

Capítulo III

¿Qué es la sismología?

El término sismología proviene de dos palabras griegas *seismos*, agitación o movimiento rápido, y *logos*, ciencia o tratado. El fenómeno de los terremotos se designaba en griego por *o seismos tes ges*, que se tradujo al latín por *terrae motus*, de donde se deriva la palabra española. Sismología significa, por lo tanto, la ciencia de la agitación, sobrentendiéndose de la tierra o ciencia de los terremotos. El término mismo de sismología se empezó a utilizar hacia mediados del siglo XIX y ha pasado a todas las lenguas. Anteriormente, se usaban otras expresiones tales como tratado o estudios de los terremotos.

El gran terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755 que causó la destrucción de esta ciudad, produjo un gran maremoto o *tsunami* y fue sentido a grandes distancias, constituye el punto de partida de la sismología moderna. J. Michell, en 1760, es el primero en asociar la agitación de los terremotos con la propagación de ondas elásticas en la tierra. Esta idea fue desarrollada por T. Young en 1807 y J. Milne en 1841. Las descripciones de los daños causados por grandes terremotos y la recopilación de catálogos de terremotos se remontan a la antigüedad. Entre los primeros catálogos de terremotos de todo el mundo están los compuestos por J. Zahn en 1696 y J.J. Moreira de Mendonça en 1758. Los catálogos modernos se inician hacia 1850 con los trabajos de R. Mallet y A. Perrey.

R. Mallet con su estudio del terremoto de Nápoles de 1857 puso las bases de la sismología moderna. Desarrolló la teoría del foco sísmico a partir del cual se propagan las ondas en todas las direcciones y relacionó la ocurrencia de los terremotos con la ruptura del material de la corteza terrestre. Geólogos como C. Lyell y E. Suess relacionaron

los terremotos con las fallas y, a principios de este siglo, F. Montessus de Ballore y A. Sieberg asignaron la causa de los terremotos a los procesos tectónicos y contribuyeron a muchos aspectos de la sismología. A partir de esta época comienzan los primeros estudios de la propagación de ondas sísmicas en el interior de la tierra, debidos a R. D. Oldham, K. Zöppritz y E. Wiechert y los primeros modelos de su interior, basado en datos sísmicos propuestos por B. Gutenberg, en 1914, H. Jeffreys y K. Bullen, en 1930, y J. Macelwane, en 1939. Los primeros instrumentos de observación de las ondas sísmicas, basados en la oscilación de un péndulo se empiezan a utilizar hacia mediados del siglo XIX y, a finales, los primeros sismógrafos con registro continuo. Entre los primeros nombres asociados al desarrollo de la instrumentación sísmica están J. Milne y F. Omori con el péndulo inclinado, E. Wiechert con el péndulo invertido, B.B. Galitzin con el sismógrafo electromagnético y H. Benioff con el de reluctancia variable.

Desde 1940 hasta nuestros días, la sismología ha experimentado un rápido desarrollo. Este desarrollo se puede dividir en dos grandes apartados, el primero estudia los mecanismos de la generación de los terremotos y el segundo la naturaleza de la propagación de las ondas sísmicas en la tierra. En ambos casos, el desarrollo comprende los aspectos teóricos y de observación. En cuanto al mecanismo de los terremotos, los modelos han evolucionado desde los modelos simples de focos puntuales a los que representan el fenómeno complejo de la fractura del material de la corteza terrestre. En la propagación de ondas sísmicas en la tierra, tanto internas como superficiales, a los modelos sencillos de capas de velocidad constante o con variación de la velocidad con la profundidad, han sucedido los modelos heterogéneos en tres dimensiones con atenuación y anisotropía. Estas consideraciones permiten hoy establecer modelos realistas del interior de la tierra en tres dimensiones, deducidos de las observaciones sísmicas, las cuales han progresado con el desarrollo de la instrumentación que ha pasado de los sis-

mómetros mecánicos con registro analógico, a los de banda ancha con amplificación electrónica y registro digital que permiten con un mismo instrumento registrar un espectro amplio de frecuencias (tomado de Fundamentos de Sismología de Agustín Udías Vallina y Julio Mezcua Rodríguez).

El Sismógrafo: sensibilidad y precisión

Los sismógrafos son instrumentos diseñados para captar y registrar el movimiento producido por un sismo, a objeto de transformarlo en un registro gráfico. Fueron ideados a finales del siglo XIX y con el paso del tiempo se han ido perfeccionando, al punto de contarse hoy en día con equipos altamente sofisticados.

El sismógrafo más viejo del que se tiene conocimiento en Venezuela es el *Sismógrafo Wiecher* (Fig. 26), el cual conjugaba los sistemas de detección y de registro en un mismo bloque. Dicho sismógrafo tenía un péndulo que pesaba 20 toneladas. Con el avance de la tecnología se fueron diseñando equipos más livianos y modernos, que solamente detectaban el sismo dejando el registro del mismo a otro aparato, que amplificaba la señal para poder observarla y analizarla. Fue así como nació el **sismómetro**, el cual, como ya hemos dicho, cumple una única función: la detección. Una ventaja adicional de los nuevos aparatos es que se podían movilizar, lo que era francamente impensable con el tonelaje del Wiechert, además su radio de acción es mayor, pudiendo detectar la microsismicidad y señales de otros eventos que se pudieran dar más allá de nuestra plataforma continental y en los países vecinos.

El pasar de un modelo a otro, aparte de significar un enorme adelanto tecnológico, permitió empezar a manejar el concepto de *estaciones en red*, aspecto importante porque permite una mayor cobertura de la actividad sísmica que se produce en el país.

Luego aparecieron otros sismómetros más modernos como el S-13 y el Ranger (Figs. 27 y 28), así como otros

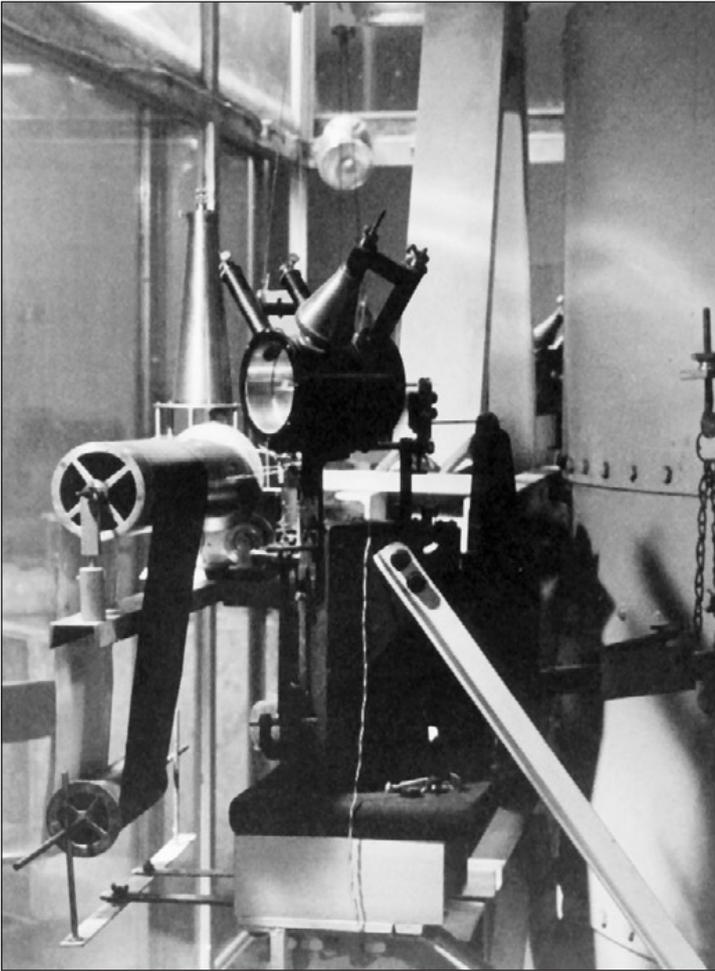


Fig. 26. El sismógrafo Wiechert se encuentra actualmente en el Observatorio Cagigal de Caracas, donde se inició el estudio de la actividad sísmica en Venezuela.

modelos, cada uno mejorado en relación al anterior o al de la competencia. Hoy en día, se cuenta con instrumentos de banda ancha (como el CMG-T40), que permiten mejorar la medición sísmológica al estar integrados por componentes electrónicos que aseguran la captación del evento en tiempo



Figs. 27 y 28. A la izquierda un modelo de sismómetro corto período S-13. A la derecha el sismómetro marca Ranger. Ambos instrumentos son utilizados en la captación de la señal sísmica.



