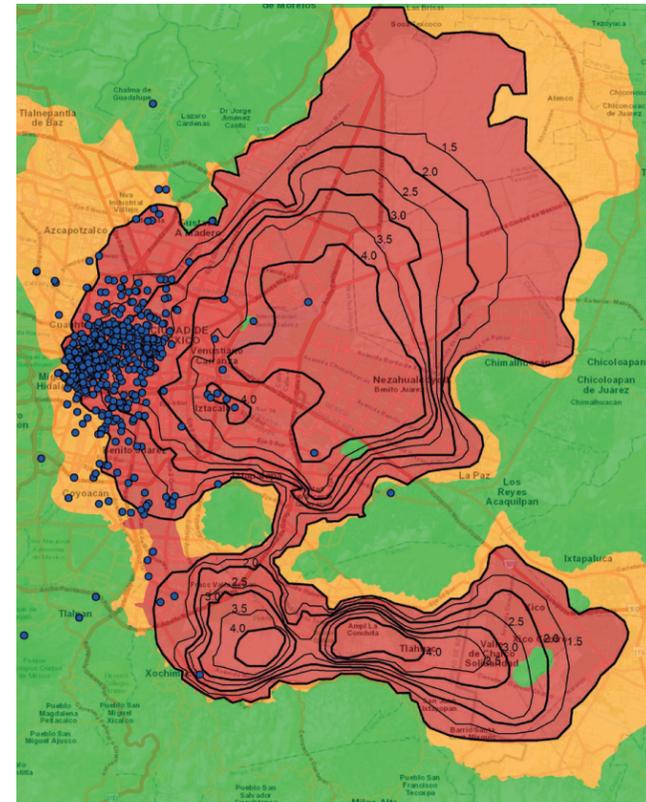
- Dado el crecimiento tan importante de la Ciudad de México desde la época prehispánica hasta hoy, esta ciudad cubre:
- La zona de los lagos en su parte oriental, donde se encuentran depósitos de suelos blandos.
 - La zona de las lomas en su parte occidental, donde predominan suelos firmes.
 - Una zona de transición entre las Lomas y la zona de Lagos.

Momentos relevantes en la incorporación de los efectos del suelo en el Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México

La historia sísmica de la Ciudad de México ha permitido avanzar en el conocimiento de los efectos del suelo y aplicarlo en sus normas de diseño sísmico. Se destacan por sus aportes a este conocimiento los sismos de 1957 y 1985. La convicción de la ciudad sobre la necesidad de instalar amplias redes de acelerógrafos (CIRES y UNAM), ha hecho posible contar con registros del movimiento del suelo, que han sido esenciales en el estudio y comprensión de las relaciones entre las condiciones del suelo y las intensidades de la respuesta sísmica de los diferentes sitios.

Estos estudios han permitido desarrollar zonificaciones del suelo cada vez más detalladas, hasta llegar a lo que hoy es el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), que permite estimar los parámetros de respuesta del suelo en cada sitio de la Ciudad de México.

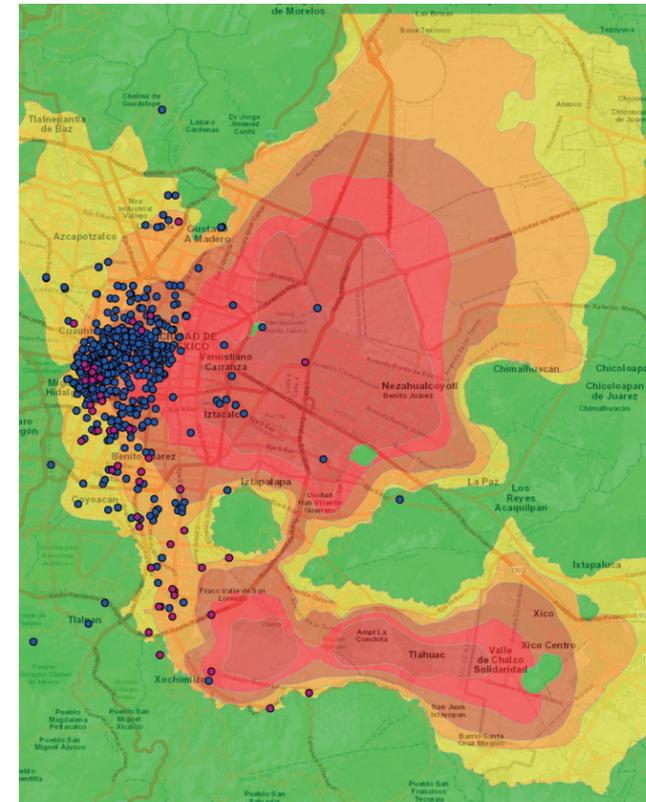
Mapa de daños del sismo de 1985 sobre zonificación sísmica de la Ciudad de México de 1976



■ Zona I — Períodos predominantes del suelo (s)
■ Zona II ● Edificios con daños mayores y colapsos - sismo 195 de 1985
■ Zona III

Fuente: Reglamento 1987 - Reporte de daños sismo de 1985

Mapa de daños de los sismos del 195 de 1985 y 2017 sobre zonificación sísmica de la Ciudad de México de 2004



■ Zona I ● Edificios con daños mayores y colapsos sismo 195 de 1985
■ Zona II ● Edificios con daños mayores y colapsos sismo 195 de 2017
■ Zona IIIa ● Zona IIIb
■ Zona IIIc ● Zona IIId

Fuentes: www.sismosmexico.org/mapas • Mapa colaborativo 2017 • Reporte de daños de 1985

1921

PRIMER REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

1957

SISMO DE 1957 (Mw 7.6)
Fue el primer evento en mostrar que los depósitos de suelo blando de la Ciudad de México tienen el potencial de amplificar los movimientos sísmicos.

1957

1966

ACTUALIZACIÓN REGLAMENTO
Divide la Ciudad de México en zonas de alta y baja compresibilidad del suelo.

1966

1976

ACTUALIZACIÓN REGLAMENTO
Divide la Ciudad de México en tres zonas, de acuerdo con las condiciones del suelo:
 • Zona de lomas
 • Zona de transición
 • Zona del lago.

1976

1985

SISMO DE MICHOACÁN DE 1985 (Mw 8.0)
Fuente USGS
Las importantes afectaciones generadas por este sismo en la Ciudad de México, ratificaron la importancia de los efectos del suelo en la respuesta sísmica de edificaciones y mostraron la necesidad de tener una mejor caracterización de los suelos.

1985

1987

ACTUALIZACIÓN REGLAMENTO
 • Incorporó por primera vez los isoperíodos y las curvas de isoprofundidad para los suelos.
 • Se incrementaron los coeficientes sísmicos para diseño de la zona de transición y la zona del lago.

1987

2004

ACTUALIZACIÓN REGLAMENTO
Complementó la zonificación sísmica de la Ciudad de México, incluyendo una subdivisión de la zona III en cuatro subzonas (IIIa, IIIb, IIIc e IIId).

2004

SISMO 19S DE 2017 (Mw 7.1)

• Registró intensidades importantes en la Ciudad de México, en algunas zonas fueron superiores a las registradas en el sismo de 1985.
 • A la fecha de ocurrencia, la actualización de la norma sísmica estaba prácticamente lista para ser publicada.

2017

SISTEMA SASID
Este nuevo sistema incorpora la definición de los parámetros de respuesta del suelo específicos para cada sitio.

FUENTES

Francisco García Álvarez
Ingeniero Civil, M.Sc. en Ingeniería. Presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Pertenece a la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, al Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Earthquake Engineering Research Institute, ha realizado publicaciones en congresos y revistas técnicas y fue el director del Centro de Crisis que se montó en conjunto SMIE-CICIM para las brigadas de inspección después del sismo del 19 de septiembre de 2017.

Francisco García Jarque
Ingeniero Civil, M.Sc. en Ingeniería. Pertenece al Comité Evaluador de Peritos Profesionales en Seguridad Estructural del Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Comité de Corresponsables en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal. Es Miembro del Comité Asesor en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal, ha participado en más de 4.000 Proyectos Estructurales. En 2010 ganó premio Nacional de Ingeniería a la Práctica Profesional, otorgado por el Colegio de Ingenieros Civiles de México; se desempeñó como presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, entre 1999 y 2000.

Gloria María Estrada Álvarez
Ingeniera Civil, especialista en Ingeniería Ambiental, especialista y M.Sc. en Ingeniería Sísmica Resistente. Gerente de Geociencias de Suramericana. Ha trabajado en el desarrollo y coordinación de estudios e investigaciones de ingeniería sísmica, dinámica de suelos y riesgo sísmico. Ha publicado más de 20 artículos técnicos en el área de ingeniería sísmica.

Mario Rodríguez Rodríguez
Ingeniero Civil, M.Sc. y Ph.D. en Estructuras, investigador de tiempo completo del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Su trabajo de investigación realizado con el Profesor José Restrepo de UCSD, ha sido la base de la nueva sección 12.10 de la normativa en Estados Unidos ASCE/SEI 7-16 (2016) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Ha sido autor de las modificaciones en 2016-2017 del diseño por sismo de diafragmas en edificios de la Norma Técnica Complementaria por Sismo de la Ciudad de México de 2017; es Perito en Seguridad Estructural y profesor del curso de Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto en el Posgrado de Ingeniería de la facultad de Ingeniería de la UNAM; así mismo, ha dictado cursos de actualización para ingenieros en seguridad estructural en México, Perú, Colombia y Chile. Participó en la evaluación de daños de los terremotos de Chile 1985, México 1985, Japón 1995 y 2010, Perú 2007, Mexicali 2010, Chile 2010, y Ciudad de México 2017. Es miembro con voto del Comité principal ACI 318 del American Concrete Institute International (ACI), que elabora el Reglamento para Concreto Estructural ACI 318, así como de varios comités técnicos del ACI. Es presidente de la empresa MR Ingenieros Consultores en Estructuras, fundada en 2005.

REFERENCIAS

• Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. (2017). *¿Qué ocurrió el 19 de septiembre?*. IC CICM, Vol. 580. Ciudad de México, México.
 • Kramer, S. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall. New Jersey, USA.
 • García Martínez, B. (2007). *La Cuenca de México, Arqueología Mexicana*, núm. 86. Vol. XV
 • Miranda, E. et al. (2017). *Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake*.

Metodología de SURA para evaluación de edificaciones postsismo

SURA desarrolló una metodología de evaluación postsismo que es aplicada solo por especialistas en ingeniería estructural para el diagnóstico, clasificación de daños y definición de soluciones de intervención de edificaciones afectadas por sismo.

Origen

El sismo de magnitud 6.2 (Mw) a una profundidad de 10 km en la ciudad de Armenia (Colombia) el 25 de enero de 1999, generó en las directivas de SURA, particularmente en su presidente, Gonzalo Alberto Pérez, la necesidad de desarrollar una metodología propia de la compañía para evaluación de edificaciones postsismo. Aunque la atención postsismo de SURA en las zonas afectadas por el sismo de Armenia contó con la participación de un grupo de ingenieros estructurales, no se tenía una metodología que permitiera homologación y criterios unificados para la evaluación de las edificaciones afectadas. Este sismo fue el inspirador de la metodología de evaluación postsismo de SURA.

Visión y enfoque

La metodología se enfocó en lograr unicidad de procedimientos y criterios de evaluación, orientados al diagnóstico y clasificación de daños objetivos, para apoyar decisiones de reparación, rehabilitación o reconstrucción de las edificaciones de sus clientes, acordes con los reglamentos de construcción sismo resistente aplicables y los avances del estado del arte en ingeniería estructural en el mundo.

Desarrollo e implementación

El desarrollo de la metodología de evaluación postsismo de SURA desde su inicio, en el año 2005, ha sido liderado por la ingeniera Gloria María Estrada, actual gerente de Geociencias de SURA en el ámbito regional, con la participación de tres asesores externos de la academia y la práctica profesional de ingeniería estructural, los ingenieros Juan Diego Jaramillo, Roberto Rochel y Álvaro Pérez. Este equipo desarrolló la primera versión de la metodología que se completó en el año 2008.



“Suramericana ha tenido mucha visión al desarrollar esta metodología, ya que no solo está pensando en pagar los daños, sino que está contribuyendo a la construcción de ciudades más resilientes y menos vulnerables, que estén mejor preparadas para enfrentarse a otro sismo”.

Juana Llano, vicepresidente de Seguros SURAMERICANA S.A.

