

# **Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela**

**Oscar A. López  
Angelo Marinilli  
Gustavo Coronel D.**

**Editores**

**Caracas, diciembre 2015**

## **Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela**

EDITORES:

Oscar A. López  
Angelo Marinilli  
Gustavo Coronel D.

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Central de Venezuela  
Ciudad Universitaria, Caracas, Venezuela  
(58 212) 605 3134

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas  
FUNVISIS  
El Llanito, Caracas, Venezuela  
(58 212) 257 5153  
[www.funvisis.gob.ve](http://www.funvisis.gob.ve)

ISBN: 978-980-12-7455-1  
Depósito Legal: If25220146202146

Primera Edición: Diciembre 2015

Diseño de Portada:  
Elizabeth Raven

Portada: Foto de la Escuela Valentín Valiente derrumbada en el terremoto de Cariaco de 1997 e imagen de la aceleración del terreno registrado en Cumana (Archivos FUNVISIS).



## Presentación

Este libro describe el riesgo sísmico al que están expuestos los edificios escolares del país y propone medidas para su reducción con la intención principal de promover la seguridad de niños, jóvenes y maestros durante la ocurrencia de eventos sísmicos futuros. Su principal intención es la de promover las acciones necesarias para evitar la repetición de la tragedia de Cariaco del año 1997 en donde fallecieron numerosos estudiantes y maestros como consecuencia del derrumbe de cuatro edificios escolares. Dichas acciones están dirigidas a los entes públicos y privados que tienen la responsabilidad de administrar los edificios escolares existentes, a las autoridades municipales y regionales que tienen la responsabilidad de proteger la vida de los miembros más vulnerables de la sociedad, así como a las comunidades educativas que deben promover y exigir la reducción del riesgo sísmico en sus escuelas.

Este trabajo es el resultado de una investigación desarrollada por el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE) del Ministerio del Poder Popular para la Educación, con la colaboración de la Universidad de Carabobo y bajo el patrocinio del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) del Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología. Participaron un total de 16 investigadores, 36 estudiantes de pregrado, 11 estudiantes de postgrado y 21 miembros del personal técnico-administrativo de las instituciones mencionadas cuyos nombres se listan en la sección denominada “Participantes”. Aun cuando la mayor parte de la investigación fue desarrollada entre los años 2007 y 2012, durante el año 2015 se sistematizó y agregó la información relativa a las edificaciones escolares más vulnerables del Área Metropolitana de Caracas, se añadieron al listado las nuevas publicaciones generadas del proyecto y se revisó y adecuó la información contenida en los diversos capítulos del informe técnico final para los efectos de publicar este libro.

El libro se ha dividido en 10 capítulos que describen en detalle todas las actividades desarrolladas en la investigación. En el Capítulo 1 se presenta el inventario de escuelas y el procedimiento seguido para su elaboración. El Capítulo 2 describe la metodología y los resultados de la determinación de daños y pérdidas esperadas en las escuelas del país. El Capítulo 3 presenta el procedimiento y resultados de la inspección de 291 escuelas. El Capítulo 4 presenta los resultados de estudios detallados de 14 edificios escolares. La determinación experimental de las propiedades dinámicas de 8 escuelas se describe en el Capítulo 5. El Capítulo 6 describe los talleres de prevención sísmica dictados a las comunidades educativas de 11 planteles. El diseño y la construcción de un amortiguador sísmico se describen en el Capítulo 7. El Capítulo 8 sintetiza un manual para la protección de los componentes no estructurales de las escuelas. Los proyectos de refuerzo sísmico de 10 escuelas se resumen en el Capítulo 9. El Capítulo 10 lista las actividades de divulgación y formación de personal desarrolladas durante la investigación.

El informe técnico completo, los videos y publicaciones generadas pueden ser descargados desde la dirección electrónica <http://www.funvisis.gob.ve/proyectoescuela/>.

# Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela

ÍNDICE	Página
<b>Agradecimiento</b>	x
<b>Resumen</b>	xi
<b>Participantes</b>	xvii
 <b>1.- Inventario de Edificaciones Escolares de Venezuela basado en SIG</b>	
1.1- Introducción	1-1
1.2.- Participantes	1-1
1.3.- Estrategias de Búsqueda y Fuentes de Información	1-1
1.3.1.- Edificios Escolares Antiguos	1-3
1.3.2.- Sistema de Información Geográfica de FEDE	1-5
1.3.3.- Censo Escolar Nacional 2006-2007	1-6
1.3.4.- Registro Escolar Nacional 2007-2008	1-7
1.3.5.- Búsqueda de Planos de Tipologías Constructivas de Escuelas	1-7
1.3.6.- Otras Fuentes	1-7
1.4.- Descripción de las Bases de Datos de Escuelas	1-8
1.4.1.- Códigos de Escuelas	1-8
1.4.2.- Bases de Datos	1-8
1.5.- Sistema de Información Geográfica	1-11
1.5.1.- Aspectos Generales	1-11
1.5.2.- Ubicación Geográfica de Edificaciones Escolares	1-12
1.5.3.- Mapas Incorporados a la Plataforma SIG	1-12
1.5.4.- Desarrollo de una Herramienta Basada en SIG para Escenarios Sísmicos	1-17
1.6.- Inventario de Edificios Escolares	1-18
1.6.1.- Inventario de Edificios Dañados por el Sismo de Cariaco de 1997	1-18
1.6.2.- Inventario de Escuelas del Estado Sucre	1-20
1.6.3.- Inventario de Escuelas de la Ciudad de Cumaná	1-22
1.6.4.- Inventario de Escuelas del Área Metropolitana de Caracas	1-23
1.6.5.- Inventario de Edificios Escolares de Venezuela	1-25
1.7.- Conclusiones y Recomendaciones	1-28
1.8.- Referencias	1-29
Anexo 1.1: Carta Remitida a las Coordinaciones Estadales de FEDE	1-32
Anexo 1.2: Planillas del Censo Escolar Nacional 2006-2007	1-36
Anexo 1.3: Resumen de las Planillas del Registro Escolar Nacional 2007 – 2008	1-40
Anexo 1.4: Planos Originales de Tipos Constructivos	1-43
Anexo 1.5: Reporte de Escuelas por Estado	1-90
Anexo 1.6: Mapas Temáticos	1-112
Anexo 1.7: Inventario de Edificios Escolares del Estado Sucre	1-127
Anexo 1.8: Inventario de Edificios Escolares Prioritarios del Área Metropolitana de Caracas	1-172

## 2.- Efectos de los Terremotos sobre los Edificios Escolares de Venezuela

2.1.- Participantes	2-1
2.2.- Introducción	2-1
2.3.- Curvas de Capacidad	2-2
2.3.1.- Capacidad Resistente	2-2
2.3.2.- Desplazamiento Cedente y Último	2-6
2.3.3.- Caso Particular de Escuelas Rurales	2-8
2.4.- Estados de Daño	2-9
2.5.- Demanda de Desplazamiento	2-11
2.6.- Curvas de Fragilidad Sísmica	2-12
2.7.- Índice de Pérdida y Daño Ponderado	2-13
2.8.- Implementación Computacional	2-14
2.9.- Comparación de Resultados	2-16
2.9.1.- Ejemplo de Aplicación	2-17
2.9.2.- Influencia de la Norma de Diseño y Construcción	2-19
2.9.3.- Influencia del Tipo de Suelo	2-21
2.9.4.- Comparación con HAZUS (FEMA-NIBS, 2009)	2-22
2.9.5.- Evaluación de Edificios Escolares en el Sismo de Cariaco de 1997	2-23
2.10.- Pérdidas Sociales y Económicas	2-27
2.11.- Niveles de Riesgo Sísmico	2-29
2.12.- RiSEV: Herramienta para la evaluación de Escenarios Sísmicos Basada en SIG	2-29
2.13.- Escenarios Sísmicos para 636 Escuelas del Estado Sucre	2-32
2.14.- Escenarios Sísmicos para 83 Escuelas de la Ciudad de Cumaná	2-38
2.15.- Escenarios Sísmicos para 569 Escuelas del Área Metropolitana de Caracas	2-42
2.16.- Conclusiones	2-47
2.17.- Referencias	2-50
Anexo 2.1. Notación y Simbología	2-55
Anexo 2.2. Consulta a Expertos	2-61
Anexo 2.3. Manual del CFSEV	2-67
Anexo 2.4. Manual del RiSEV	2-81
Anexo 2.5. Mapas de Resultado: Escenarios del Estado Sucre	2-87
Anexo 2.6. Mapas de Resultado: Escenarios de la Ciudad de Cumaná	2-102
Anexo 2.7. Mapas de Resultado: Escenarios del Área Metropolitana de Caracas	2-113
Anexo 2.8. Desarrollos de Escenarios Sísmicos, Cuantificación de Pérdidas y Estimación del Riesgo en las Escuelas de Venezuela.	2-126