Fig. 29. Se observan dos sismómetros de banda ancha, modelo Guralp. El de la derecha se usa en las modernas estaciones satelitales.

real, son portátiles, soportan con mayor adaptabilidad los cambios climáticos y tienen un mayor rango de detección (Fig. 29). Equipos de esta naturaleza son actualmente utilizados en Funvisis, lo que contribuye a respaldar sus labores de investigación.

¿Qué es una Red de Estaciones Sismológicas?

Se le llama así al conjunto de estaciones que reportan los datos detectados por los sismómetros a una estación central para su registro y análisis. En función del área de cobertura, las redes sismológicas pueden ser:

Redes mundiales. Tienen estaciones ubicadas en casi todos los países del mundo. Este tipo de red tiene la capacidad de localizar sismos en cualquier lugar de la superficie terrestre. Actualmente Estados Unidos, Alemania, Francia, China y Austria poseen redes de cobertura mundial (fig. 30).

Redes nacionales: Son estaciones distribuidas en puntos estratégicos de cada país, con el fin de detectar cualquier tipo de actividad sísmica que se produzca.

Redes locales: Se instalan con el fin de conocer con gran precisión la ubicación de los sismos locales y las fallas que los originan. Los mapas productos de estas redes sirven para orientar la construcción de obras de infraestructura.



Fig. 30. Red Sismológica Mundial. Laboratorio Sismológico de Albuquerque USGS.

Red Sismológica de Venezuela

La Red Sismológica de Venezuela está soportada actualmente por dos subredes: la telemétrica y la satelital. Ambas subredes, así como la Red Acelerográfica Nacional, están en proceso de modernización. La Red Sismológica cuenta en los actuales momentos con 26 estaciones satelitales, localizadas en: El Llanito (Caracas), Birongo y Cúpira (Miranda), El Baúl (Cojedes), Carúpano, Güiria y Guanoco (Sucre), Villa del Rosario (Zulia), Las Mercedes del Llano (Guárico), Dabajuro, Jacura y Montecano (Falcón), Quebrada Arriba, Siquisique, Curarigua, Sanarito y Terepaima (Lara), Pariaguán (Anzoátegui), Oritupán (Monagas), Socopó (Barinas), Capacho (Táchira), Caicara (Bolívar), Turiamo (Carabobo), Río Grande (Amazonas), isla La Blanquilla, isla Los Testigos, estando previsto instalar las 9 estaciones restantes en La Orchila, Amazonas, Bolívar, Apure, Mérida, Delta Amacuro y Carabobo (ver Fig. 31).

Aparte de las estaciones satelitales, se tienen 8 estaciones asociadas a la subred Telemétrica, las cuales envían la señal sísmica modulada en VHF a la estación central de El Llanito, donde se obtienen y analizan sus respectivos

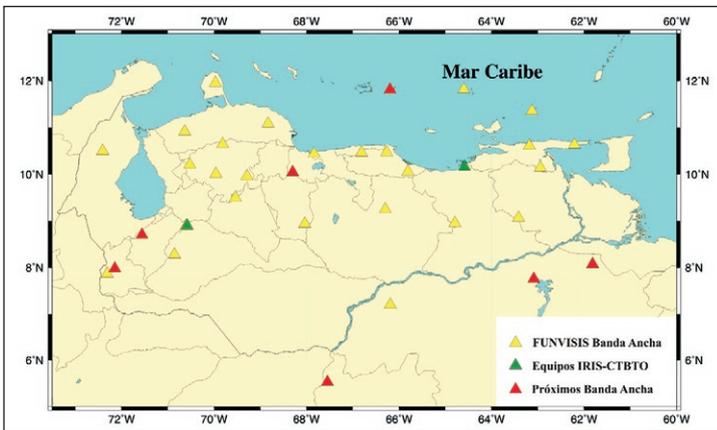


Fig. 31. Mapa de la nueva Red Sismológica Nacional Banda Ancha.

sismogramas (ver Fig. 32 y esquema del proceso de recepción de datos, Fig. 33). Esta red tiene estaciones en: Caracas (Observatorio Cagigal y El Llanito), San Juan de Los Morros (Platillón), Falcón (Morrocoy y Cerro Antonio), Aragua (Las Ollas y Guacamaya) y Cojedes (Cerro El Oso).

Funvisis también cuenta con 3 estaciones que cubren las regiones de Laguneta y El Tocuyo (estado Lara), y Santo Domingo (estado Mérida). En ellas el análisis de los sismogramas se realiza en el sitio. Esta información se envía a la estación central por vía telefónica o fax. Además, en Santo Domingo hay una estación sismológica de banda ancha, asociada a la Red Mundial IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology).

La Resvac, Red de Estaciones Sismológicas de Apertura Continental, como se conoce esta agrupación de estaciones, posee una estación central ubicada en la sede de Funvisis, en El Llanito, donde se concentra la información proveniente de todas las estaciones sismológicas para la determinación de las características del sismo: localización del hipocentro (epicentro y profundidad), magnitud, polaridad (compresión y dilatación) y fases del