Semanas después de ocurrido el sismo de magnitud 8.8 (Mw) en Chile, el 27 de febrero de 2010, este grupo de profesionales realizó una visita de reconocimiento a las principales zonas afectadas, para poner a prueba la metodología en diferentes tipos de edificaciones con diversos niveles de daño.

Para el desarrollo de esta metodología se estudiaron diferentes propuestas y criterios existentes en el mundo, entre los que se destacan los de FEMA (Federal Emergency Management Agency, de Estados Unidos), NEHRP (National Earthquake Hazard Research Program de Estados Unidos) y algunas publicaciones específicas de la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). El gran aporte de la metodología de SURA con respecto a los enfoques existentes fue lograr un diagnóstico y clasificación de daños basado en datos cuantitativos, que permite obtener una visión objetiva, basada en criterios de ingeniería.

Entre los años 2012 y 2015 se integraron al equipo de trabajo los ingenieros Elizabeth Cardona, Victoria González y Juan David Rendón, que hoy hacen parte del equipo de Geociencias de SURA. Dado que se trata de una metodología dinámica, que busca estar a la vanguardia de los avances en ingeniería estructural y sísmica, se ha sometido a procesos de revisión y retroalimentación de especialistas externos, como es el caso de los ingenieros Francisco Pérez, de la firma Andes Ingeniería y Alejandro Pérez, de la firma Proyectos y Diseños.

Procedimiento realizado por SURA para la clasificación de daños



Para la implementación de esta metodología, SURA ha entrenado equipos externos de especialistas en ingeniería estructural. En 2008, SURA contaba con un grupo de 60 ingenieros estructurales capacitados en Colombia. Actualmente, la compañía ha ampliado este grupo y cuenta con especialistas en Colombia, Chile y México, lo cual le da una mejor capacidad de respuesta.

Sobre el procedimiento el profesor Juan Diego Jaramillo de la Universidad EAFIT comenta: “La metodología de evaluación de edificaciones Postsismo de SURA es un trabajo novedoso y pionero en el que SURA debe perseverar”.

La prueba más importante de esta metodología se dio en el año 2017, en el plan de evaluación de SURA posterior al sismo del 19 de septiembre de 2017 en México, en el cual ha participado un grupo de más de 70 ingenieros especialistas en estructuras. De esta experiencia quedan aprendizajes muy valiosos, pero el más importante es la convicción de su importancia para canalizar esfuerzos hacia la resiliencia sísmica

de nuestra región, buscando que se reparen, rehabiliten y reconstruyan edificaciones de manera acorde con los avances de la ingeniería.

Tomás Isaza, actual Director de Seguros de SURA México, promovió y apoyó el desarrollo de la metodología de SURA para evaluación de edificaciones postsismo desde sus inicios en 2005 y luego de ver su aplicación en México, está convencido de su eficacia para atender las necesidades de los clientes con afectaciones por sismo.

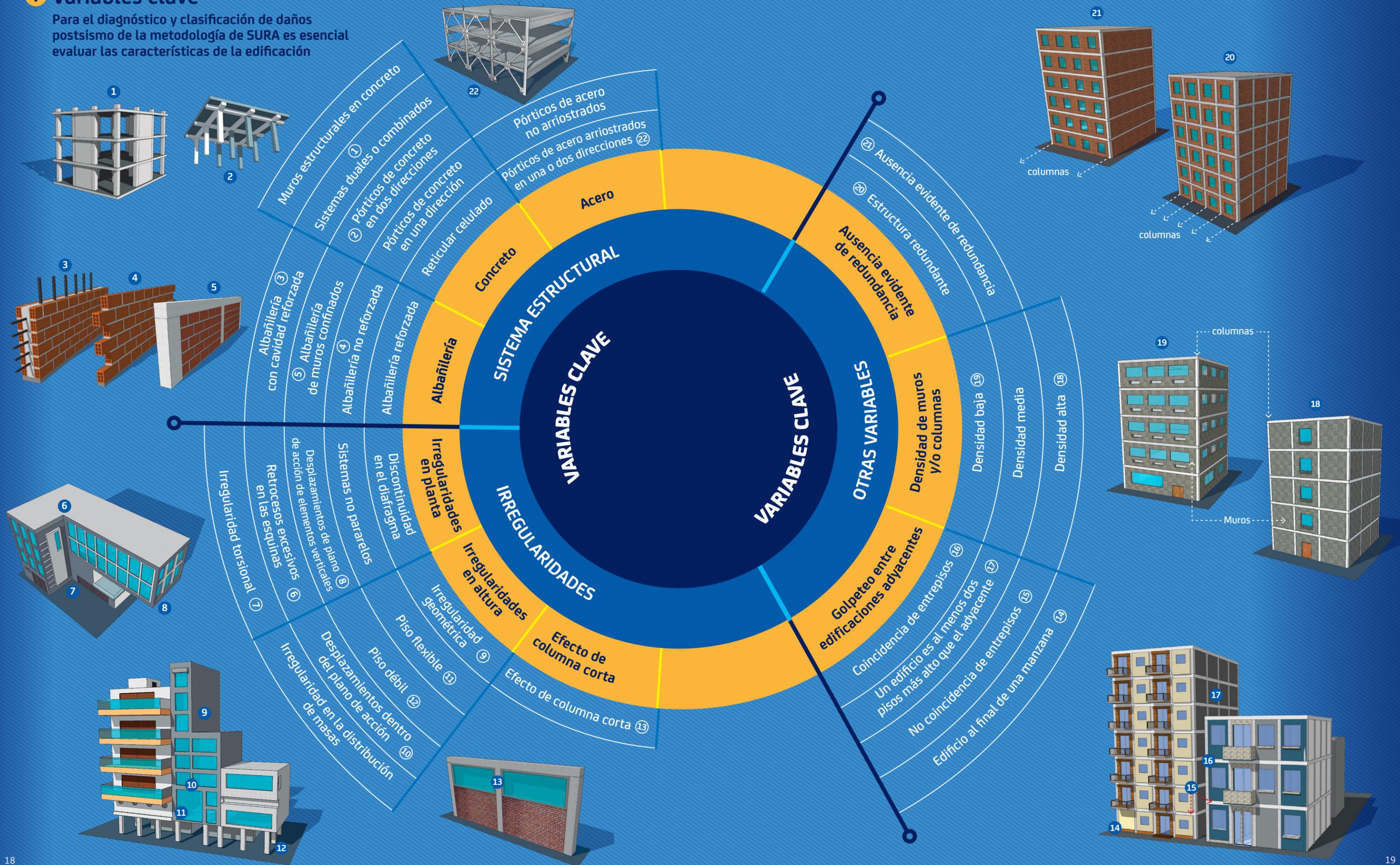
¿En qué consiste la metodología de SURA para evaluación de edificaciones postsismo?

Acompaña al cliente con especialistas en ingeniería estructural en dos etapas fundamentales:

- Diagnóstico y clasificación de daños: a partir de visitas de inspección realizadas exclusivamente por ingenieros estructurales, se sigue un manual estándar de levantamiento de daños. Los resultados son analizados por un equipo centralizado de especialistas, que genera el reporte de clasificación de daños de cada edificación.
- Asignación de métodos de reparación, rehabilitación o reconstrucción, de acuerdo con los daños.

↓ Variables clave

Para el diagnóstico y clasificación de daños postsismo de la metodología de SURA es esencial evaluar las características de la edificación



Procedimiento para clasificación de daños utilizando la metodología de evaluación Postsismo de SURA

Etapa 1

Diagnóstico y clasificación de daños, comprende:

- ✓ Manual para el diligenciamiento del formulario de campo, para lograr criterios unificados.
- ✓ Formulario para el levantamiento de información en campo por parte de ingenieros estructurales para caracterizar la edificación y los daños postsismo en las zonas afectadas.
- ✓ Análisis de formularios diligenciados en campo por un equipo centralizado de especialistas.
- ✓ Programa para generación de reportes de diagnóstico y clasificación de daños, basado en el procesamiento de formularios de campo.

→ Los daños se clasifican en las siguientes categorías:

CATEGORÍA 1

Riesgo de colapso



Edificaciones cuyos daños implican colapso o riesgo de colapso, que requieren demolición y construcción de una nueva edificación, siguiendo las normas de diseño sísmico aplicables.

CATEGORÍA 2

Averías menores



Edificaciones con daños menores reparables mediante procedimientos estándar.

CATEGORÍA 3

Daños especiales



Requieren estudios complementarios para definir la solución más adecuada de intervención postsismo

El levantamiento de información de campo realizado en la etapa 1 implica la identificación de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones, así como la evaluación de los daños respectivos.



Etapa 2

En esta etapa se asignan los métodos de reparación, rehabilitación o reconstrucción, de acuerdo con el nivel de daños

- ✓ Estudios complementarios a cargo de firmas especialistas en ingeniería estructural con amplio conocimiento y experiencia, para definir la intervención más adecuada de la edificación.

→ Los entregables de estos estudios varían de acuerdo con las condiciones particulares de cada edificación:



Recomendaciones y planos con procedimientos de reparación.



Análisis de la estructura, diseños y planos para su rehabilitación o reforzamiento.



Recomendación de demolición y construcción de una edificación nueva, en caso de que la solución de rehabilitación no resulte técnica o económicamente viable.



Conexión con la megatendencia de urbanismo

La metodología de SURA para evaluación postsismo permite darle un tratamiento adecuado de las edificaciones afectadas, y a su vez, apalanca el desarrollo de conocimiento que retroalimenta de manera muy positiva la gestión del riesgo sísmico en América Latina. De esta manera, se propician estudios y proyectos de carácter preventivo basados en los conocimientos adquiridos sobre cómo lograr un mejor desempeño sísmico de las edificaciones, que se conecta de manera directa con la megatendencia de urbanismo. Como parte de esta megatendencia se potencializan todas las oportunidades de reducción de daños por sismo para construir ciudades más resilientes, porque para las personas, las empresas y la sociedad en general, siempre será más costosa la atención postsismo que la gestión presismo. SURA con esta y otras iniciativas quiere aportar a la región experiencia, conocimiento y convicción.

FUENTES

Álvaro Pérez Arango

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia; M.Sc. en Dinámica Estructural e Ingeniería Sísmica del Instituto Técnico de Karlsruhe, Alemania. En 2012 le fue otorgada la distinción Catedrático Emérito en la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como gerente de la firma Álvaro Pérez Arango y CIA. LTDA. especializada en diseño estructural y en estudios de patología estructural, vulnerabilidad sísmica y en proyectos de rehabilitación de construcciones.

Gloria María Estrada Álvarez

Ingeniera Civil, especialista en ingeniería ambiental, especialista y M.Sc. en Ingeniería Sísmo Resistente. Gerente de Geociencias de Suramericana. Ha trabajado en el desarrollo y coordinación de estudios e investigaciones de ingeniería sísmica, dinámica de suelos y riesgo sísmico. Ha publicado más de 20 artículos técnicos en el área de ingeniería sísmica.

Juan Diego Jaramillo Fernández

Ingeniero Civil, M.Sc. en Ingeniería Sísmo Resistente y Dr. en Ingeniería. Ha recibido reconocimientos académicos entre los que se destacan; Premio Lorenzo Codazzi de la Sociedad Colombiana de Ingeniería (2000); Premio Gerald A. Leonards de la Sociedad Colombiana de Ingeniería y Premio anual de investigación en la Universidad EAFIT (1998) al proyecto: Instrumentación Sísmica y Microzonación de la ciudad de Medellín. Se ha desempeñado como profesor del departamento de estructuras de la Universidad EAFIT y ha trabajado en numerosos proyectos de investigación, así como la realización de publicaciones en revistas científicas.

Roberto Rochel Awad

Ingeniero Civil M.Sc. en Estructuras; profesor emérito de la Universidad EAFIT, Profesor invitado de la Universidad del Norte, la Universidad Nacional de Medellín, Universidad de Antioquia y Universidad Industrial de Santander.

Autor de los libros *Diseño Sísmico de edificios* y *Diseño de concreto reforzado*. Expresidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales de Antioquia. Cuenta con más de 200.000 m² de diseño de edificios de concreto reforzado. Ha realizado estudios de patología a instalaciones educativas, residenciales y aeropuertos. Ha realizado evaluaciones postsismo en Colombia, Chile, Haití y México.