## 3.- Inspección de Escuelas e Índices de Riesgo

3.1.- Introducción	3-1
3.2.- Metodología	3-2
3.2.1. Recolección de Información Básica	3-2
3.2.2. Planilla para Inspección Sismorresistente	3-2
3.2.3. Selección de las Edificaciones Escolares	3-3
3.2.4. Inspectores y Entrenamiento	3-3
3.2.5. Ejecución de las Inspecciones	3-7
3.2.6. Ejemplo de Aplicación	3-7
3.3.- Índices de Vulnerabilidad y de Riesgo Sísmico	3-8
3.4.- Cálculo de los Índices	3-10

3.4.1. Definiciones y Procedimiento	3-10
3.4.2 Ejemplos de Aplicación	3-14
3.5.- Optimización del Procedimiento.	3-21
3.6.- Conclusiones	3-24
3.7.- Referencias	3-25
Anexo 3.1: Base de Datos de las 257 Escuelas Inspeccionadas por el CENAMB	3-27
Anexo 3.2: Sistema de Información Estructural de Edificaciones Educativas	3-43
Anexo 3.3: Ejemplo de Inspección	3-50
Anexo 3.4: Escuelas Prioritarias	3-55

#### **4.- Estudios Detallados de Edificaciones Escolares**

4.1.- Objetivos y Alcances	4-1
4.2.- Selección de Edificaciones	4-1
4.3.- Participantes	4-3
4.4.- Planes de Trabajo de Tesistas	4-4
4.4.1 Tesistas de Pregrado	4-4
4.4.2. Tesistas de Postgrado	4-6
4.5.- Criterios de Análisis y Evaluación	4-7
4.6.- Evaluación de Edificaciones Escolares del Tipo Antiguo I	4-11
4.6.1.- Participantes	4-11
4.6.2.- Inspecciones Efectuadas	4-11
4.6.3.- Descripción de las Edificaciones	4-11
4.6.4.- Evaluación Sismorresistente de la E.B. José Antonio Rodríguez Abreu	4-29
4.6.5.- Refuerzo Estructural de la E. B. José Antonio Rodríguez Abreu	4-37
4.6.6.- Análisis detallado de la U.E. Luíis Alejandro Alvarado	4-47
4.7.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. Corazón de Jesús	4-61
4.7.1.- Participantes	4-61
4.7.2.- Inspecciones Efectuadas	4-61
4.7.3.- Descripción de la Edificación	4-61
4.7.4.- Evaluación Sismorresistente	4-65
4.7.5.- Refuerzo Estructural	4-71
4.7.6.- Conclusiones y Recomendaciones	4-77
4.8.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. María Reina de López	4-78
4.8.1.- Participantes	4-78
4.8.2.- Inspecciones Efectuadas	4-78
4.8.3.- Descripción de la Edificación	4-88
4.8.4.- Evaluación Sismorresistente	4-100
4.8.5.- Refuerzo Estructural	4-123
4.8.6.- Conclusiones y Recomendaciones	4-127
4.8.7.- Referencias	4-128
4.9.- Evaluación Sismorresistente de la E. B. Playa Grande	4-129
4.9.1.- Participantes	4-129
4.9.2.- Inspecciones Efectuadas	4-129
4.9.3.- Descripción de la Edificación.	4-129
4.9.4.- Evaluación Sismorresistente.	4-135
4.9.5.- Refuerzo Estructural	4-145
4.9.6.- Conclusiones y Recomendaciones	4-158
4.10.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. N. Padre Sojo	4-160
4.10.1.- Participantes	4-160