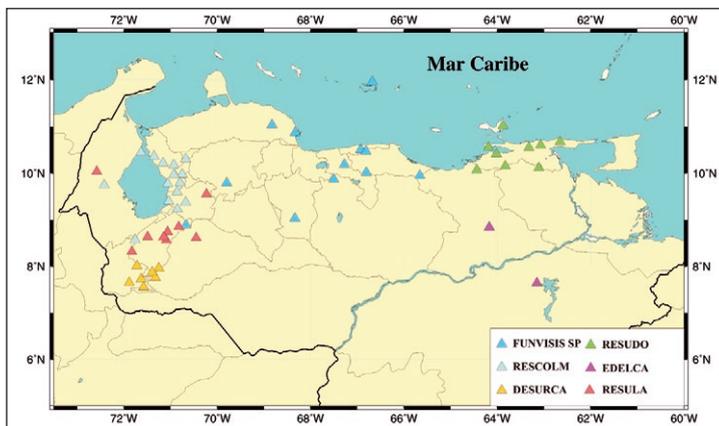


Fig. 32. Redes locales Corto Período de Venezuela

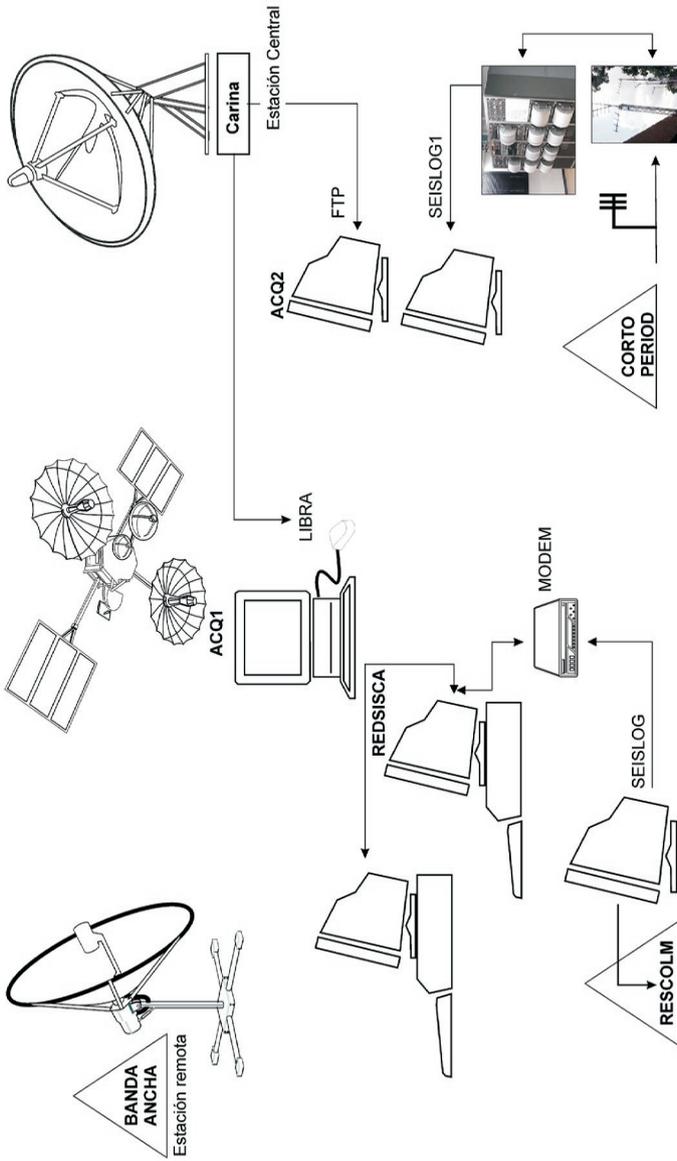


Fig. 33. Esquema del proceso para registrar las ondas sísmicas en Funvisis.



Figs. 34 y 35. A la izquierda la antena satelital de recepción en la sede central de El Llanito. A la derecha el patio de antenas de transmisión telemétrica de FUNVISIS.

sismo (impulsiva y emergente) (Figs. 34 y 35).

La Red Sismológica de Venezuela tiene otras redes locales asociadas que manejan otras instituciones, tales como: la Universidad de Los Andes, la Universidad de Oriente, Desurca, Edelca y Pdvsa.

Red Acelerográfica de Venezuela

La Red Acelerográfica de Venezuela, REDAC, es la encargada de registrar los movimientos fuertes del terreno, con la intención de estudiar tanto la aceleración con que la actividad sísmica impacta los componentes estructurales de las construcciones como el comportamiento de los perfiles geotécnicos del subsuelo. Los equipos que conforman el Plan de Expansión de la REDAC brindarán la posibilidad de interrogar vía telefónica (modem) a las estaciones sobre su funcionamiento y la información sísmica almacenada, es decir, los equipos funcionarán tal cual lo hace una computadora, lo que evidencia el desarrollo alcanzado en el registro de este tipo de eventos. Cabe señalar, que en la actualidad están funcionando 97 estaciones acelerográficas localizadas alrededor de las grandes fallas: Boconó-San

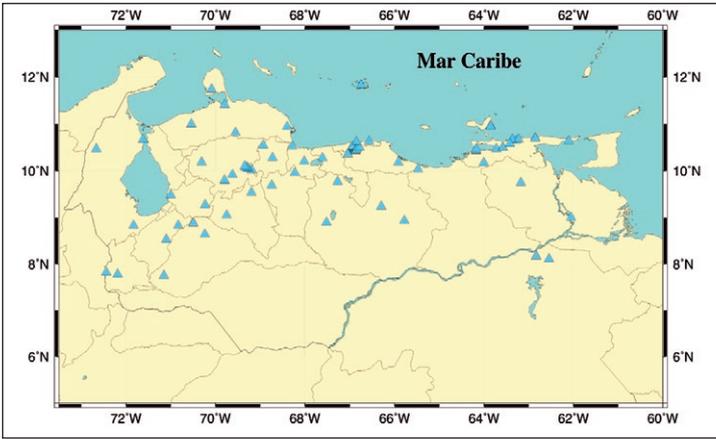


Fig. 36. Localización de las estaciones que integran la Red Acelerográfica de Venezuela. Funvisis, Departamento de Sismología.

Sebastián-El Pilar (ver Fig. 36) y que 43 estaciones adicionales se instalarán en otras importantes ciudades del interior, con lo que se alcanzará la meta propuesta: cubrir todo el país desde San Antonio del Táchira hasta Güiria y desde Machiques a Puerto Ordaz. Es importante resaltar que Funvisis tiene interés en instalar este tipo de estaciones en hospitales, escuelas, presas y otras edificaciones de interés comunitario y hacia allí está dirigiendo parte de sus esfuerzos.

Los acelerógrafos están constituidos por tres sensores denominados acelerómetros (dos horizontales y uno vertical), una batería, una unidad de almacenamiento de información, una tarjeta para comunicación vía modem, otra para el sistema de posicionamiento global (GPS), con su correspondiente antena, y un cargador externo.

¿Cómo se capta la información sísmica?

Las estaciones remotas están conectadas a una estación telemétrica central, donde se recoge la información sísmica enviada. Constan, básicamente, de los siguientes

elementos: un sismómetro, un amplificador, un oscilador controlado por voltaje (VCO), un transmisor, una unidad de alimentación (baterías, un cargador, un panel solar, un convertidor de corriente), antenas y cables conectores entre las unidades. La estación telemétrica central está dotada de receptores de VHF, discriminadores, amplificadores-atenuadores, registradores y un reloj.

En la estación remota el sismómetro traduce el movimiento del suelo en variaciones de voltaje, y a través de un oscilador (VCO) transforma los cambios de voltaje en cambios de frecuencia, que son enviados a la estación central por medio de un transmisor.

En la estación central el proceso se revierte. Allí la señal captada por la antena del receptor es convertida en voltaje por los discriminadores, después la señal sísmica es mezclada con la señal del reloj dentro del amplificador-atenuador y pasa al registrador, donde es transformada en movimiento mecánico por una aguja termosensitiva que hace un trazo continuo en el papel de registro, obteniéndose por este proceso el sismograma respectivo.

En la red satelital el procedimiento es como sigue: el sismómetro capta el movimiento del suelo y mediante sus componentes electrónicos lo envía a un digitalizador, el cual codifica las señales en valores binarios y la manda a través de la guía de ondas y la parabólica al satélite, de donde rebota a la antena parabólica central de recepción localizada en Funvisis. En la Fundación esta señal es decodificada y enrutada a la central de adquisición donde se visualiza la información sísmica.



Fig. 37. Acelerógrafo usado en la Red Nacional Acelerográfica.



Fig.38. Tanquilla de alimentación de una estación remota.



Fig. 39. Estación sismológica satelital y Registradores.

mica recibida desde las estaciones en tiempo real. Las Figuras 37, 38 y 39 ilustran parte del proceso.

Localización y cuantificación de los sismos

Localizar un sismo significa saber su ubicación geográfica y la profundidad a la cual se produjo. Los sismos se localizan a partir del tiempo que tardan las ondas en viajar desde el foco o hipocentro hasta el sismógrafo.

El lugar donde se produce un sismo se llama foco, su proyección sobre la superficie terrestre recibe el nombre de epicentro y la distancia entre el epicentro y la estación sismológica es la distancia epicentral.

El sismógrafo amplifica e inscribe los movimientos del suelo en una banda de papel (Fig. 40) o los envía como señal digital a un computador donde se analiza, dando como resultado la localización del sismo, su magnitud y tiempo de origen, entre otros factores.

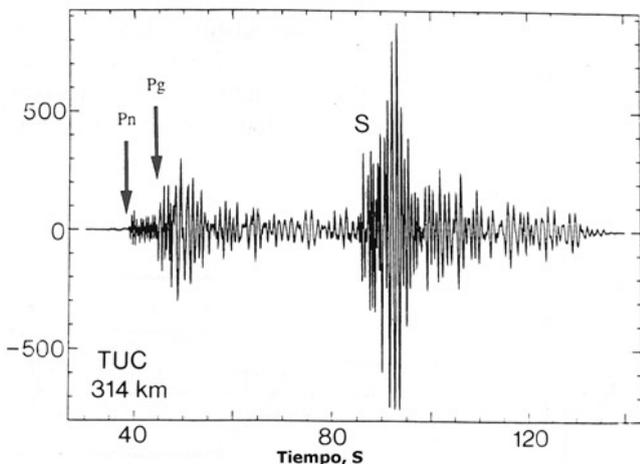


Fig. 40. El presente sismograma recoge un registro sísmico. Se puede observar la amplitud y tiempos de arribo de las ondas.