REFERENCIAS

- SURAMERICANA, (2010). *Lecciones para Colombia del sismo de Chile del 27 de febrero de 2010*. Suramericana S.A. Medellín, Colombia.
- SURAMERICANA, (2017). *Metodología para el diagnóstico, clasificación de daños y asignación de métodos de intervención, y supervisión técnica de rehabilitación y reconstrucción de edificaciones afectadas por sismo*. Suramericana S.A. Medellín, Colombia.
- SURAMERICANA, (2017). *Manual para el diligenciamiento del formulario de SURAMERICANA para el diagnóstico y clasificación de daños postsismo*. Suramericana S.A. Medellín, Colombia.

Efectos del sismo del 19 de septiembre de 2017 en las edificaciones de Ciudad de México

México es un territorio con una vasta historia sísmica con registros sísmicos que datan desde 1500, en la que se destacan sismos de gran intensidad como los del 75 y 19S de 2017. Teniendo en cuenta que la reducción de la vulnerabilidad sísmica es clave para el desarrollo sostenible de un país, México ha concentrado esfuerzos en el desarrollo de conocimiento, la evolución de los reglamentos de construcción y la preparación de profesionales idóneos para su aplicación, que son elementos esenciales para incrementar su capacidad de resiliencia.



Los aprendizajes de los sismos en México a lo largo de la historia, incentivaron el desarrollo de investigaciones que han generado cambios en las Normas de Sismo Resistencia, incorporando requisitos en todas las etapas de los proyectos, tales como estudios detallados de las características del suelo y los efectos locales de este sobre las edificaciones, mayor conocimiento en cuanto a métodos de análisis y diseño estructural, utilización de materiales sísmo resistentes y mayores controles durante la etapa del proceso constructivo.

La evolución de las Normas de Sismo Resistencia en México, deja como resultado un balance positivo del pasado sismo del 19S de 2017, donde solo un pequeño porcentaje de las edificaciones construidas en la Ciudad de México colapsaron o sufrieron daños importantes, demostrando que los cambios generados en las mismas han sido claves para lograr una reducción de la vulnerabilidad sísmica.

Evolución del Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México, un camino hacia la resiliencia

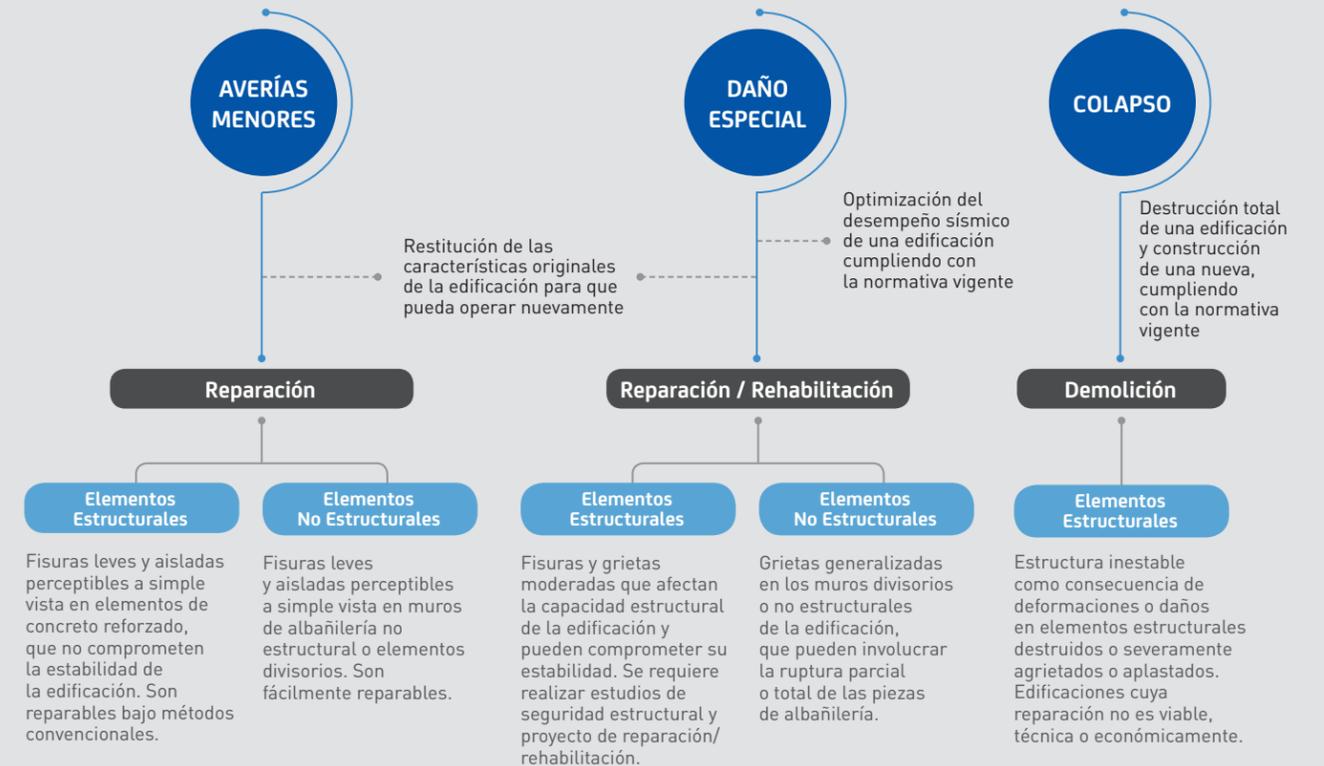


Gestión de edificaciones afectadas por sismo

La magnitud y severidad del daño que puede sufrir una estructura por sismo depende de diversos factores, tales como las características del suelo de apoyo, calidad del diseño estructural, tipología estructural, materiales de construcción y presencia de irregularidades, entre otros.

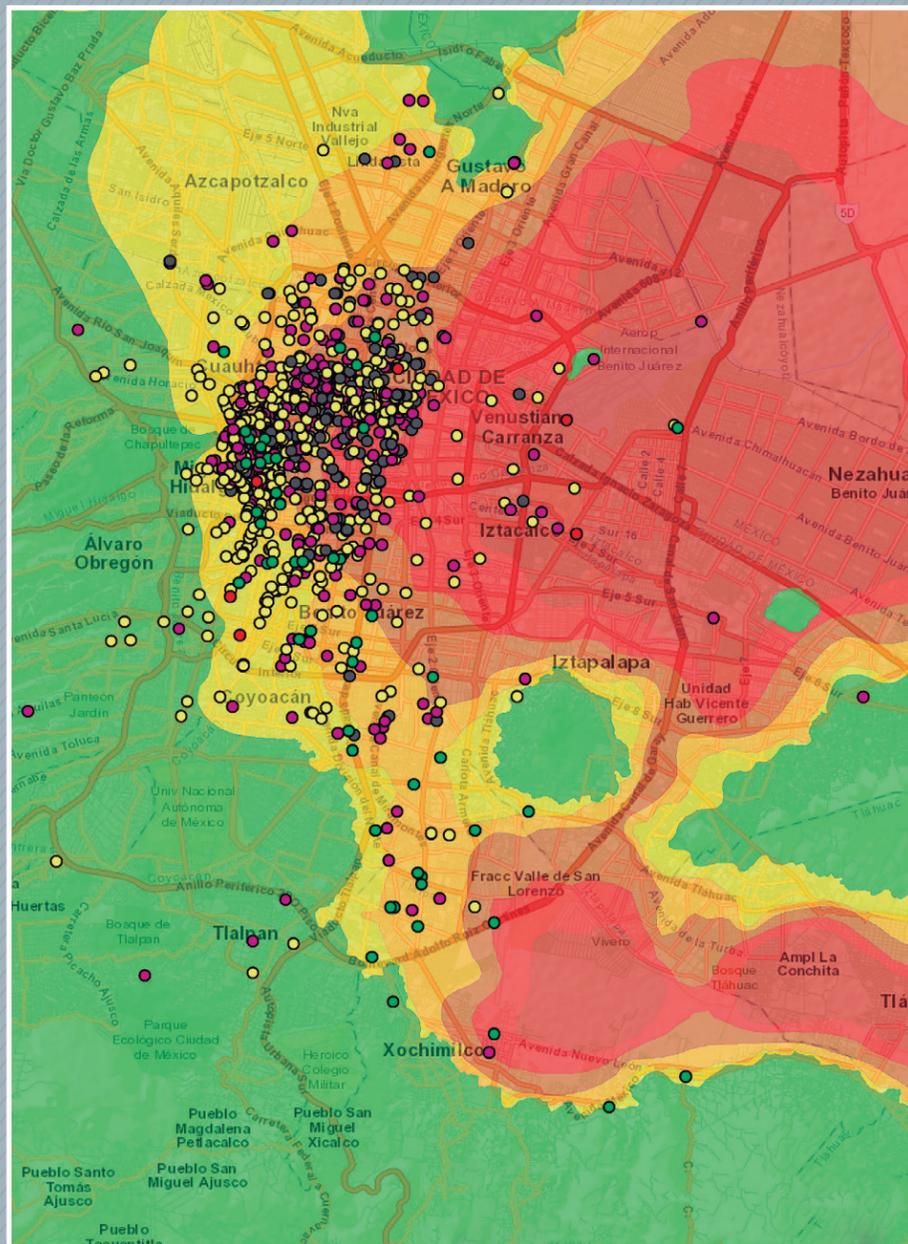
La presencia de daños en una edificación implica realizar una revisión detallada de la misma, con el fin de determinar si puede ser reparada, rehabilitada o si por el nivel de daño tan severo, es conveniente demolerla y construirla nuevamente.

Clasificación de daños en elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones



↙ Distribución de daños en edificaciones reportadas por fuentes oficiales, sismos del 19S de 1985 y 2017

La distribución de colapsos del 19S de 2017 reportada en el mapa colaborativo de las brigadas, indica que estos se concentraron en edificaciones de menos de 10 pisos, construidas antes de 1985, con tipologías de losa plana, albañilería y marcos de concreto reforzado. Si se comparara con el sismo del 19S de 1985, el 45% de los colapsos y daños severos se presentaron en edificaciones de marcos de concreto y sistemas de losa plana entre 6 y 10 niveles.



ZONIFICACIÓN SÍSMICA

- Zona I
- Zona II
- Zona IIIa
- Zona IIIb
- Zona IIIc
- Zona IIId

AFECTACIONES SISMO 19S 2017

- Colapso
- Daños Mayores

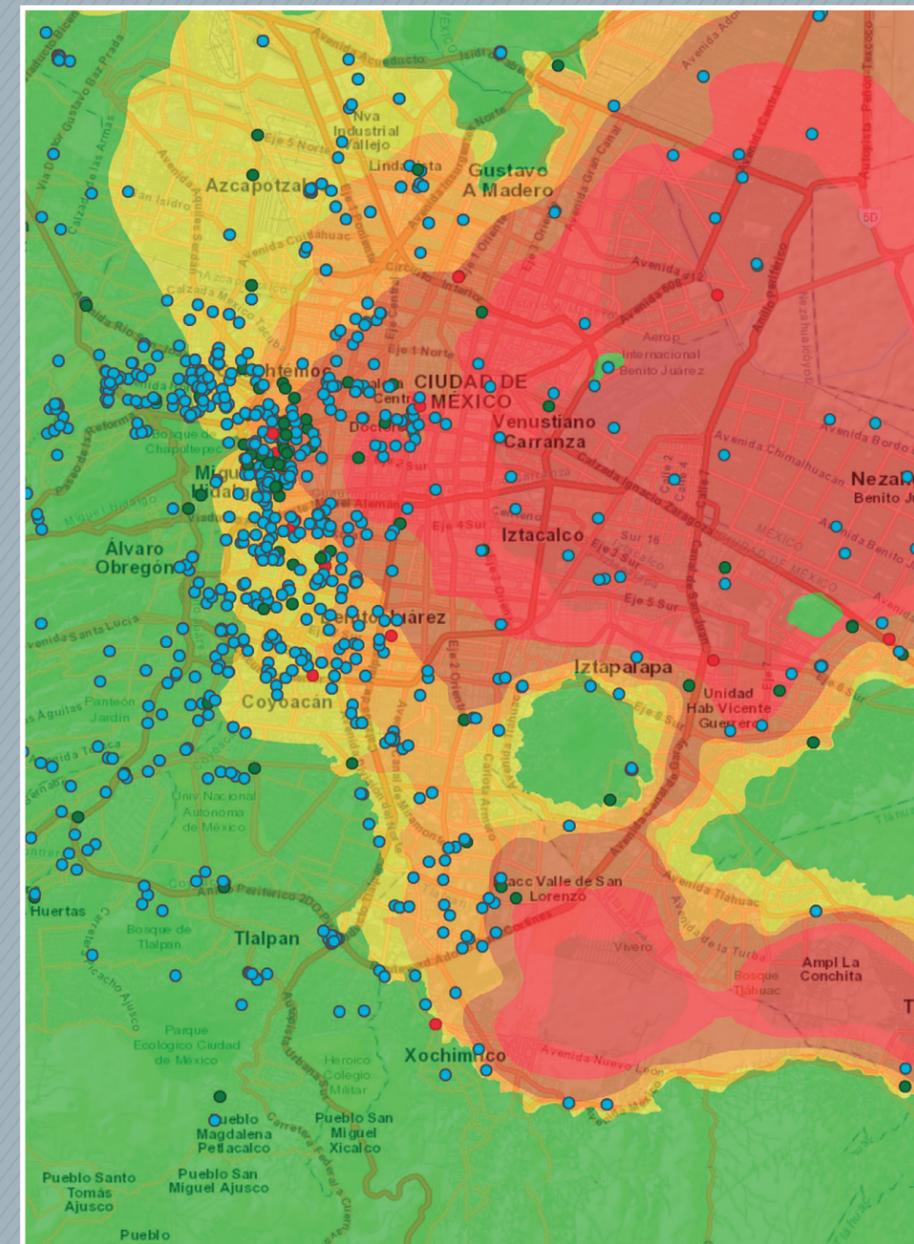
AFECTACIONES SISMO 19S 1985

- Colapso
- Daños Mayores
- Daños Menores

Fuentes: www.sismosmexico.org/mapas • Mapa colaborativo 2017 • Reporte de daños de 1985