4.10.2.- Inspecciones efectuadas	4-160
4.10.3.- Descripción de las Edificaciones	4-163
4.10.4.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. N. Padre Sojo	4-169
4.10.5.- Refuerzo Estructural	4-192
4.10.6.- Conclusiones y Recomendaciones	4-198
4.10.7.- Referencias	4-198
4.11.- Evaluación Sismorresistente del Liceo Domingo Faustino Sarmiento	4-200
4.11.1.- Participantes	4-200
4.11.2.- Inspecciones efectuadas a escuelas del Tipo Cajetón	4-201
4.11.3.- Descripción detallada de la U. B. Domingo Faustino Sarmiento	4-205
4.11.4.- Evaluación Sismorresistente.	4-218
4.11.5.- Refuerzo Estructural	4-228
4.11.6.- Conclusiones y Recomendaciones	4-236
4.11.7.- Referencias	4-236
4.12.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. N. Escuela Experimental Venezuela	4-237
4.12.1.- Edificaciones patrimoniales	4-237
4.12.2.- Características de las edificaciones escolares patrimoniales	4-237
4.12.3.- U. E. Escuela Experimental Venezuela	4-240
4.12.4.- Modelos Matemáticos	4-247
4.12.5.- Refuerzo Estructural	4-253
4.12.6.- Conclusiones y Recomendaciones	4-254
4.13.- Evaluación Sismorresistente de Edificaciones Escolares Tipo R	4-255
4.13.1.- Participantes	4-255
4.13.2.- Inspecciones efectuadas y recopilación de información de otras escuelas	4-255
4.13.3.- Planos del C.P.B. Virginia Vera	4-268
4.13.4.- Características de las escuelas Tipo R	4-273
4.13.5.- Comportamiento de escuelas Tipo R durante sismos pasados	4-275
4.13.6.- Modelos de análisis considerados en este trabajo	4-276
4.13.7.- Características de los modelos y del análisis	4-277
4.13.8.- Resultados de los análisis	4-277
4.13.9.- Conclusiones	4-282
4.13.10.- Recomendaciones	4-282
4.13.11.- Referencias	4-282
4.14.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. Dr. Lisandro Lecuna	4-283
4.14.1.- Participantes	4-283
4.14.2.- Resumen	4-283
4.14.3.- Descripción de la Edificación	4-283
4.14.4.- Comparación con otras Edificaciones	4-289
4.14.5.- Modelos Matemáticos	4-289
4.14.6.- Respuesta ante movimientos sísmicos	4-290
4.14.7.- Conclusiones y recomendaciones	4-292
4.14.8.- Referencias	4-293
4.15.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. Colomine	4-294
4.15.1.- Participantes	4-294
4.15.2.- Objetivos	4-294
4.15.3.- Descripción de la Edificación	4-294
4.15.4.- Evaluación Sismorresistente	4-311
4.15.5.- Conclusiones y Recomendaciones	4-318
4.15.6.- Localización de otros Edificios del mismo Tipo	4-320
4.16.- Evaluación Sismorresistente de la U. E. Cirilo Alberto	4-336

4.16.1.- Participantes	4-336
4.16.2.- Objetivos	4-336
4.16.3.- Descripción de la Edificación	4-336
4.16.4.- Evaluación Sismorresistente	4-337
4.16.5.- Conclusiones y Recomendaciones	4-345
4.17.- Evaluación Sismorresistente de de la U. E. Manuel Felipe Tovar	4.357
4.17.1.- Participantes	4-357
4.17.2.- Inspecciones realizadas	4-357
4.17.3.- Descripción de la edificación	4-357
4.18.- Evaluación Sismorresistente de la E. B. Ambrosio Plaza	4-365
4.18.1.- Participantes	4-365
4.18.2.- Introducción	4-365
4.18.3.- Descripción de la edificación	4-365
4.18.4.- Modelos matemáticos	4-372
4.18.5.- Acción sísmica	4-373
4.18.6.- Respuesta sísmica	4-373
4.18.7.- Conclusiones y recomendaciones	4-375
4.18.8.- Referencias	4-376
4.19.- Evaluación y Refuerzo Sismorresistente de la U. E. Colomine (2da Parte)	4-377
4.19.1.- Participantes	4-377
4.19.2.- Objetivos y Alcance	4-377
4.19.3.- Propuestas de Reforzamiento Estructural	4-378
4.19.4.- Análisis y Diseño	4-385
4.18.5.- Conclusiones y recomendaciones	4-401
4.19.6.- Referencias	4-403