Cálculo del epicentro de un sismo

La ubicación del epicentro de un sismo se realiza analizando, al menos, los sismogramas de 4 estaciones e identificando los diferentes tiempos de llegada de las ondas a cada estación sismológica. Como la velocidad de las ondas P es mayor que la de las ondas S y ambas se generan en el mismo punto (foco), el tiempo de arribo de cada onda a las estaciones sismológicas sirve para calcular el lugar de origen del sismo (Fig. 41).

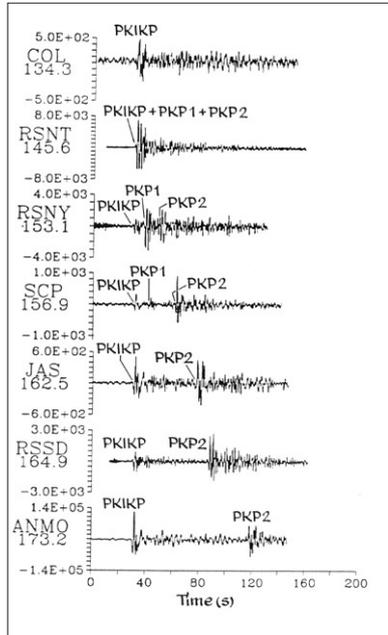


Fig.41. Diferentes registros del arribo de un sismo.

Una estación sismológica proporciona la distancia del epicentro pero no su dirección, de allí la importancia de determinar con exactitud el foco. En el pasado, la localización epicentral se realizaba de la siguiente manera: ocurría un sismo en la falla de Boconó, por ejemplo, y era registrado por las estaciones de El Tocuyo (TOV), Santo Domingo (SDV), Cerro El Oso (CEOS) y Cerro Antonio (CANV), con esta información se determinaba la distancia epicentral de cada estación, tomando como referencia la diferencia entre el tiempo de llegada de las ondas P y S luego, utilizando un mapa del área y un compás, se dibujaban cuatro arcos de circunferencia, tomando como centro las estaciones mencionadas y la zona donde los arcos se interceptaban determinaba el lugar, aproximado, de localización del epicentro (Fig. 42).

En la actualidad, Funvisis utiliza varios programas de

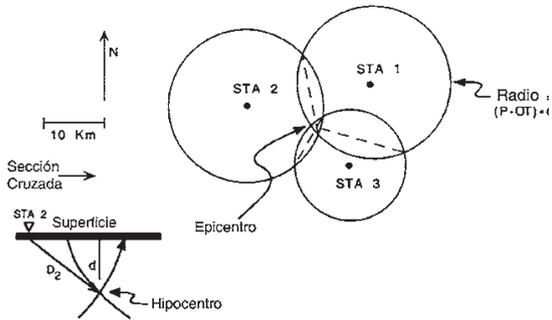


Fig. 42. Ejemplo del cálculo epicentral de un sismo.

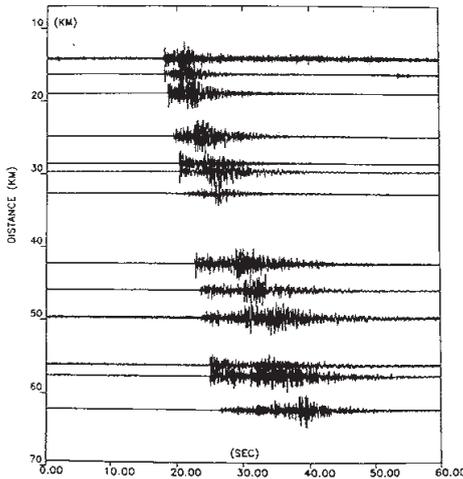


Fig.43. Sismograma digital obtenido en Funvisis.

computación para ubicar el epicentro de un sismo, requiriendo como datos fundamentales el tiempo de llegada de las ondas P y S de, por lo menos, cuatro estaciones sismológicas y el modelo de corteza terrestre de la región (profundidades y velocidades de las capas que la conforman). Como resultado se obtiene la ubicación geográfica, la

profundidad y la hora en la cual ocurrió el evento (Fig.43).

Magnitud

Mide la energía liberada y se expresa en la amplitud de las ondas sísmicas. El proceso de medición de la magnitud de un sismo ha pasado por diferentes etapas. En un primer momento la escala (M_L) utilizada fue la de Richter (quien en 1930 introdujo el concepto de magnitud), pero la misma fue diseñada para medir los terremotos de California y resultó poco práctica para las realidades de otros países. Posteriormente, se extendió el concepto de magnitud y se crearon otros métodos para su estudio, tales como el de Magnitud por Ondas Superficiales (M_s), Magnitud por Ondas de Cuerpo (M_b), Magnitud por Momento Sísmico (M_w) y Magnitud por Coda o duración (M_c). Los últimos dos sistemas son los más utilizados actualmente.

M_L Magnitud Local (Richter)	$M_L = \log A - \log A_0$
M_s Magnitud por Ondas Superficiales	$M_s = \log A/T + \log D + 3.3$
M_b Magnitud por ondas de cuerpo(G y R)	$M_b = \log A/T + Q(D,h)$
M_w Magnitud por Momento Sísmico	$M_w = (2/3)\log M_0 - 10.7$
M_c Magnitud de Coda	$M_c = -3.0 + 2.6 \log (T) + 0.001 D$

Intensidad de un sismo

La intensidad es una medida subjetiva de los daños ocasionados por un sismo sobre la población, las construcciones y la naturaleza misma. En 1902, Mercalli propuso una tabla de escala de intensidad, posteriormente modificada por Wood y Neumann en 1931. Esta escala es la más usada en América, mientras que en Europa se utiliza la MSK (por Medvedev, Sponhouer y Karnik). Ambas constan de 12 niveles.

**Charles Francis Richter
(1900-1985)**

Sismólogo estadounidense que estableció, junto con el germano-estadounidense Beno Gutenberg, también sismólogo, una escala para medir los terremotos.

Nació en Ohio, pero se trasladó a Los Ángeles siendo niño. Estudió en la Universidad de Stanford. En 1928 empezó a trabajar en su doctorado en física teórica en el Instituto de Tecnología de California (Caltech), pero antes de terminar recibió una oferta para trabajar en el Carnegie Institute de Washington. Fue entonces cuando empezó a interesarse por la sismología. Más adelante, trabajó en el nuevo Laboratorio de Sismología de Pasadena, bajo la dirección de Beno Gutenberg. En 1932 Richter y Gutenberg desarrollaron una escala para medir la magnitud de los terremotos, llamada escala de

Richter. En 1937 volvió al Caltech, donde desarrolló toda su carrera posterior.

Richter y Gutenberg también trabajaron en la localización y catalogación de los grandes terremotos y los utilizaron para estudiar el interior profundo de la Tierra. Juntos escribieron un manual muy importante, publicado en 1954, llamado *Seismicity of the Earth (Sismicidad de la Tierra)*. Richter escribió otros textos fundamentales de sismología: en 1958 publicó el manual *Elementary Seismology (Sismología elemental)*, considerado por muchos como su principal contribución en ese campo.

Participó también en programas de concientización ciudadana y en cuestiones de seguridad relacionadas con los terremotos, adoptando siempre una postura sensata y tratando de no infundir miedo.

**Giuseppe Mercalli
(1850-1914)**

Sismólogo y vulcanólogo, escogió el orden sacerdotal y fue alumno del geólogo lombardo Antonio Stoppani, graduado en Ciencias Naturales, se inició en el estudio geológico de los depósitos de los glaciares de la Lombardia. Posteriormente, fue profesor de Geología y Mineralogía en la Universidad de Catania, enseñó Vulcanología y Sismología en la Universidad de Nápoles.