↙ Distribución de daños en edificaciones inspeccionadas por SURA, sismo del 19S de 2017

Del grupo de edificaciones inspeccionadas por SURA, 192 fueron clasificadas con daños especiales o riesgo de colapso, de las cuales el 65% se concentran en sistemas de albañilería, marcos de concreto reforzado (rellenos con muros no estructurales) y sistemas de losa plana de menos de 10 niveles. Adicionalmente, de este grupo de edificaciones se evidenció que la configuración irregular de las estructuras, tales como ubicación en esquina y piso débil, entre otras, tiene una marcada influencia en la generación de daños por sismo.



ZONIFICACIÓN SÍSMICA

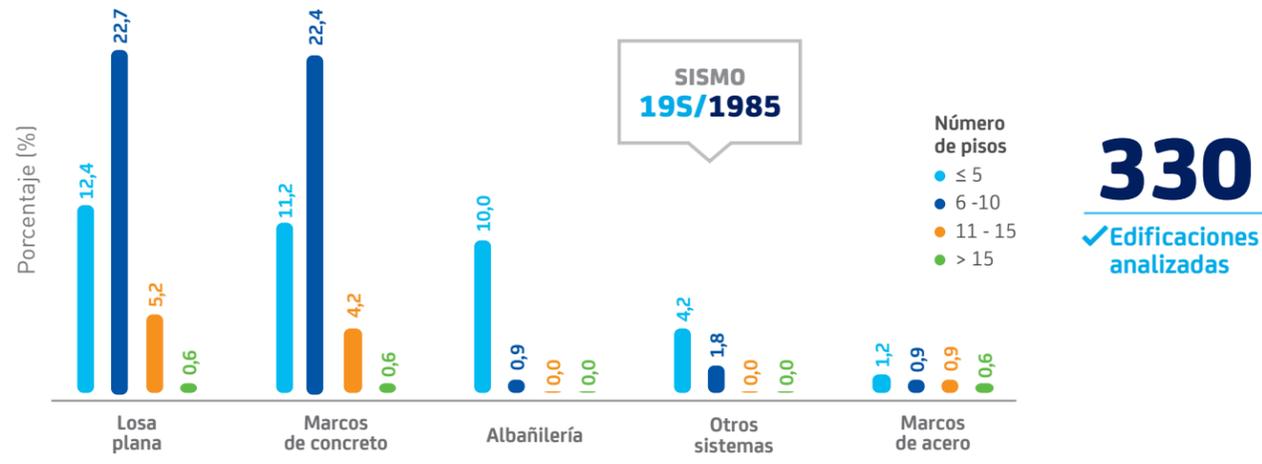
- Zona I
- Zona II
- Zona IIIa
- Zona IIIb
- Zona IIIc
- Zona IIId

EDIFICACIONES INSPECCIONADAS POR SURA, SISMO 19S 2017

- Riesgo de Colapso
- Daños Especiales
- Averías Menores

Fuente: SURA

Edificaciones con daños mayores y colapsos, según tipología estructural y número de pisos



Fuente: Meli R, et al., (1986)



Fuente: www.sismosmexico.org/mapas - Inspecciones realizadas por SURA (Este análisis combina inspecciones realizadas por brigadas y SURA)

Características estructurales de las edificaciones con daños mayores y colapsos por sismo del 19S de 1985 y 2017



→ Una misma edificación de las analizadas puede tener ninguna, una o varias de estas características

Fuentes: edificaciones analizadas sismo 19S de 1985: Meli R, et al., (1986)
Edificaciones analizadas sismo 19S de 2017: (Inspecciones realizadas por SURA).

Tipologías estructurales incluidas en el análisis de los sismos del 19S de 1985 y 2017





SURA actualmente está apoyando el desarrollo de estudios de evaluación estructural y proyectos de reparación/rehabilitación de aproximadamente 40 edificaciones en la Ciudad de México, Estados de México, Puebla y Morelos.

Gestión de reparación/rehabilitación

Las técnicas de rehabilitación más empleadas para el reforzamiento de edificaciones de mediana altura que sufrieron daños con el sismo de 1985, fueron el encamisado de columnas y vigas de concreto reforzado. Para edificaciones de mayor altura, la técnica predominante fue la adición de muros en concreto reforzado y riostras metálicas.

En la actualidad se destaca el gran desarrollo de nuevas tecnologías usadas en diferentes partes del mundo, buscando mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones.

Un balance positivo

El sismo del 19S de 2017 evidencia que los daños presentados en las edificaciones dependen en gran medida del sistema estructural y la zona donde se localiza la edificación. Si se realiza un análisis detallado que ponga en consideración cuales fueron las estructuras que se comportaron adecuadamente en la Ciudad de México, tanto en el sismo de 1985 como el sismo del 19S de 2017, se podría concluir fácilmente que los sistemas duales y

combinados, fueron algunas de las tipologías que tuvieron un mejor desempeño sísmico.

De acuerdo con la opinión del M.Sc. Francisco García Álvarez, el sismo del 19S de 2017 tuvo características diferentes al sismo ocurrido en 1985, donde la gran distancia entre el epicentro y Ciudad de México (400 km), para este último, ocasionó que los contenidos de frecuencia altos del sismo desaparecieran, quedando solo las bajas frecuencias que excitaban estructuras entre 8 y 15 niveles; mientras que en el sismo de 2017, con un epicentro más cercano a la ciudad (aproximadamente 120 km), se lograron filtrar las altas frecuencias y por tanto afectó edificaciones de menor altura, con el inconveniente que estas, son las más predominantes.

Para una megaciudad como lo es la Ciudad de México, el número de edificaciones afectadas por el sismo del 19S de 2017, es bajo. El camino hacia la resiliencia sísmica marca un desafío que busca reducir sustancialmente la vulnerabilidad del medio construido, lo cual implica interconexiones con los mecanismos de comunicación a la sociedad.

El esfuerzo mundial por lograr mayor capacidad de resiliencia, se ha enfocado en la utilización de nuevas tecnologías tanto para el diseño de edificaciones nuevas como para la implementación de alternativas de rehabilitación, tales como sistemas de disipación de energía y aislamiento sísmico, que implican un incremento en los costos de inversión inicial pero una reducción significativa de daños estructurales y pérdidas asociadas a la interrupción de los negocios traduciéndose esto en un menor costo total distribuido durante la vida útil esperada de la edificación.

Sistemas estructurales con mejor desempeño durante el sismo del 19S de 2017



FUENTES

Elizabeth Cardona Rendón

Ingeniera Civil y especialista en Ingeniería Sismo Resistente de la Universidad EAFIT. Trabaja en Suramericana desde 2008 y desde entonces se ha desempeñado en diferentes áreas. Actualmente es la Directora de Aplicaciones al Negocio del área de Geociencias.

Francisco García Álvarez

Ingeniero Civil, M.Sc. en Ingeniería. Presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Perteneció a la sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, al Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Earthquake Engineering Research Institute, ha realizado publicaciones en congresos y revistas técnicas y fue el director del Centro de Crisis que se montó en conjunto SMIE-CICIM para las brigadas de inspección después del sismo del 19 de septiembre de 2017.

Francisco García Jarque

Ingeniero Civil, M.Sc. en Ingeniería. Perteneció al Comité Evaluador de Peritos Profesionales en Seguridad Estructural del Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Comité de Corresponsables en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal. Es Miembro del Comité Asesor en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal, ha participado en más de 4.000 Proyectos Estructurales. En 2010 ganó premio Nacional de Ingeniería a la Práctica Profesional, otorgado por el Colegio de

Ingenieros Civiles de México; se desempeñó como presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, entre 1999 y 2000.

Gloria María Estrada Álvarez

Ingeniera Civil, especialista en Ingeniería Ambiental, especialista y M.Sc. en Ingeniería Sismo Resistente. Gerente de Geociencias de Suramericana. Ha trabajado en el desarrollo y coordinación de estudios e investigaciones de ingeniería sísmica, dinámica de suelos y riesgo sísmico. Ha publicado más de 20 artículos técnicos en el área de ingeniería sísmica.

Juan David Rendón Bedoya

Ingeniero Civil y especialista en Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado para firmas de consultoría en el desarrollo de proyectos de análisis y diseño de edificaciones y estructuras en celosía para subestaciones de energía y líneas de transmisión. Actualmente se desempeña como especialista en estructuras del área de Geociencias.

Mario Rodríguez Rodríguez

Ingeniero Civil, M.Sc. y Ph.D. en Estructuras, investigador de tiempo completo del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Su trabajo de investigación realizado con el Profesor José Restrepo de UCSD, ha sido la base de la nueva sección 12.10 de la normativa en Estados Unidos ASCE/

SEI 7-16 (2016) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Ha sido autor de las modificaciones en 2016-2017 del diseño por sismo de diafragmas en edificios de la Norma Técnica Complementaria por Sismo de la Ciudad de México de 2017; es Perito en Seguridad Estructural y profesor del curso de Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto en el Posgrado de Ingeniería de la facultad de Ingeniería de la UNAM; así mismo, ha dictado cursos de actualización para ingenieros en seguridad estructural en México, Perú, Colombia y Chile. Participó en la evaluación de daños de los terremotos de Chile 1985, México 1985, Japón 1995 y 2010, Perú 2007, Mexicali 2010, Chile 2010, y Ciudad de México 2017. Es miembro con voto del Comité principal ACI 318 del American Concrete Institute International (ACI), que elabora el Reglamento para Concreto Estructural ACI 318, así como de varios comités técnicos del ACI. Es presidente de la empresa MR Ingenieros Consultores en Estructuras, fundada en 2005.

Victoria Luz González Pérez

Ingeniera Civil de la Universidad de Medellín, especialista y M.Sc. en Ingeniería Sismo Resistente de la Universidad EAFIT. Trabajó como directora de diseño estructural en una firma de consultoría durante 12 años. Actualmente se desempeña como especialista en estructuras del área de Geociencias.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. et al., (1989). *The Mexico Earthquake of September 19, 1985 – Statistics of Damage and of Retrofitting Techniques in Reinforced Concrete Buildings Affected by the 1985 Earthquake*. Earthquake Spectra, Volume 5, No. 1, pages 145-151, Earthquake Engineering Research Institute.
- Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. (2017). *¿Qué ocurrió el 19 de septiembre?* IC CICM, Vol. 580. Ciudad de México, México.
- Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. (2017). *Diseño sísmico basado en resiliencia, una necesidad nacional*. IC CICM, Vol. 581. Ciudad de México, México.
- Meli R, et al., (1986). *Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México, Parte I, Evaluación de daños*, Volumen 2-1, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Meli R, et al., (1986). *Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México, Parte II, Evaluación detallada de edificios típicos*, Volumen 2-1, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Miranda, E. et al., (2017). *Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake*. John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil and Environmental Engineering. Stanford University. California, USA.

edificios de la Ciudad de México, Parte I, Evaluación de daños, Volumen 2-1, Instituto de Ingeniería, UNAM.