## **5.- Medición y Evaluación de Propiedades Dinámicas**

5.1.- Marco Teórico	5-1
5.1.1.- Objetivos y Alcance	5-1
5.1.2.- Equipos Utilizados	5-2
5.1.3.- Adquisición y Procesamiento de Datos	5-3
5.2.- Marco Experimental	5-11
5.2.1.- Unidad Educativa Domingo Faustino Sarmiento	5-11
5.2.2.- Unidad Educativa Padre Sojo	5-18
5.2.3.- Unidad Educativa Luís Alejandro Alvarado	5-28
5.2.4.- U.E. Experimental Venezuela	5-43
5.2.5.- Unidad Educativa Playa Grande	5-46
5.2.6.- Unidad Educativa Corazón de Jesús	5-55
5.2.7.- Unidad Educativa Antonio Rodríguez Abreu	5-65
5.2.8.- U.E. María Reina de López	5-77
5.2.9.- Unidad Educativa Escuela Experimental Venezuela (2da Parte)	5-87
5.3.- Referencias	5-115

## **6.- Dictado de Talleres de Prevención Sísmica**

6.1.- El Taller de Aula Sísmica y la Formación de Docentes como Entes Multiplicadores	6-1
6.2.- Instrumento de Seguimiento	6-1
6.3.- Planteles Atendidos	6-2
6.4.- El Material Entregado	6-9



6.5.- Referencias	6-10
-------------------	------

## **7.- Diseño, Construcción y Evaluación de un Disipador de Energía Metálico**

7.1.- Introducción	7-1
7.2.- El Disipador	7-1
7.3.- Modelos de Predicción del Comportamiento del Disipador	7-3
7.3.1.- Modelo Analítico	7-3
7.3.2.- Modelo Numérico	7-4
7.4.- Evaluación Experimental	7-7
7.5.- Aplicación Numérica	7-11
7.6.- Conclusiones	7-14
7.7.- Referencias	7-15

## **8.- Manual para la Reducción del Riesgo Sísmico generado por los Elementos No Estructurales**

8.1.- Participantes	8-1
8.2.- Manual	8-1
8.2.1.- Introducción	8-1
8.2.2.- Conceptos	8-1
8.2.3.- Como Usar Este Manual	8-3
8.3.- Referencias	8-10

## **9.- Proyectos de Refuerzo de Edificios Escolares**

9.1.- Refuerzo Sismorresistente de la U.E.N. Domingo Faustino Sarmiento	9-2
9.2.- Refuerzo Sismorresistente de la U.E. María Reyna de López	9-24
9.3.- Refuerzo Sismorresistente de la E.B. Manuel María Urbaneja	9-31
9.4.- Refuerzo Sismorresistente de la U.E.N. Padre Sojo	9-42
9.5.- Refuerzo Sismorresistente de la U.E.N. José Silverio Córdoba	9-43
9.6.- Refuerzo Sismorresistente de la U.E. Corazón de Jesús	9-44
9.7.- Refuerzo Sismorresistente de la E.B. Rodríguez Abreu	9-45
9.8.- Refuerzo Sismorresistente de la E. B. Playa Grande	9-46
9.9.- Refuerzo Sismorresistente de la U.E. Petrica Reyes de Quilarte	9-47
9.10.- Refuerzo Sismorresistente del L.B. Luis Graterol Bolívar	9-48

## **10.- Divulgación y Formación**

10.1.- Presentaciones	10-1
10.2.- Publicaciones	10-3
10.3.- Congresos	10-4
10.4.- Trabajos Especiales de Grado culminados	10-5
10.5.- Trípticos, Afiches	10-7
10.6.- Videos	10-8
10.7.- Portal del Proyecto	10-8
Anexo 10.1: Tríptico del Proyecto	10-9
Anexo 10.2: Videos del Proyecto	10-12

## **Agradecimiento**

Los editores desean agradecer el apoyo prestado a esta investigación por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) del Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología (Proyecto N° 2005000188). Así mismo el apoyo prestado por el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, por la Fundación Venezolana de Investigación Sismológica (FUNVISIS) y por la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE) del Ministerio del Poder Popular para la Educación. Igualmente deseamos agradecer al Ing. Julio J. Hernández por su aporte en la formulación inicial del proyecto, a la Lic. María Jiménez, a la Ing. Yeslín Azuaje y a todos aquellos investigadores, personal técnico y estudiantes quienes se citan en los diversos capítulos de este libro y cuyo trabajo y entusiasta dedicación hizo posible el desarrollo de esta investigación.