En 1911 es nombrado director del Observatorio Vesuviano. Entre sus numerosos estudios de sismología y vulcanología tenemos

la monografía los volcanes activos de la tierra (1889) y sus estudios sobre los terremotos de Casamicciola (1883), de la Isla Pontine (1892) y de Messina (1908).

La escala de Mercalli fue desarrollada en el siglo XIX. Es una escala subjetiva, porque evalúa la percepción humana del sismo. Sirve para recolectar información en zonas donde no existen aparatos detectores, o instrumentos de medición. Se basa en lo que sintieron las personas que vivieron el sismo, o en los daños ocasionados. Cuando se utiliza esta escala, se habla de grados de intensidad.

Escala modificada de Mercalli

INT.*	EFFECTOS
I	La sacudida no es percibida por los sentidos humanos, siendo detectada y registrada solamente por los sismógrafos.
II	La sacudida es perceptible solamente por algunas personas en reposo, en particular en los pisos superiores de los edificios.
III	La sacudida es percibida por algunas personas en el interior de los edificios y solo en circunstancias muy favorables en el exterior de los mismos. La vibración percibida es semejante a la causada por el paso de un camión ligero. Observadores muy atentos pueden notar ligeros balanceos de objetos colgados, más acentuados en los pisos altos de los edificios.
IV	El sismo es percibido por personas en el interior de los edificios y por algunas en el exterior. Algunas personas se despiertan, pero nadie se atemoriza. La vibración es comparable a la producida por el paso de un camión pesado con carga. Las ventanas, puertas y vajillas vibran. Los pisos y muros producen chasquidos. El mobiliario comienza a moverse. Los líquidos contenidos en recipientes abiertos se agitan ligeramente.
V	El sismo es percibido en el interior de los edificios por la mayoría de las personas y por muchas en el exterior. Muchas personas que duermen se despiertan y algunas huyen. Los animales se ponen nerviosos. Las construcciones se agitan con una vibración general. Los objetos colgados se balancean ampliamente. Los cuadros golpean sobre los muros o son lanzados fuera de su emplazamiento. En algunos casos los relojes de péndulo se paran. Los objetos ligeros se desplazan o vuelcan. Las puertas o ventanas abiertas batan con violencia. Se vierten en pequeña cantidad los líquidos contenidos en recipientes abiertos y llenos. La vibración se siente en la construcción como la producida por un objeto pesado arrastrándose.

(*) Intensidad

INT. EFECTOS

- VI** Lo siente la mayoría de las personas, tanto dentro como fuera de los edificios. Muchas personas salen a la calle atemorizadas. Algunas personas llegan a perder el equilibrio. Los animales domésticos huyen de los establos. En algunas ocasiones, la vajilla y la cristalería se rompen, los libros caen de sus estantes, los cuadros se mueven y los objetos inestables vuelcan. Los muebles pesados pueden llegar a moverse. Las campanas pequeñas de torres y campanarios pueden sonar.
- VII** La mayoría de las personas se aterroriza y corre a la calle. Muchas tienen dificultad para mantenerse en pie. Las vibraciones son sentidas por personas que conducen automóviles. Suenan las campanas grandes. En algunos casos, se producen deslizamientos en las carreteras que transcurren sobre laderas con pendientes acusadas; se producen daños en las juntas de las canalizaciones y aparecen fisuras en muros de piedra. Se aprecia oleaje en las lagunas y el agua se enturbia por remoción del fango. Cambia el nivel de agua de los pozos y el caudal de los manantiales. En algunos casos, vuelven a manar manantiales que estaban secos y se secan otros que manaban. En ciertos caos se producen derrames en taludes de arena o de grava.
- VIII** Miedo y pánico general, incluso en las personas que conducen automóviles. En algunos casos se desgajan las ramas de los árboles. Los muebles, incluso los pesados, se desplazan o vuelcan. Las lámparas colgadas sufren daños parciales. Pequeños deslizamientos en las laderas de los barrancos y en las trincheras y terraplenes con pendientes pronunciadas. Grietas en el suelo de varios centímetros de ancho. Se enturbia el agua de los lagos. Aparecen nuevos manantiales. Vuelven a tener agua pozos secos y se secan pozos existentes. En muchos casos cambia el caudal y el nivel de agua de los manantiales y pozos.
- IX** Pánico general. Daños considerables en el mobiliario. Los animales corren confusamente y emiten sus soni-

INT. EFECTOS

dos peculiares. Caen monumentos y columnas. Daños considerables en depósitos de líquidos. Se rompen parcialmente las canalizaciones subterráneas. En algunos casos, los carriles del ferrocarril se curvan y las carreteras quedan fuera de servicio. Se observa con frecuencia que se producen extrusiones de agua, arena y fango en los terrenos saturados. Se abren grietas en el terreno de hasta 10 centímetros de ancho y de más de 10 centímetros en las laderas y en las márgenes de los ríos. Aparecen además, numerosas grietas pequeñas en el suelo. Desprendimientos de rocas y aludes. Muchos deslizamientos de tierras. Grandes olas en lagos y embalses. Se renuevan pozos secos y se secan otros existentes.

X Daños peligrosos en presas; daños serios en puentes. Los carriles de las vías férreas se desvían y a veces se ondulan. Las canalizaciones subterráneas son retorcidas o rotas. El pavimento de las calles y el asfalto forman grandes ondulaciones. Grietas en el suelo de algunos decímetros de ancho que pueden llegar a un metro. Se producen anchas grietas paralelamente a los cursos de los ríos. Deslizamientos de tierras sueltas en las laderas con fuertes pendientes. En los ribazos de los ríos y en las laderas escarpadas se producen considerables deslizamientos. Desplazamientos de arenas y fangos en las zonas litorales. Cambio del nivel de agua en los pozos. El agua de canales y ríos es lanzado fuera de su cauce normal. Se forman nuevos lagos.

XI Daños importantes en construcciones, incluso en las bien realizadas, en puentes, presas y líneas de ferrocarril. Las carreteras importantes quedan fuera de servicio. Las canalizaciones subterráneas quedan destruidas. El terreno queda considerablemente deformado tanto por desplazamientos de terrenos y caídas de rocas. Para determinar la intensidad de las sacudidas sísmicas se precisan investigaciones especiales.

INT. EFECTOS

XII Prácticamente se destruyen o quedan gravemente dañadas todas las estructuras, incluso las subterráneas. La topografía cambia. Grandes grietas en el terreno con importantes desplazamientos horizontales y verticales. Caída de rocas y hundimientos en los escarpes de los valles, producidas en vastas extensiones. Se cierran valles y se transforman en lagos. Aparecen cascadas y se desvían los ríos.

Capítulo IV

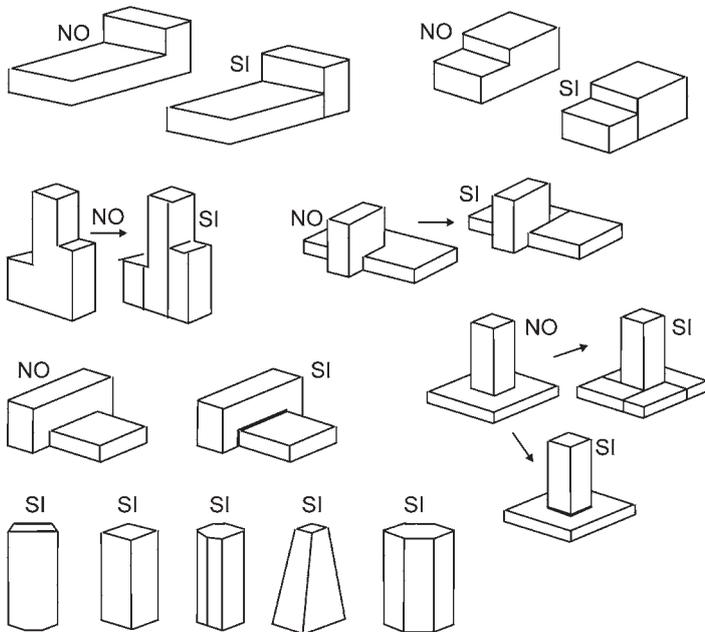
Ingeniería Sismorresistente

Se puede decir que la ingeniería sismorresistente floreció en Venezuela después del terremoto de Caracas en 1967, donde, por fallas estructurales, edificios de reciente construcción para la época se derrumbaron. Hoy se puede hablar de un desarrollo sostenido de la actividad, siendo cada día más importante el aporte que recibe el sector de la construcción de esta disciplina, sobre la cual descansa la responsabilidad de establecer los parámetros que se deben seguir para el levantamiento de una construcción, sea cuál sea la naturaleza y uso de la misma, así como la proporción correcta de los materiales a utilizar.