- Quiroga C. et al., (2004). *Evaluación de los daños del sismo del 19 de septiembre de 1985 a la luz de nuevos datos y estudios y con ayuda de sistemas de información geográfica*, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., 2004, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Rodríguez, M. (2017). *Interpretación de los daños y colapsos en edificaciones observados en la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre de 2017*. Instituto de Ingeniería UNAM. Ciudad de México
- Vázquez, A. (1997). *La evolución de la construcción en México, como consecuencia del sismo de 1985*. Academia Mexicana de Ingeniería.

Tecnología e ingeniería para la gestión de los sismos

El avance tecnológico y las posibilidades de registro de sismos que tiene México, es para destacar, ya que no solo les ha permitido generar alertas tempranas, sino también la oportunidad de estudiar, monitorear y conocer con más detalle estos fenómenos de la naturaleza.

➔ Sistema de alerta sísmica de México

La tecnología de monitoreo sísmico potencializa el conocimiento del fenómeno de transmisión de las ondas sísmicas y los efectos de respuesta sísmica de los suelos, para buscar mecanismos de análisis y diseño que mejoren el desempeño sísmico de las edificaciones. México cuenta actualmente con una densa red de instrumentos para registrar los sismos, la cual, combinada con la instalación de sensores de radio, conforman el Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX), para aviso a la población de la ocurrencia de sismos lejanos. Este novedoso sistema avanza cada vez más en su cobertura, y su gran desafío es lograr que la población interprete cada vez mejor sus señales, de tal manera que siga los protocolos adecuados para proteger la vida.

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico A.C. (CIRES, A.C.), en cabeza de su director, el ingeniero Juan Manuel Espinosa Aranda, es consciente de que el actual sistema de alerta sísmica funciona bien, pero puede ser mejorado en muchos aspectos, más aún cuando continuamente se ven desarrollos tecnológicos en todos los frentes que pueden potencializar mucho más la red actual, de tal modo que se logre un sistema más incluyente, incorporando otro tipo de señales para que, por ejemplo las personas con problemas auditivos o visuales puedan advertirlas, y un sistema más robusto, en el que se amplíe la red de sensores existentes.

EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA SÍSMICA DE MÉXICO

1989

Se desarrolla el Sistema de Alerta Sísmica (SAS) en la Ciudad de México motivado por el sismo que afectó la ciudad en 1985.

1999

El gobierno de Oaxaca comienza el desarrollo de un Sistema de Alerta Sísmica para la ciudad.

1991

Comienza a operar el nuevo SAS con 12 estaciones sísmicas localizadas en las costas de Guerrero. Las alertas se comenzaron a difundir por medio de los equipos de la Asociación de Radiodifusores del Valle de México.

2005

Los gobiernos de Oaxaca, Ciudad de México y la Secretaría de Gobernación convienen integrar ambos sistemas de alerta sísmica, dando origen al Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX).



↓ FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALERTA SÍSMICA

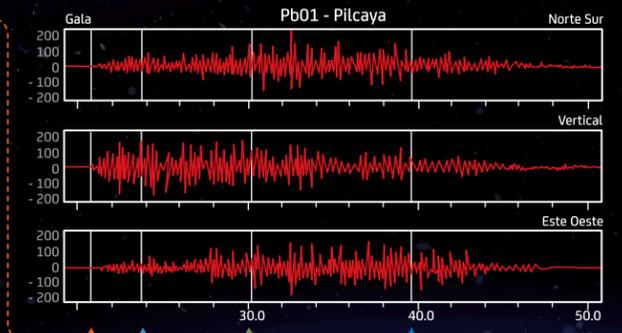
El funcionamiento del Sistema de Alerta Sísmica de México se basa en la captura y transmisión de las fases del sismo por medio de los sensores de la red, los cuales estiman la energía del sismo mediante tres algoritmos, y posteriormente transmiten el resultado obtenido a las centrales del SASMEX mediante ondas de radio, las cuales se propagan más rápido que las ondas sísmicas.

1 DETECCIÓN DE ONDAS P

Una vez el sensor registra las ondas P del sismo, comienzan a ejecutarse los algoritmos que transmiten las señales de alerta al Centro de Control del SASMEX.

2 ESTIMADOR 3S

Pasados 3 segundos de la detección de las ondas P del sismo, se ejecuta el primero de los algoritmos, el cual envía la señal al Centro de Control.



4 ESTIMADOR 2SP

El tercer algoritmo monitorea las condiciones de la onda sísmica desde que se detecta el movimiento de las ondas P, hasta una fase significativa de las ondas S.

3 DETECCIÓN DE ONDAS S

En el instante en que el sensor registra las ondas S del sismo, se ejecuta el segundo algoritmo, en el cual se envía la señal del contenido de frecuencia y energía de las ondas P registradas hasta ese instante.



- Estaciones Acelerográficas SSN
- Estaciones Acelerográficas IINGENXUNAM
- Estaciones Acelerográficas CIRES
- ▲ Nodo de comunicación en servicio
- ▲ Sensor en construcción
- ▲ Sensor en servicio

Gracias a que las **ondas de radio** viajan mucho más rápido que las ondas sísmicas, es posible emitir alertas de sismos lejanos para la Ciudad de México hasta con

100 SEGUNDOS de anticipación



Actualmente el Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX) se compone de una red de monitoreo que cuenta con

97 sensores sísmicos

distribuidos en los estados de Oaxaca, Guerrero, Puebla, y el sur de los estados de Michoacán, Colima y Jalisco.

↓ GESTIÓN DE LAS BRIGADAS de INGENIEROS CIVILES en la Ciudad de México - Sismo del 19S de 2017

Una vez ocurrido el sismo, el Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C., la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, la Academia de Ingeniería y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, activaron las brigadas para revisar las estructuras afectadas por el sismo. Convocaron a Peritos Profesionales en Seguridad Estructural (PPSE), Corresponsables en Seguridad Estructural (CSE), ingenieros civiles con experiencia en estructuras, estudiantes universitarios de ingeniería civil y posgrados.

Dividieron la Ciudad de México en 45 áreas críticas, cada una estaba a cargo de un ingeniero estructural especializado y reconocido en el país con más de 15 años de experiencia, quien a su vez tenía a cargo un grupo de 2 o 3 ingenieros civiles con más de 10 años de experiencia y entre 10 a 15 ingenieros con menos de 5 años de experiencia o estudiantes de ingeniería civil. Cada brigada clasificaba la edificación en una de las siguientes categorías:

- ✓ Sin daño estructural
- ✓ Daño ligero o moderado en elementos NO estructurales
- ✓ Daños en elementos estructurales

FRANCISCO GARCÍA ÁLVAREZ, fue el coordinador de 35 brigadas para la atención del sismo del 19S.

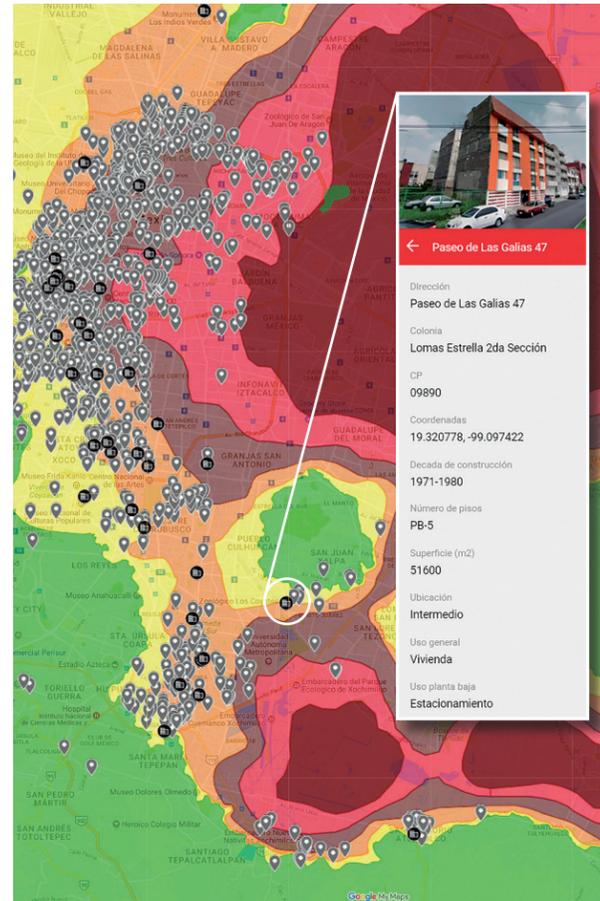
35 BRIGADAS

MÁS DE 600 ingenieros o estudiantes de ingeniería participaron en las brigadas (SMIE - CICM).

ENTIDADES ALIADAS

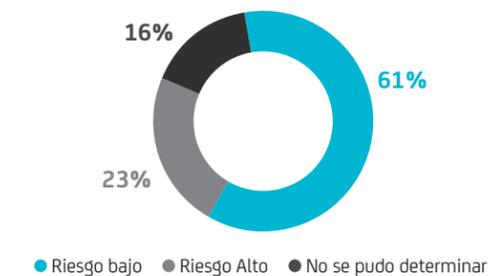
- SMIE** | Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural
- CICM** | Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C.
- UNAM** | Universidad Nacional Autónoma de México
- SMIG** | Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica
- UAM** | Universidad Autónoma Metropolitana

↓ Mapa colaborativo con información recopilada por las brigadas de ingenieros civiles en la Ciudad de México



Mapa enfocado en especialistas técnicos www.sismosmexico.org/mapas

↓ Clasificación de daños - Edificaciones inspeccionadas por las brigadas



CLASIFICACIÓN	EDIFICACIONES
Riesgo bajo	1.210
Riesgo alto	460
No se pudo determinar	327
TOTAL	1.997

Resumen preliminar de daños de los inmuebles inspeccionados por las brigadas del sismo del 19/09/2017. (<https://www.sismosmexico.org/informes>)

↓ GESTIÓN DE SURA con INGENIEROS ESTRUCTURALES en la Ciudad de México

FASE 1 Clasificación de daños

En esta fase se realizó la inspección a las edificaciones de los asegurados que reportaron algún tipo de daño por parte de ingenieros estructurales, quienes diligenciaron el formulario diseñado por SURA. Con la información recopilada en campo se realizó la clasificación de los daños en tres categorías:

- ✓ Averías menores
- ✓ Daños especiales
- ✓ Riesgo de colapso

12 EMPRESAS de ingeniería

9 INGENIEROS estructurales independientes

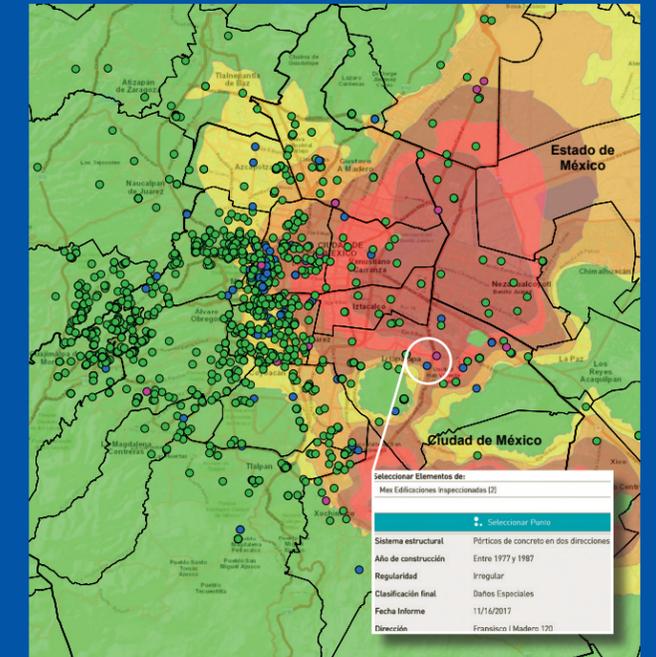
67 INGENIEROS ESTRUCTURALES de México, Colombia y Chile

FASE 2 Estudios de seguridad estructural y rehabilitación

En esta etapa se realiza un análisis más detallado, que incluye modelación de la edificación, con el fin de determinar las obras que sea necesario realizar, de acuerdo con la regulación vigente. En esta etapa se revisa la edificación siguiendo lo indicado en la norma de rehabilitación de la Ciudad de México, o en su defecto, la del Estado que aplique de acuerdo con el sitio donde se ubique la edificación.

Las firmas de ingeniería que están apoyando esta etapa son reconocidas internacionalmente y cuentan con amplia experiencia en la realización de estudios de seguridad estructural (vulnerabilidad sísmica) y rehabilitación de edificaciones afectadas por sismo.