# RESUMEN

El objetivo general de esta investigación fue desarrollar diversas herramientas y proyectos específicos que pudieran incidir de manera efectiva en la reducción del riesgo sísmico en las edificaciones escolares del país y por ende en la protección de las vidas de estudiantes y docentes.

Las tareas desarrolladas y las conclusiones más importantes son las siguientes:

## 1) Inventario de escuelas

1.1) La recopilación de información para generar las bases de datos concernientes a las características sismorresistentes de los edificios escolares del país fue desarrollada por varias vías, entre las cuales estuvieron: a) El Censo y el Registro Escolar Nacional del Ministerio del Poder Popular para la Educación en el cual se insertaron preguntas específicas del Proyecto, b) La consulta a las oficinas de FEDE en cada estado del país, y c) Las inspecciones efectuadas a las escuelas por el equipo de investigación. Adicionalmente a la información básica recopilada de cada plantel, se solicitó mediante reconocimiento de imágenes la localización de los tipos escolares críticos que se derrumbaron en el sismo de Cariaco. En el último censo nacional se registraron 28.876 planteles educativos en todo el país, pero sólo una fracción de estos respondió las preguntas allí colocadas por este proyecto.

1.2) Se desarrolló un sistema de información geográfica (SIG) a fin de manejar el inventario de edificios escolares dentro de escenarios sísmicos prefijados. Para ello se recopilaron y digitalizaron los mapas de zonificación sísmica de todas las normas usadas en el país desde el año de 1947 y los mapas de caracterización de los suelos de las ciudades de Cumaná y de Caracas, entre otros mapas temáticos de interés. Se incorporaron dentro del SIG un total de 19.972 edificios escolares, de los cuales un 49,5% se encuentran en zonas de elevada amenaza sísmica, un 41,1% en zonas de amenaza intermedia y un 9,4% en zonas de baja amenaza.

1.3) Se desarrolló una base de datos de edificios escolares que incorpora información del año de construcción y del tipo constructivo, no así de las coordenadas geográficas; esta base cuenta con 16.921 edificios. De allí se concluye que aproximadamente un 46% de los edificios fueron construidos antes del año 1982, con normas y requerimientos sismorresistentes bastante menos exigentes que los incluidos en las normas modernas. Adicionalmente, aproximadamente un 21% del total fueron construidos antes de 1967, año en donde hubo un cambio importante de norma motivado por el sismo de ese año en Caracas, estando éstos en una situación todavía más desfavorable que los construidos en el período posterior 1967-1982.

1.4) Se elaboró un inventario de los edificios escolares del país en los cuales se posee la información más completa: ubicación y coordenadas geográficas, año de construcción, tipo constructivo y número de pisos. Este inventario cuenta con 10.730 edificios, de los cuales un

25% son edificios construidos antes de 1982 y que están ubicados en las zonas de mayor amenaza sísmica del país.

1.5) Se identificó un total de 552 edificios escolares pertenecientes a tres tipologías definidas como críticas por su antigüedad y elevada vulnerabilidad, los cuales se encuentran distribuidos en todo el país. De éstos, 104 edificios son del tipo Antiguo I y 334 son del tipo Cajetón, ambos tipos corresponden a los cuatro edificios derrumbados en el sismo de Cariaco de 1997. En las zonas de elevada amenaza sísmica del país (Zonas 5, 6 y 7) se encuentran localizados 42 escuelas del tipo Antiguo I y 205 del tipo Cajetón, los cuales requieren de urgente atención a fin de reforzarlos estructuralmente a fin de evitar la repetición de la tragedia de Cariaco. Se identificaron también otros 114 edificios del tipo Antiguo II los cuales fueron construidos en las décadas de 1950 y 1960 y poseen elevada vulnerabilidad; de éstos, 57 están en las zonas de elevada amenaza sísmica y requieren de inmediata atención.