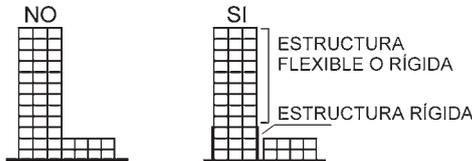
El avance tecnológico también se ha hecho presente en el terreno de la ingeniería sismorresistente, la cual desechó el Coeficiente de Mayoración de Cargas como el único elemento a considerar a la hora de diseñar una estructura por otro concepto donde, además de estar presente este Coeficiente, se toma en cuenta la forma de la (s) estructura (s) con sus diferentes líneas de resistencia y otros elementos que la ayudan a que se comporte mejor.

Disposición geométrica de un edificio y efectos sobre la sismorresistencia

Son varios los elementos a considerar a la hora de evaluar la composición geométrica de una edificación: La simplicidad, la simetría de volúmenes, la resistencia determinada por la forma, la disposición de los elementos estructurales y la sismorresistencia, elementos que le confieren un comportamiento homogéneo a la edificación ante la posible ocurrencia de un sismo; de allí que durante la etapa de diseño se debe procurar que la forma geométrica de la construcción se enmarque dentro de estos parámetros (Fig. 44).



A) CONFIGURACIONES CORRECTAS E INCORRECTAS



B) PRINCIPIO DE FRACCIONAMIENTOS EN VOLÚMENES SIMPLES

Fig. 44. Configuraciones de estructuras correctas e incorrectas.

Simplicidad. Es necesario proyectar diseños sencillos que faciliten la distribución equilibrada de los elementos estructurales, evitando en lo posible formas irregulares.

Simetría. El diseño en planta establece una ubicación de las diferentes partes del edificio, de tal forma que sus volúmenes deben ubicarse de forma equilibrada respecto de los dos ejes que la cruzan.

Forma La forma volumétrica más recomendable en construcción es la **Regular**, en la cual el volumen general del edificio se muestra compacto, sin irregularidades en su conformación geométrica, sin salientes o protuberancias; en fin, muestra una forma regular que lo habilita para resistir los efectos dañinos que un sismo le pudiera causar si su forma fuera diferente. La figura 45 da una idea del diseño que debe prevalecer a la hora de construir edificios.

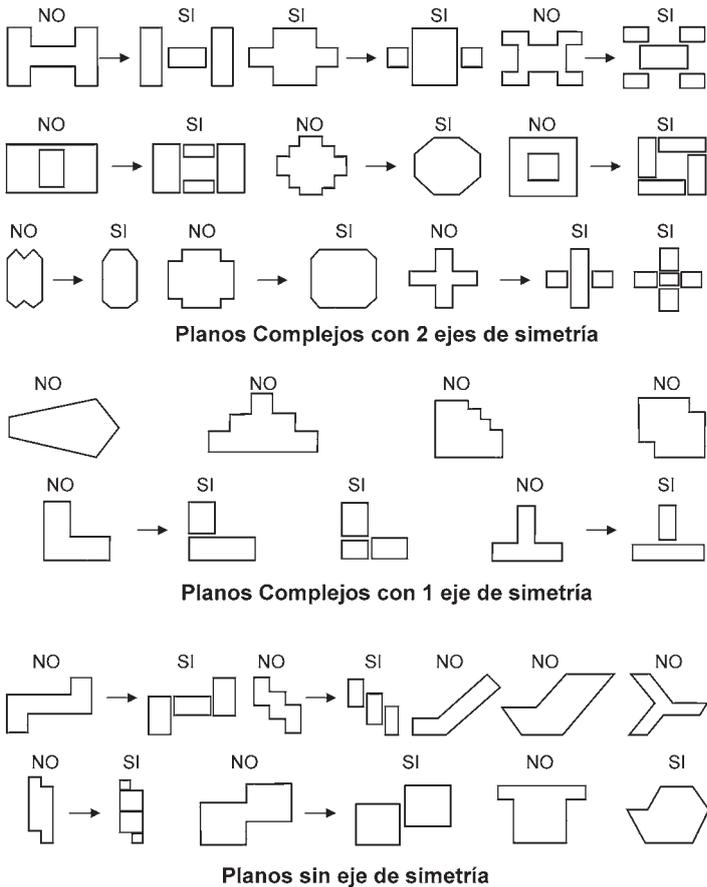


Fig. 45. Vistas de plantas regulares e irregulares.

Las formas **Irregulares** no son recomendables en la configuración geométrica general de los edificios. Es decir, edificaciones compuestas por volúmenes diferentes pero ligados unos a otros, que al ser afectados por el sismo se deforman y reaccionan de manera independiente no contribuyen al comportamiento homogéneo que es deseable y necesario para que las edificaciones respondan bien ante las fuerzas irregulares que un sismo comunica a la edificación.

Disposición de los elementos estructurales

Se debe evitar disponer todos los elementos estructurales en una misma dirección, pues si bien es cierto que la edificación resultante sería resistente a fuerzas sísmicas que se presenten en la misma dirección en que están localizados las líneas resistentes (muros y/o pórticos), resultaría sumamente débil a fuerzas que viniesen en dirección perpendicular.

Sismorresistencia

Es una propiedad o atributo del que se dota a una edificación, mediante la aplicación de técnicas de diseño acordes con su configuración geométrica, y la incorporación en su constitución física de componentes estructurales que la capacitan para resistir las fuerzas que se presentan durante un movimiento sísmico, lo que se traduce en protección de la vida de los ocupantes y de la integridad del edificio mismo.

La sismorresistencia de una edificación dependerá, en gran medida, tanto del tipo de materiales y componentes que la constituyan, como de la correcta relación entre ellos, es decir, no basta con dotar a la edificación de unos componentes resistentes, es necesario relacionarlos correctamente entre si para que toda la edificación se comporte de manera homogénea ante la presencia de fuerzas provenientes del sismo.

A continuación, se analizarán algunos aspectos fundamentales para garantizar la sismorresistencia, a partir de

las condiciones de relación entre los componentes de la edificación.

- ✓ La uniformidad: Debe ser una característica de una edificación sismorresistente y se logra cuidando que no se presente diversidad en los materiales que constituyen los componentes que desempeñan trabajos similares.

Por ejemplo, si los muros de carga son de ladrillo, no deben combinarse con otros vaciados en concreto o de otro material; si la estructura de soporte es en concreto reforzado, no deben aparecer algunos elementos de soporte en madera, metal o ladrillo; si la cubierta está constituida principalmente en madera se debe evitar combinarla con elementos metálicos para realizar el papel de vigas.

- ✓ La continuidad de la construcción sismorresistente se da en dos sentidos:
 - a. Todos los ejes de los muros o pórticos que conforman los diferentes espacios deben estar, hasta donde sea posible, alineados.
 - b. Debe conservarse la continuidad entre juntas y la unión horizontal de los elementos de mampostería a las vigas, así como la verticalidad de los muros y/o pórticos.