↓ Mapa de SURA con información recopilada por los ingenieros estructurales en la Ciudad de México



Edificaciones Inspeccionadas por Sura

- Riesgo de colapso
- Daños especiales
- Averías menores

Zonificación Sísmica de la Ciudad de México

- Zona I
- Zona II
- Zona IIIa
- Zona IIIb
- Zona IIIc
- Zona IIId

Mapa con clasificación de daños de edificaciones inspeccionadas por SURA - Tomado de la herramienta GeoSURA

SURA también realizó inspecciones por fuera de la Ciudad de México en los Estados de: Morelos, Puebla, México y Tlaxcala.

↓ Clasificación de daños - Edificaciones inspeccionadas por SURA

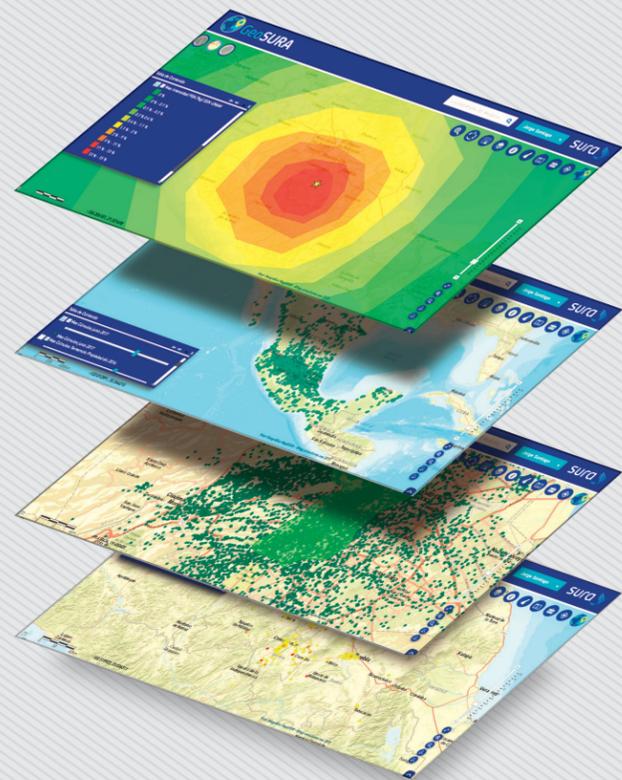


CLASIFICACIÓN	EDIFICACIONES
Averías menores	2.002
Daños especiales	157
Riesgo de colapso	35
TOTAL	2.194

Inspecciones realizadas a las edificaciones aseguradas que presentaron reclamación.

Protocolo de atención de sismos

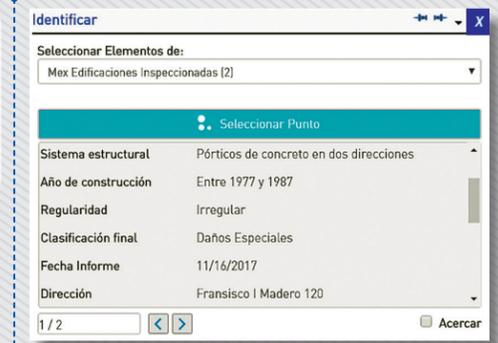
El área de Geociencias de SURA monitorea constantemente la información emitida por los servicios sismológicos nacionales, incluyendo el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), relacionada con los últimos sismos y sus características principales como magnitud, epicentro, profundidad e intensidad.



- 1 La información reportada de cada evento por los servicios sismológicos y demás fuentes oficiales, es cargada a la plataforma GeoSURA.
- 2 Gracias a la geolocalización de la cartera de SURA, es posible realizar un cruce geoespacial de los predios de los clientes con los mapas de intensidades sísmicas reportadas por los servicios sismológicos, y, de esta manera, estimar las principales zonas afectadas por el sismo.
- 3 Sura activa el plan de evaluación postsismo y define el número de ingenieros estructurales necesarios para realizar inspecciones a las edificaciones localizadas en las zonas afectadas.
- 4 Con la información recopilada en las inspecciones, se realiza la clasificación de daños.

↓
El equipo de SURA atiende a los clientes de acuerdo con la clasificación de daños resultante del análisis de ingeniería estructural

Paralelamente a la clasificación de daños de las edificaciones inspeccionadas, fue posible identificar las principales variables asociadas a la vulnerabilidad de cada estructura.



Gracias a las funcionalidades de la plataforma GeoSURA, fue posible hacer el cruce espacial de la información disponible para identificar las zonas más afectadas.

GeoSURA, plataforma para la gestión del evento sísmico

La plataforma corporativa de información geográfica de SURA - GeoSURA, facilitó la identificación del evento, las zonas afectadas y los asegurados que potencialmente tendrían algún nivel de daño.

GeoSURA agilizó la elaboración de mapas y el seguimiento de las inspecciones realizadas, así como la visualización espacial de la clasificación de los daños y análisis de la información a diferente nivel de detalle.

Visualizar y analizar gráficamente la información permitió tomar decisiones para la gestión del evento.

Cada vez más, GeoSURA se consolida como una plataforma interactiva que integra información y facilita la gestión de la compañía al servicio de las personas.

PARTICIPANTES EN FASE 1

- Desimone Consulting Engineers South America S.A.S.
- Doing estudio de Ingeniería S.A.S.
- Estructmed Ingeniería Especializada S.A.S.
- Estructuras, Interventorías y Proyectos LTDA.
- Ingetec S.A. Ingenieros Consultores
- Ingenio Construcciones y Consultorías S.A.S.
- Integral Ingenieros Consultores
- Loto Ingeniería Estructural
- Muñoz Castañeda Ing. Civil S.A.S.
- Proyectos y Diseños S.A.S.
- Rene Iagos Engineers - RLE
- Triángulo Ingeniería S.A.S.
- Ing. Andrés Felipe Hernández
- Ing. Alejandro del Rincón
- Ing. Arabella Zapata
- Ing. Israel Iván León García
- Ing. Juan Camilo Hinestroza
- Ing. Juan Carlos Botero
- Ing. Kenny Rafael Vielman
- Ing. Roberto Rochel Awad
- Ing. Salvador Barrientos

PARTICIPANTES EN FASE 2

- Advanced Analysis and Design LLC
- García Jarque Ingenieros
- Rene Iagos Engineers - RLE
- RIZZO International, Inc.
- Thornton Tomasetti
- Ing. Mario Rodríguez Rodríguez
- Ing. Roberto Rochel Awad

FUENTES

Ana María Cortés Zapata
Ingeniera Matemática y aspirante a M.Sc. en Matemáticas Aplicadas de la Universidad EAFIT. Desde el 2014 se desempeña como profesional en modelación matemática en el área de Geociencias apoyando en temas relacionados con modelación de riesgo sísmico.

Esteban Herrera Estrada
Ingeniero civil de la Universidad de Medellín. Analista en el área de Geociencias, en la actualidad, apoya el proyecto corporativo de información geográfica GeoSURA y los temas relacionados con SIG.

Francisco García Álvarez
Ingeniero Civil, M.Sc. en ingeniería. Presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Perteneció a la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, al Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Earthquake Engineering Research Institute, ha realizado publicaciones en congresos y revistas técnicas y fue el director del Centro de Crisis que se montó en conjunto SMIE-CICIM para las brigadas de inspección después del sismo del 19 de septiembre de 2017.

Jorge Santiago Victoria Domínguez
Ingeniero civil de la Universidad Nacional. Ha trabajado con sistemas de información geográfica en la compañía, actualmente hace parte del proyecto corporativo de información geográfica GeoSURA y apoya temas relacionados con SIG.

Juan Pablo Restrepo Saldarriaga
Ingeniero civil y especialista en Recursos Hidráulicos. Ha trabajado en consultoría en estudios hidrológicos para el diseño y dimensionamiento de centrales hidroeléctricas, y actualmente se desempeña en el área de Geociencias, realizando estudios hidrológicos e hidráulicos.

Victor Hugo Ángel Marulanda
Ingeniero de Sistemas e Informática y especialista en gerencia de proyectos. Trabaja en Suramericana desde 2010, y desde entonces se ha desempeñado en diferentes áreas de la compañía. Actualmente es el Director de Sistemas de Información Geográfica del área de Geociencias.

REFERENCIAS

- Metodología Postsismo de SURAMERICANA.
- Reunión colaborativa entre García Jarque Ingenieros y SURA.
- Revista IC – Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros de México A.C. N° 580 de octubre de 2017 y 581 de noviembre - diciembre de 2017.
- Noticocolegio, Órgano informativo interno del Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C. N°514 de octubre de 2017 y 515 de noviembre de 2017.

CIBERGRAFÍA

- <https://www.sismosmexico.org/>
- <http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR244>
- <http://www.atlasmexico.com/>
- http://www.cires.org.mx/cires_es.php
- <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/RedAcelerografica.aspx>
- <http://www.ssn.unam.mx/acercar-de/estaciones/>

Los aprendizajes: el camino hacia un mundo resiliente a sismo

La capacidad de resiliencia es un gran desafío de la ingeniería sísmica mundial. Los aprendizajes de los sismos del 7S y 19S de 2017 en México muestran elementos muy positivos orientados a lograr esta gran meta.

Cada sismo trae consigo aprendizajes para alcanzar este gran objetivo. Existen muchos esfuerzos mundiales, como es el caso del marco Sendai (2015-2030), comprometidos con la reducción de riesgo de desastres para lograr la resiliencia de la sociedad, los cuales responden a la megatendencia de urbanismo. Su enfoque fundamental es lograr que el diseño, la construcción y los procesos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción postsismo consideren el desempeño sísmico esperado de las estructuras, de tal manera que se proteja la vida, la propiedad, la sostenibilidad de los negocios, la estabilidad gubernamental, económica y social de los países.

Los efectos de los sismos han permitido desarrollar tecnologías para su atención, algunas de ellas orientadas a salvar vidas y unir a la sociedad en el proceso de recuperación de las zonas y personas afectadas. Sin embargo, esta atención también debe estar orientada a que el resultado de los procesos de reconstrucción, rehabilitación, reforzamiento y reparación de edificaciones postsismo se conviertan en una oportunidad para lograr ciudades más resilientes. Esto requiere valores éticos, mecanismos regulatorios bien estructurados, profesionales con conocimiento y experiencia, y convicción de la sociedad.

Un camino recorrido en México desde 1985

El sismo del 19S de 1985 marcó un hito, no solo en la historia sísmica de México, sino en el desarrollo de la ingeniería sísmica. Los aprendizajes de este gran sismo fueron de gran relevancia para México y para el mundo, porque mostraron de manera indiscutible el papel preponderante de la respuesta sísmica de los perfiles de suelo en los movimientos del terreno y sus efectos en el desempeño de las edificaciones. Gran cantidad de estudios e investigaciones se desarrollaron con base en este gran sismo, y desde ese día hasta hoy, ha crecido en el mundo la convicción del papel fundamental de la caracterización de los suelos en los códigos de diseño sísmico.

El sismo del 19S de 2017 confirmó los hallazgos del 19S de 1985, y mostró la validez y relevancia de la zonificación de la respuesta de los suelos en la Ciudad de México, establecida en

LOS SISMOS DEL 7S Y 19S DE 2017

En un lapso de 12 días, durante el mes de septiembre de 2017, México fue sacudido por dos sismos fuertes. El primero, con una magnitud de 8.1 (Mw) a una profundidad de 47 km, se presentó en el estado de Chiapas, el 7 de septiembre. El segundo, con una magnitud de 7.1 (Mw) a una profundidad de 48 km, se generó en el límite entre Puebla y Morelos, el 19 de septiembre. La fecha de este sismo del 19 de septiembre es una gran coincidencia, porque justamente ocurrió en la conmemoración de los 32 años del gran sismo del 19 de septiembre de 1985.



De estos dos sismos de septiembre de 2017 quedan muchos aprendizajes, y reflejan resultados muy positivos de esfuerzo y estudio en México, que muestran avances en el camino hacia la búsqueda de la resiliencia sísmica que emprendió este país con mucha fuerza, luego del gran sismo de 1985.