Norma Sismorresistente de Venezuela

Hablar de normas sismorresistentes involucra pensar en primer lugar y entre otros aspectos en mapas de zonificación sísmica y viceversa. A tal efecto, en la Norma Provisional de 1967 se incorporó como novedad el mapa de zonificación sísmica elaborado por Fiedler en 1959, a partir de la interpretación de los registros provenientes del Observatorio Cagigal. “Tal zonificación contrastaba con las Normas MOP de 1947 y 1955, pues incorporaba aspectos sismotectónicos de nuestro territorio mal conocidos y hasta ignorados por los ingenieros hasta ese momento”. Dicha norma se ha ido enriqueciendo en la medida en que han sucedido otros eventos, a instancia de las autoridades

con dominio sobre la materia o porque se ha avanzado en el conocimiento del tema. “Lo que se ha ido aprendiendo sobre sismos venezolanos, se ha sintetizado en mapas de zonificación sísmica con arreglo a tres metodologías y objetivos diferentes: delimitaciones de zonas sísmicas basadas en los efectos conocidos de sismos pasados; mapas en los cuales, además de los efectos de sismos pasados, se incorpora información tectónica y de registros sismográficos; y zonificaciones fundamentadas en modelos sismotectónicos evaluados en términos probabilísticos. Además de incorporar nuevos aspectos, técnicos y constructivos que se han ido conociendo sobre el comportamiento de las estructuras ante los sismos y que mejoran su desempeño, con la finalidad de disminuir daños en las edificaciones”.

En relación a la contribución de Funvisis en los estudios de amenaza sísmica, la misma ha sido generada para su aplicación directa en el diseño ingenieril de infraestructuras con cualidades sismorresistentes. El producto más reciente de tales estudios es la publicación de la nueva norma Covenin (1756-98), con carácter de aplicación obligatoria, *Edificaciones sismorresistentes*, cuya vigencia es de enero de 1999 y la cual revisa y actualiza la norma anterior Covenin 1756-82, al incorporar todos los resultados generados por Funvisis desde inicios de la década de los 80. Dicha norma que ha dado lugar al mapa de zonificación sísmica (Fig. 46), volvió a ser revisada a principios del año 2001, a los fines de incorporar todas las observaciones realizadas en el proceso establecido para tal fin. Cabe señalar que las investigaciones que en esta materia adelanta Funvisis están destinadas a caracterizar las condiciones geotécnicas y geológicas de toda Venezuela, con miras a hacer estudios de microzonificación en los centros poblados más afectados.

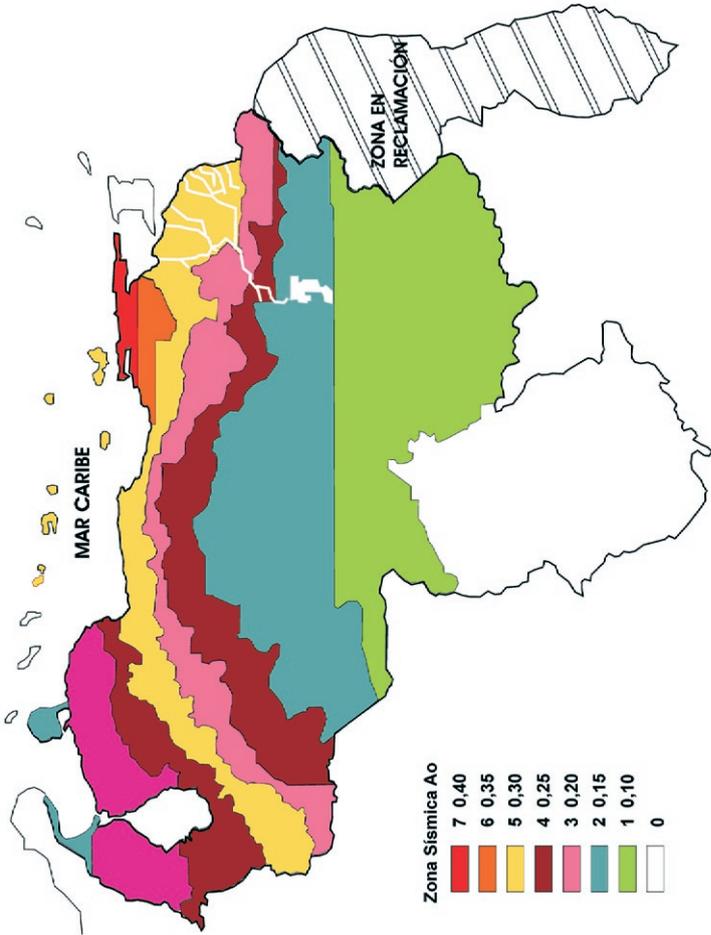


Fig. 46. Mapa de zonificación sísmica. FUNVISIS. Norma Coventin 1756-98.

La norma y su filosofía

En el año 1998, el Consejo Superior de Fondosnorma, aprobó la Norma COVENIN 1756 -98 (Rev. 2001) titulada Edificaciones Sismorresistentes que sustituye la Norma COVENIN 1756 -80-82. Edificaciones Antisísmicas, ambas elaboradas por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Funvisis, a solicitud de la Comisión Permanente de Normas para Estructuras de Edificaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano, Mindur. Dicha norma tiene como filosofía que todas las edificaciones que se diseñen de acuerdo a sus lineamientos deben cumplir con las siguientes pautas:

a. Bajo movimientos sísmicos menores o frecuentes pueden sufrir daños no estructurales despreciables, que no afecten su operación o funcionamiento.

b. Bajo movimientos sísmicos moderados u ocasionales podrán sufrir daños moderados en su componentes no-estructurales y daños muy limitados en los componentes estructurales.

c. Bajo movimientos sísmicos establecidos en la Norma, utilizados para el análisis dinámico de las estructuras, debe existir una muy

baja probabilidad de alcanzar el estado de agotamiento resistente y los daños estructurales y no-estructurales sean, en su mayoría, reparables.

d. Bajo movimientos sísmicos especialmente severos, en exceso de los especificados en esta Norma, se reduzca la probabilidad de derrumbe aunque la reparación de la edificación pueda ser inviable económicamente.

Debido a que la sismicidad es variable en el país, éste ha sido subdividido con fines de ingeniería en ocho zonas sísmicas (ver figura siguiente), distinguiéndose la zona siete como el área de mayor amenaza sísmica y la zona cero como una zona asísmica.

Para la aplicación de las normas sismorresistentes, toda edificación debe quedar clasificada de acuerdo a:

- a) El uso para el cual está destinada.
- b) El nivel de diseño.
- c) El tipo de estructura.
- d) La regularidad de las estructuras.

Adicionalmente, se clasifican con fines de diseño los perfiles geotécnicos de acuerdo a la velocidad promedio de la onda sísmica.

Capítulo V Prevención

Ocurrido un sismo de magnitud superior a 4 resulta normal ver partir al grupo de investigadores de Funvisis hacia la zona de los acontecimientos. Así sucedió con el sismo de Los Arangues, al Sur de Carora (1995), Cariaco (1997), en el Mar Caribe, hacia las costas de oriente (2000) y finalmente el 30 de octubre de 2001, en la ocasión del sismo ocurrido en el Mar Caribe, frente a las costas de La Guaira.

En cada una de esas misiones la intención es bien precisa: levantar un estudio sismotectónico preciso del área afectada, identificar y evaluar los daños, recabar información de la población para elaborar un mapa de intensidades sísmicas y conocer los efectos geológicos y fenómenos asociados al comportamiento dinámico de las estructuras y suelos afectados por el evento. Se reinicia, así, en un proceso de nunca acabar, el trabajo de prevención de Funvisis, el cual sigue dos vertientes: el estudio permanente de la información recolectada a raíz de cada sismo para la actualización del código venezolano de construcción sismorresistente y la preparación comunitaria, destinada a dotar a las individualidades y comunidades de los conocimientos y actitudes fundamentales para reducir su vulnerabilidad frente a la amenaza sísmica.

La labor educativa de Funvisis se fundamenta en un lineamiento de política que privilegia “la preparación y prevención de la nación venezolana frente a los desastres derivados de la actividad sísmica”. Dicho lineamiento se concretó en el Programa Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán”, formalizado a raíz del sismo de Cariaco 1997.