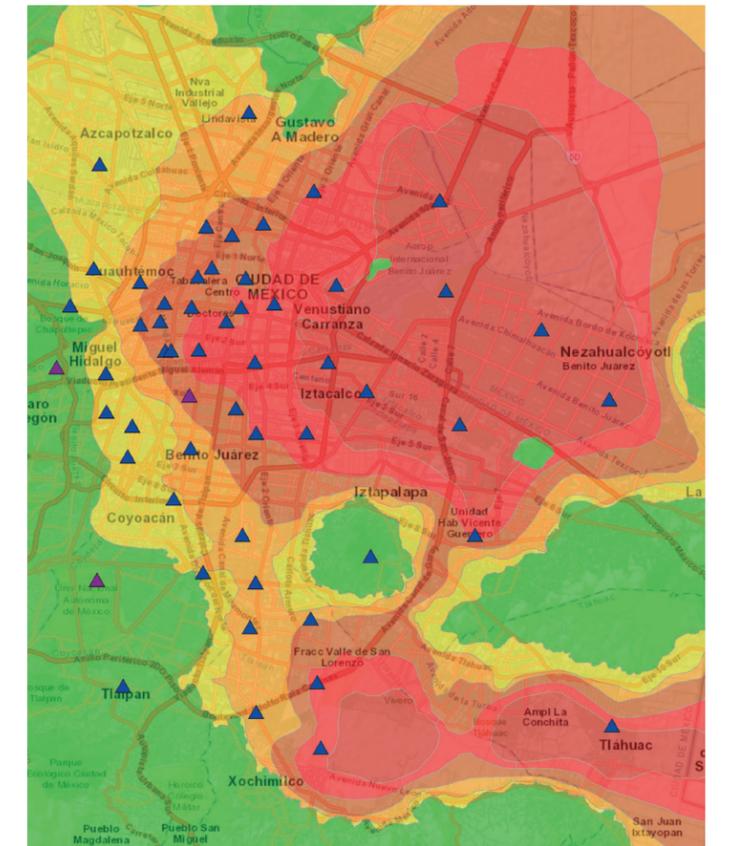
su reglamento sísmico. En el sismo del 19S de 2017, los edificios colapsados se concentraron predominantemente en depósitos de arcilla blanda de 25 a 40 m de espesor, que tienen períodos fundamentales de vibración entre 1.0 y 1.5 s, y se clasifican mayoritariamente en suelos de la zona IIIa y una proporción mucho menor en la zona IIIb. Las variaciones entre la ubicación y altura de las edificaciones, donde se concentraron los colapsos y daños mayores en los sismos del 19S de 1985 y 2017, se debe a las diferencias en el contenido frecuencial y la distancia entre la sismofuente y el sitio de estos dos eventos. El sismo del 19S de 1985 ocurrió a casi 400 km de la Ciudad de México, mientras que el del 19S de 2017 a 120 km, lo cual muestra la gran importancia de la consideración de las posibles fuentes sísmicas con incidencia en esta ciudad, unido a los tipos de suelo que en cada caso pueden intensificar la respuesta sísmica.

Sin embargo, no se puede perder de vista la importancia de los sistemas estructurales en el comportamiento sísmico de las edificaciones. Los sismos del 19S de 1985 y 2017 muestran aprendizajes importantes de las estructuras con daños severos y colapsos, concentrados en sistemas de losa plana y marcos de concreto reforzado (con rellenos de albañilería no reforzada). Toda esta información resulta clave en las decisiones de reparación y diseños de reforzamiento y construcción de edificaciones nuevas posteriores a los sismos de septiembre de 2017.

Preparación, generosidad y conocimiento

Como respuesta al sismo del 7S de magnitud 8.1 (Mw), el XXXVI Consejo Directivo del Colegio de Ingenieros Civiles de México hizo una convocatoria de ingenieros voluntarios para viajar a Oaxaca y Chiapas, con el fin de evaluar los daños y colaborar con las autoridades federales y locales. La organización de México en un grupo de brigadas para la inspección de edificaciones en la Ciudad de México es un gran logro que este país latinoamericano le enseña al mundo. El esquema de brigadas muestra no solo la generosidad de sus integrantes, un grupo de más de 600 ingenieros y estudiantes de ingeniería civil voluntarios, sino la utilidad de sus esfuerzos para orientar las decisiones del Estado. Dentro de estas brigadas, las comisiones de ingenieros estructurales jugaron un papel preponderante, por su conocimiento y experiencia para evaluar técnicamente el nivel de daños de las edificaciones. Como el número de ingenieros

↓ Zonificación Sísmica de la Ciudad de México para fines de diseño por sismo - NTC 2004



▲ Estaciones acelerográficas CIRES
▲ Estaciones acelerográficas IINGEN-UNAM
Zona I
Zona II
Zona IIIa
Zona IIIb
Zona IIIc

estructurales es bajo en relación con el número total de brigadistas, este plan de inspección visual de edificaciones implementó un primer formato de evaluación rápida de edificaciones que permitió filtrar los casos más críticos, para definir la porción de edificaciones que requerían una segunda visita de inspección con un formulario más detallado. La participación del ingeniero Francisco García Álvarez, presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE), como líder de 35 brigadas, refleja el gran compromiso de la ingeniería del país con la atención postsismo. La participación de los grupos de ingenieros estructurales se conformó con el liderazgo del Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM) y el compromiso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE) y las universidades, como es el caso destacado de la UNAM. Siempre se podrá hacer mejor, pero el resultado es una potente iniciativa que fue posible gracias a la dedicación generosa de un grupo de personas motivadas por un interés común, que tiene el gran desafío de fortalecerse, homologar formatos y criterios, y lograr apoyo sistemático y eficiente de los ingenieros estructurales.

Tecnología al servicio de las personas

La información de los avances de la gestión de las brigadas en la Ciudad de México ha estado al alcance del público en general desde la ocurrencia del sismo en el enlace www.sismosmexico.org. Igualmente, el Gobierno mexicano en el sitio www.gob.mx/sismo/ lanzó una campaña para ayudar a identificar los daños estructurales en construcciones, que les permite definir las prioridades de ayuda.

El Sistema de Alerta Sísmica de la Ciudad de México (SASMEX) es un sistema novedoso, que existe en pocas ciudades del mundo y tiene aplicaciones actuales útiles para sismos lejanos a la ciudad, como el del 19S de 1985. Este sistema también puede potencializarse para aplicaciones de sismos más cercanos a la ciudad, en la medida que crezca la red de sus instrumentos. Para la población de la Ciudad de México resulta fundamental conocer cada vez mejor el funcionamiento y utilidades de este sistema de alerta sísmica, para interpretar adecuadamente las señales y seguir los protocolos correctos.

Aprendizajes sobre el desempeño estructural de edificaciones

Los artículos publicados por el Ph.D. Mario Rodríguez, investigador de la Universidad Autónoma de México UNAM y por el Centro de Ingeniería Sísmica John A. Blume de la Universidad de Stanford, muestran estadísticas del sismo del 19S de 2017, que permiten identificar características predominantes de las edificaciones que colapsaron y presentaron daños severos asociados a este evento.

A partir de estos aprendizajes de los edificios colapsados por el sismo del 19S de 2017, el Centro de Ingeniería Sísmica John A. Blume de la Universidad de Stanford, resalta la importancia de generar mecanismos regulatorios para la revisión y rehabilitación sísmica de edificaciones construidas antes de 1985, localizadas en las zonas del antiguo lago de la Ciudad de México.

La concentración de los colapsos en edificaciones construidas antes de 1985 también muestra un balance positivo de la evolución de la norma sísmica mexicana, que ha buscado reflejar en sus requisitos los aprendizajes del gran sismo de 1985.

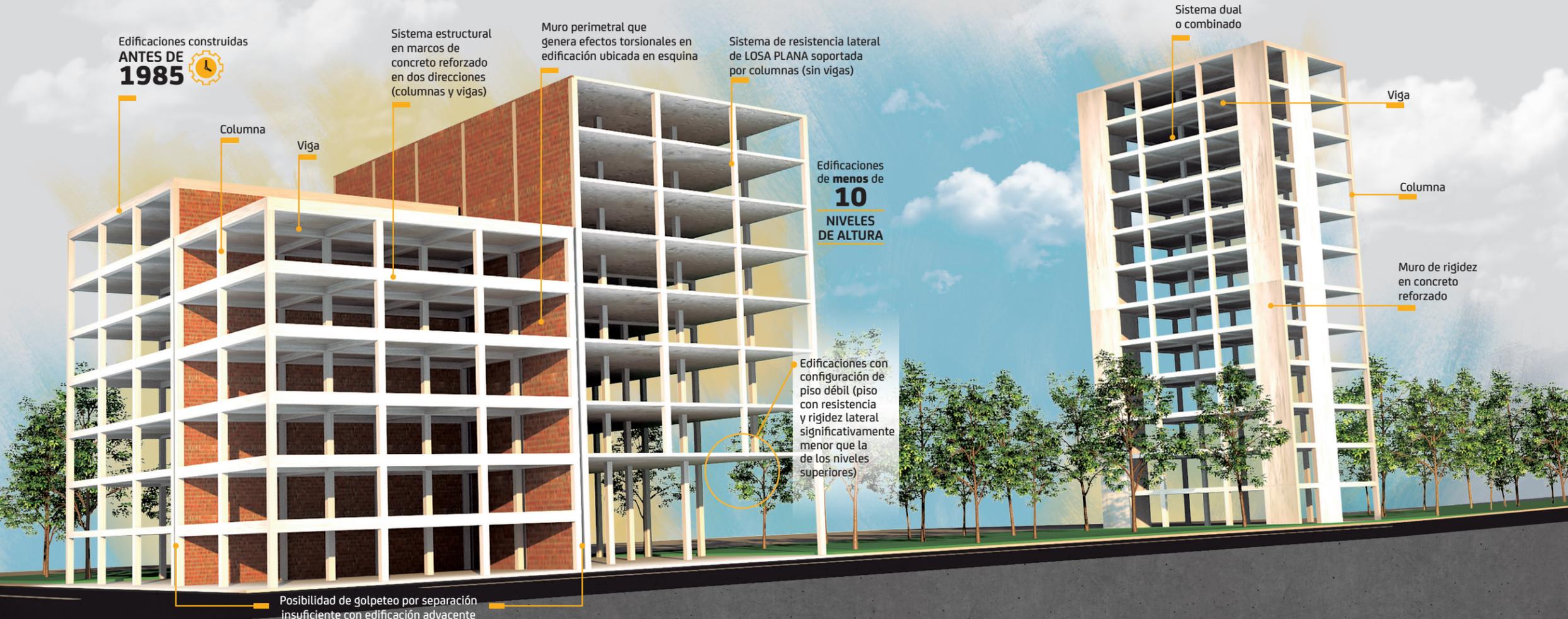
Aprendizajes del plan postsismo de SURA en México

La convicción de reparar, reforzar y reconstruir para lograr edificaciones con mejor desempeño sísmico para el futuro, en los casos donde sea posible, es un compromiso de SURA con la resiliencia sísmica en América Latina. La gestión de SURA luego de los sismos de septiembre de 2017 en México confirma la relevancia de esta convicción.

La metodología de evaluación postsismo de SURA fue implementada en México con varios grupos de ingenieros estructurales de México, Chile y Colombia, de tal manera que desde el 25 de septiembre hasta el 21 de diciembre de 2017, SURA contó con grupos permanentes de alrededor de 23 especialistas en ingeniería estructural para la implementación del plan de inspección de más de 2.000 edificaciones en la Ciudad de México y los Estados de México, Morelos, Puebla, entre otros. La opinión de Gloria María Estrada Álvarez, gerente de Geociencias de SURAMERICANA S.A. es que “el gran balance de este plan postsismo en México, es que ha sido un mecanismo muy eficaz para apoyar con un enfoque de ingeniería a nuestros asegurados en México afectados por

estos sismos. Cada vez se podrá hacer mejor, tenemos muchos elementos de logística para mejorar, pero el resultado ha sido un grupo de más de 150 personas compuesto por equipos de diferentes áreas de SURA México, el equipo de Geociencias de SURAMERICANA S.A. y un grupo de profesionales de firmas de ingeniería estructural de Chile, México y Colombia, preparados en la metodología postsismo de SURA, todos comprometidos con una causa común, inspeccionar y levantar formularios de las edificaciones con algún tipo de afectación, para el diagnóstico y clasificación de daños que orienten los procesos de reparación, rehabilitación y reconstrucción. En la etapa de estudios complementarios para el grupo de edificaciones que requieren evaluaciones adicionales para definición de técnicas de reparación o rehabilitación más adecuadas en cada caso, SURA ha contado con el apoyo de un grupo de firmas internacionales de ingeniería estructural con gran experiencia postsismo y de una firma mexicana de gran prestigio en el campo de ingeniería estructural. En SURA estamos convencidos de que la empresa privada, y muy especialmente el sector asegurador tiene

Características predominantes de las edificaciones que presentaron colapsos y daños severos en la Ciudad de México en el sismo del 19S de 2017



↓

Un aprendizaje muy positivo del sismo del 19S de 2017 fue el buen desempeño de edificaciones con sistema estructural de tipo dual. Los resultados del cálculo del índice de daño propuesto por el Ph.D. Mario Rodríguez indican que aun considerando el efecto conjunto de los sismos de 1985 y 2017, las edificaciones con sistema dual no tienen potencial de colapso, lo que también es congruente con la ausencia de colapsos de edificaciones de esta tipología relacionados con el sismo del 19S de 2017.



la responsabilidad de aportarle a la sociedad, generando mecanismos que motiven a evitar que se repare, rehabilite o reconstruya vulnerabilidad”.

Los esquemas colaborativos con SURA que se lograron implementar en México son básicamente unas primeras iniciativas con la academia y asociaciones profesionales, como es el caso de la UNAM, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE) y un grupo de firmas de ingeniería estructural e ingenieros estructurales, que muestran un fructífero futuro de corto y mediano plazo para avanzar en el desarrollo de conocimiento y gestión del riesgo sísmico en México.

Un punto para trabajar en el plan postsismo de SURA es lograr un mejor esquema de colaboración con los esfuerzos del Gobierno y otras instituciones del país. Para SURA es claro que cuando se presenta un desastre de cualquier tipo, es un desafío para la sociedad integralmente, donde los esfuerzos conjuntos público-privado siempre deberán orientarse al bien común.

Consideraciones sobre normativa de construcción sismo resistente en México

La evolución de la norma sísmica en México revela aspectos positivos del desempeño sísmico de las edificaciones en el país, que muestran los resultados de aprendizajes llevados a la práctica desde 1985. Como lo expresa el Ph.D. Mario Rodríguez, después del sismo de 1985, la normativa por sismo en la Ciudad de México cambió respecto a la existente en esa época, requiriendo más resistencia y rigidez lateral en las edificaciones, lo cual es un factor adicional para interpretar el mejor comportamiento de las edificaciones en el sismo del 19S del 2017 respecto al observado en edificaciones en el sismo del 19S de 1985.

La actualización de la norma sísmica para la Ciudad de México incluye detalles de la respuesta estimada del suelo para fines de diseño sísmico propio de cada sitio, para lo cual los diseñadores acceden al Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), tal como lo explica el ingeniero Francisco García Álvarez, presidente actual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE). Las disposiciones publicadas en diciembre de 2017, que modifican el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, incluyen normas para la rehabilitación sísmica de edificios de concreto dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017.

Teniendo en cuenta los casos de las edificaciones que sufrieron colapsos o daños mayores en el sismo del 19S de 2017, y que no habían tenido daños considerables en el sismo del 19S de 1985, el Ph.D. Mario Rodríguez, sugiere que para una mejor interpretación de la vulnerabilidad de estructuras se debe considerar el efecto de daño acumulado cuando las estructuras experimentan más de un sismo fuerte durante su vida útil. El Ph.D. Rodríguez ha venido trabajando hace varios años en la UNAM en

El mejoramiento progresivo que ha tenido el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México hasta hoy, ha sido el resultado de la integración de los avances en el monitoreo e instrumentación sísmica, y el desarrollo de conocimientos acerca de la respuesta sísmica de los suelos y el desempeño de edificaciones, que muestran un camino recorrido muy valioso encauzado hacia la resiliencia.

investigaciones de un índice de daño, con el cual hizo validaciones a partir de datos reales del sismo del 19S de 2017, que muestran un camino promisorio para avanzar en metodologías complementarias para el análisis del desempeño sísmico esperado de edificaciones (Rodríguez, 2017).

El comportamiento sísmico de elementos no estructurales y su interacción con la estructura de la edificación constituye un aspecto fundamental para el desempeño sísmico y la funcionalidad de las edificaciones luego de este tipo de eventos. La evaluación de los elementos no estructurales debe considerar no solo los materiales utilizados y sistemas constructivos, sino también la importancia de integrar a los arquitectos en los equipos de los proyectos de construcción y rehabilitación de edificaciones.

Gran cantidad de especialistas en ingeniería estructural en México, dentro de los que se destaca el Ph.D. Luis Esteva, profesor honoris causa de la UNAM, coinciden en plantear que soluciones estructurales innovadoras de protección sísmica, como aislamiento y disipación sísmica, pueden ser muy útiles y eficientes en la rehabilitación sísmica de estructuras esenciales y de atención a la comunidad, que hayan sido afectadas o no por los sismos de septiembre de 2017, dada la gran importancia de mantener sus operaciones después de un sismo.

Los aprendizajes de los sismos del 7S y 19S en México deberían ser considerados en las actualizaciones de las normas y en el mejoramiento de mecanismos de control de la calidad de la construcción en los diferentes países de América Latina. Muchos países de la región comparten similitudes con México en condiciones de amenaza sísmica, tipologías estructurales y prácticas constructivas. El gran legado y la responsabilidad que nos dejan los sismos, es llevar sus aprendizajes a la práctica con responsabilidad y convicción de que la resiliencia sísmica es un desafío alcanzable para nuestras sociedades.

FUENTES

Francisco García Álvarez

Ingeniero Civil, M.Sc. en ingeniería. Presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Pertenece a la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, al Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Earthquake Engineering Research Institute. Ha realizado publicaciones en congresos y revistas técnicas y fue el director del Centro de Crisis que se montó en conjunto SMIE-CICIM para las brigadas de inspección después del sismo del 19 de septiembre de 2017.

Gloria María Estrada Álvarez

Ingeniera Civil, especialista en ingeniería ambiental, especialista y M.Sc. en Ingeniería Sísmica Resistente. Gerente de Geociencias de Suramericana. Ha trabajado en el desarrollo y coordinación de estudios e investigaciones de ingeniería sísmica, dinámica de suelos y riesgo sísmico. Ha publicado más de 20 artículos técnicos en el área de ingeniería sísmica.

Mario Rodríguez Rodríguez

Ingeniero Civil, M.Sc. y Ph.D. en estructuras, investigador de tiempo completo del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Su trabajo de investigación realizado con el Profesor José Restrepo de UCSD, ha sido la base de la nueva sección 12.10 de la normativa en Estados Unidos ASCE/SEI 7-16 (2016) *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Ha sido autor de las modificaciones en 2016-2017 del diseño por sismo de diafragmas en edificios de la Norma Técnica Complementaria por Sismo de la Ciudad de México de 2017; es Perito en Seguridad Estructural y profesor del curso de Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto en el Posgrado de Ingeniería de la facultad de Ingeniería de la UNAM; así mismo, ha dictado cursos de actualización para ingenieros en seguridad estructural en México, Perú, Colombia y Chile. Participó en la evaluación de daños de los terremotos de Chile 1985, México 1985, Japón 1995 y 2010, Perú 2007, Mexicali 2010, Chile 2010, y Ciudad de México 2017. Es miembro con voto del Comité principal ACI 318 del American Concrete Institute International (ACI), que elabora el Reglamento para Concreto Estructural ACI 318, así como de varios comités técnicos del ACI. Es presidente de la empresa MR Ingenieros Consultores en Estructuras, fundada en 2005.

REFERENCIAS

- Administración Pública de la Ciudad de México (2017). *Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Gaceta Oficial de la Ciudad de México. Ciudad de México.
- Administración Pública del Distrito Federal (2004). *Acuerdo por el que se dan a conocer las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de Distrito Federal*. Gaceta Oficial de la Ciudad de México. Ciudad de México.
- Colegio de Ingenieros Civiles de México (2017). *¿Qué ocurrió el 19 de septiembre? IC Ingeniería Civil*. Año LXVI. Número 580. Ciudad de México.
- Esteva, L. (2017). *La ingeniería sísmica en México: Retos y Tendencias*. Conferencia magistral, Salón de seminarios Emilio Rosenblueth, Instituto de Ingeniería UNAM. Ciudad de México.
- Esteva, L. (1988). *The Mexico Earthquake of September 19, 1985 – Consequences, Lessons, and Impact on Research and Practice*. Earthquake Spectra. EERI. California, USA.
- Miranda, E. et al. (2017). *Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake*. John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil and Environmental Engineering. Stanford University. California, USA.
- Rodríguez, M. (2017). *Interpretación de los daños y colapsos en edificaciones observados en la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre de 2017*. Instituto de Ingeniería UNAM. Ciudad de México.
- Servicio Sismológico Nacional – SSN México (2017). *Sismo del día 19 de septiembre de 2017 Puebla-Morelos (M 7.1)*. Reporte Especial Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional. Universidad Autónoma de México UNAM.

La revista Geociencias Sura cuenta con un equipo de trabajo especializado que apoya las actividades de redacción, edición y diseño, conformado por fuentes internas de Suramericana e investigadores externos reconocidos mundialmente, en los temas de las interrelaciones de la naturaleza con los diferentes aspectos estratégicos de las empresas y la sociedad.

FUENTES INTERNAS

Gloria María Estrada Álvarez

Gerente de Geociencias Suramericana S.A.

Equipo de Geociencias Suramericana S.A.

Ana María Cortés Zapata
Elizabeth Cardona Rendón
Esteban Herrera Estrada
Juan David Rendón Bedoya
Juan Pablo Restrepo Saldarriaga
Santiago Victoria Domínguez
Víctor Hugo Ángel Marulanda
Victoria Luz González Pérez

DISEÑO Y EDICIÓN

Taller de Edición S.A.

Dirección

Adelaida del Corral Suescún

Edición

Andrés Cadavid Quintero

Diseño

Verónica Sánchez Cuartas

Imágenes

Shutterstock, Taller de Edición,
Hugo León Aguilar Ramírez, Suramericana S.A.

Impresión

Litografía Francisco Jaramillo V.

FUENTES EXTERNAS

Álvaro Pérez Arango

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia; M.Sc. en Dinámica Estructural e Ingeniería Sísmica del Instituto Técnico de Karlsruhe, Alemania. Actualmente se desempeña como gerente de la firma Álvaro Pérez Arango y Cía. Ltda.

David Jacobson

Licenciado en Ciencias Geológicas de Whitman College en Walla Walla, Washington y M.Sc. en Geología de la Universidad de Canterbury, en Christchurch, Nueva Zelanda.

Francisco García Álvarez

Ingeniero Civil; M.Sc. en Ingeniería; Presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Ha realizado publicaciones en congresos y revistas técnicas y fue el director del Centro de Crisis que se montó en conjunto SMIE-CICIM para las brigadas de inspección después el sismo del 19 de septiembre de 2017.

Francisco García Jarque

Ingeniero Civil; M.Sc. en Ingeniería. Pertenece al Comité Evaluador de Peritos Profesionales en Seguridad Estructural del Colegio de Ingenieros Civiles de México y al Comité de Corresponsables en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal.

Juan Diego Jaramillo Fernández

Ingeniero Civil; M.Sc. en Ingeniería Sismo Resistente y Dr. en Ingeniería. Ha recibido reconocimientos académicos. Profesor del departamento de estructuras de la Universidad EAFIT. Ha trabajado en numerosos proyectos de investigación y publicaciones en revistas científicas.

Mario Rodríguez Rodríguez

Ingeniero Civil; M.Sc. y Ph.D. en estructuras, investigador de tiempo completo del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Participó en la evaluación de daños de los terremotos de Chile 1985, México 1985, Japón 1995 y 2010, Perú 2007, Mexicali 2010, Chile 2010, y Ciudad de México 2017.

Roberto Rochel Awad

Ingeniero Civil; M.Sc. en Estructuras; Profesor Emérito de la Universidad EAFIT. Autor de de los libros: *Diseño sísmico de edificios* y *Diseño de concreto reforzado*.

Ross S. Stein

Ross S. Stein es CEO de Temblor.net; Profesor de Geofísica de la Universidad de Stanford; Científico Emérito del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS); Presidente de la sección de Tectonofísica de la Unión Americana de Geofísica (AGU), y conferencista magistral de la Sociedad Geológica de América (GSA) durante el período 2017-2018.

LA NATURALEZA,

FACTOR CLAVE EN LA GESTIÓN DE TENDENCIAS Y RIESGOS



LUIS NISHIZAWA - Paisaje, barranca y peñas. 1950 - Óleo sobre madera - Colección SURA

Este paisaje mexicano es una de las 900 obras de arte que hacen parte de la Colección SURA, la cual se inició en 1972 y es hoy considerada como una de las más representativas de Latinoamérica, contribuyendo al apoyo y conservación del patrimonio artístico y cultural de las comunidades.

SURA siente el arte,
vive la cultura