¿Qué es el Aula Sísmica?

El aula sísmica constituye parte de un servicio de información y atención a las comunidades que presta Funvisis.

La idea de su creación fue impulsada por Flor Ferrer de Singer, profesora universitaria y especialista en sismología, quien en mayo de 1997 comenzó a desarrollar el proyecto. Desde el punto de vista físico es un espacio-laboratorio localizado en la Fundación, donde se dictan talleres y charlas destinadas a sensibilizar al público asistente sobre la necesidad de desarrollar una conciencia sísmica, que sirva para la autoprotección y la de las personas que se mueven en su entorno. Este espacio cuenta con el talento humano (profesionales del área científica, técnica y docente de la institución), y los recursos materiales necesarios para cumplir con las siguientes actividades:

- ✓ Recuperar la memoria sísmica del país.
- ✓ Fomentar una cultura sísmica.
- ✓ Reconocer el entorno para identificar posibles riesgos.
- ✓ Minimizar la vulnerabilidad (material y social).
- ✓ Considerar elementos estructurales y geológicos que reduzcan la vulnerabilidad.
- ✓ Promover planes de contingencia a todo nivel.
- ✓ Desarrollar actitudes preventivas.
- ✓ Establecer medidas de autoprotección.
- ✓ Diseñar estrategias para el desalojo.

El Aula Sísmica tiene, además, los siguientes objetivos:

- ✓ Facilitar la conversión de la información técnica producida por Funvisis y otras instituciones científicas en insumos educativos, para la formación preventiva de comunidades vulnerables ante esta amenaza natural.
- ✓ Contribuir a la difusión de medidas de autoprotección y prevención, mediante la capacitación de los responsables de grupos en comunidades vulnerables.
- ✓ Contribuir a la preparación de observadores e informantes de daños producidos por los sismos, a fin de establecer la intensidad de sus efectos.
- ✓ Contribuir a la capacitación de los técnicos responsables del cumplimiento de medidas de inspección y control de obras.
- ✓ Contribuir a la difusión de técnicas constructivas artesanales que disminuyan la vulnerabilidad de los

asentamientos humanos de edificación no controlada.

A través del aula sísmica (Fig.47), Funvisis llega a los diferentes núcleos de la sociedad venezolana: escuelas, asociaciones de vecinos, instituciones empresariales, organismos del Estado, universidades, y otras, donde se ha sentido la necesidad de obtener información sobre la realidad sísmica nacional, como un primer paso para desarrollar una cultura sísmica que nos proteja contra este tipo de eventualidades.

En este acercamiento comunicacional se han definido dos niveles: el dirigido a la población más susceptible de ser afectada por los eventos sísmicos - tales como niños y jóvenes integrados en el sistema educativo formal-, profesionales de la docencia en cualquier nivel educativo, estudiantes de las carreras de formación docente, comunidades vecinales organizadas, adultos comprometidos en las mejoras de sus urbanizaciones o barrios, y albañiles y trabajadores artesanales de la construcción. El segundo nivel está diseñado para profesionales interesados en objetivos semejantes o próximos a los del Aula, que faciliten la preparación de las poblaciones más vulnerables. En este ámbito, es de interés de Funvisis convertirse en punto de encuentro y de difusión de experiencias sobre este tipo de amenaza y sus implicaciones.

Finalmente, vale la pena destacar las estrategias pedagógicas para educación básica y diversificada que se están adelantando: Plan “Hagamos nuestro plantel más seguro”, Plan “Brigada Sismo Preventiva” y Plan “Funvisis visita la escuela”.

Plan “Hagamos nuestro plantel más seguro”.

Cursillos elementales con visita a Funvisis integrando las siguientes actividades:

- ✓ *Información elemental sobre el origen de los sismos.* La profundidad en el tratamiento de los temas está determinada por la edad de los estudiantes.
- ✓ *Estrategias básicas para la prevención de daños en caso de sismos.* Pautas de conductas antes, durante y después de un evento sísmico.

- ✓ Asignación del compromiso de revisión y evaluación del plantel de procedencia con relación a las situaciones amenazantes que pudiesen existir en él, usando una lista de cotejo especialmente preparada para esa finalidad.
- ✓ Evaluación de lo aprendido mediante juegos de mesa preparados por las personas encargadas de realizar la actividad.
- ✓ Simulacro de autoprotección bajo los pupitres.
- ✓ Visita a la estación telemétrica y al laboratorio de electrónica de Funvisis.

Plan “Brigada Sismo Preventiva”:

- ✓ Selección de los integrantes de las Brigadas Sismo Preventivas por parte de las autoridades del plantel, de acuerdo a los criterios establecidos.
- ✓ Capacitación de las Brigadas a través de charlas especialmente diseñadas.
- ✓ Evaluación de riesgos en el plantel y proposición de los correctivos necesarios por parte de los jóvenes brigadistas.
- ✓ Verificación del trabajo de los brigadistas.
- ✓ Firma del acta de compromiso entre Funvisis y el centro educativo para garantizar la permanencia de la Brigada Sismo Preventiva.

Plan “Funvisis visita la escuela”.

Esta estrategia ha sido diseñada para atender aquellos planteles que presentan dificultades para trasladar a sus estudiantes y docentes a la sede de la Fundación, por lo que el personal de la misma se traslada al lugar con material didáctico preparado para tal fin. Las actividades son las siguientes:

- ✓ Charla sobre mitigación y prevención sísmica.
- ✓ Actividades evaluativas.
- ✓ Simulacros de autoprotección y evacuación.
- ✓ Identificación de lugares peligrosos dentro de las escuelas.



Fig.47. El aula sísmica tiene una actividad incesante de la cual se han beneficiado miles de estudiantes, docentes y agentes multiplicadores.

**Flor Teresa Ferrer de Singer
(1944-2002)**

Nació en Caracas, el 13-10-1944. Egresó del Instituto Pedagógico de Caracas en 1964, en la especialidad de Ciencias Sociales. Hizo un Doctorado en Geografía Física (1966-1968) en la Universidad de Estrasburgo, Francia, y un Postgrado en Psicología Social (1995-1996) en la Universidad Central de Venezuela. Fue investigadora-instructora del Programa Enriquecimiento Instrumental y L.P.A.D (Diagnóstico del Potencial de Aprendizaje), Hadassah-WISO-Canada-Research Institute, Jerusalem, 1986.

El ejercicio profesional siempre lo orientó hacia la docencia en la educación superior y su trabajo investigativo tuvo diferentes vertientes: aplicación de la geomorfología al estudio de los ambientes de asentamiento indígenas prehispánicos localizados en Chile; problemas de la enseñanza de la Geografía, en sus vertientes didácticas y psicológicas, como producto de esta línea de investigación, que le permitió trabajar en el proyecto enriquecimiento instrumental, realizó un diagnóstico sobre habilidades espaciales de escolares caraqueños; una tercera línea de investigación, nacida al calor de

su experiencia como docente y habitante de comunidades afectadas por derrumbes, la dedicó al estudio de la percepción y representación del entorno espacial y las amenazas naturales. En esta última fase, hubo una vinculación muy fuerte entre la investigación educativa y la docencia, la cual se centró en los aspectos de formación e información preventiva de la población ante amenazas naturales y dio lugar a la creación del Aula Sísmica de FUNVISIS.

Fue columnista del semanario La Razón y articulista de El Universal y El Nacional, desde donde dejó sentir su preocupación como ciudadana y estimuló la acción vecinal en movimientos organizados preocupados por la prevención de riesgos geológicos y la reducción de la vulnerabilidad, inducida por acciones urbanísticas inadecuadas. Fue Profesor Agregado del Departamento de Geografía e Historia del IPC-UPEL (1970-2000) y Asesor ad-honorem para la formulación de la investigación de base y preparación de facilitadores requeridos para el desarrollo del proyecto “Aula Sísmica Madeleilis Guzmán”, entre otros cargos docentes. Fue autora de importantes trabajos relacionados con sus líneas de investigación.