## **2) Daños y pérdidas potenciales en el sistema escolar nacional**

2.1) Se desarrolló una metodología para la determinación de curvas de fragilidad de edificios escolares que suministra la probabilidad de excedencia de un estado de daño prefijado dada la ocurrencia de un evento sísmico. La hipótesis básica es que los edificios fueron diseñados y construidos en cumplimiento con las normas vigentes en la época de la construcción. Para ello se consideraron todas las normas nacionales vigentes en algún momento en el país: MOP, 1939; MOP, 1947; MOP, 1955; MOP, 1967; COVENIN, 1982 y COVENIN, 2001.

2.2) Se definieron cuatro estados de daño en estructuras: leve, moderado, severo y colapso, y se calcularon las probabilidades de alcanzar estados de daños y de pérdidas que inducen los movimientos sísmicos en edificios escolares construidos en diversas épocas. Para los cálculos se desarrolló el programa computacional denominado CFSEV (Curvas de Fragilidad Sísmica para Escuelas de Venezuela) realizado bajo el ambiente del programa *Visual Basic*.

2.3) La metodología propuesta se evaluó y calibró con las observaciones de campo efectuadas sobre edificios escolares durante el terremoto de Cariaco de 1997.

2.4) Los edificios escolares construidos con las normas antiguas son más vulnerables que los construidos con las normas modernas. Por ejemplo, una escuela diseñada con la norma 2001 resiste en promedio un sismo que es entre 2 y 4 veces más intenso que una diseñada con la norma de 1955. Para un evento sísmico con una aceleración equivalente (0,30g) a la exigida en Caracas para el diseño de nuevas edificaciones, la probabilidad de alcanzar el estado de daño completo de un edificio típico diseñado con las normas de 1939, 1947, 1955, 1967, 1982 es 69, 68, 91, 19 y 7 veces mayor que la probabilidad del mismo edificio construido con la norma vigente de 2001.

2.5) Se desarrolló una herramienta computacional integrada en un SIG que permite estimar daños y pérdidas sociales y económicas en cada escuela dado un escenario sísmico particular, y permite también el cálculo de niveles de riesgo con base a mapas de zonificación sísmica, todo ello basado en las curvas de fragilidad desarrolladas.

2.6) Se expuso una muestra de 639 edificaciones escolares del Estado Sucre a una simulación del sismo de Cariaco de 1997. Se concluye que probablemente un 1,3% de las escuelas resultarían completamente dañadas, un 12,4% resultarían severamente dañadas, un 23,4% resultarían con daños moderados y un 30,3% y un 32,5% con daño leve y sin daño respectivamente, lo cual representa un resultado aceptable al comparar con los daños observados luego de ese terremoto.

2.7) Se evaluó una muestra de 83 escuelas en la ciudad de Cumaná bajo una simulación del terremoto de Cumaná de 1929 ( $M=6,6$ ). Como resultado se tendría un daño completo de al menos 5 escuelas y otras 63 con daño severo, esto debido a la cercanía a la traza de ruptura de la falla, dando origen a pérdidas sociales en el orden de 1.116 personas de las cuales 469 serían posibles heridos leves, 432 heridos graves y 215 fallecidos o muertos. El impacto económico sobre la infraestructura educativa se estima en cerca de 250 millones de Bolívares.

2.8) Finalmente se expuso una muestra de 569 edificios escolares del Área Metropolitana de Caracas a la simulación del terremoto de Caracas de 1967 ( $M_w=6,6$ ). Se concluye que al menos 13 escuelas resultarían severamente dañadas pero sin llegar al colapso, para un 2,3% del total. Cerca de 59 personas podrían resultar heridas levemente, 41 gravemente y pudiera haber algunos pocos fallecidos como pérdidas sociales. Las pérdidas económicas ascenderían a 275 millones de Bolívares.

### **3) Inspección de edificios escolares**

3.1) Se desarrolló un instrumento de inspección rápida de edificios escolares a fin de identificar aquellas características que más influyen su vulnerabilidad ante los terremotos y se entrenó a un equipo de personas para llevar a cabo las inspecciones. Atención especial se orientó a establecer el año de construcción e identificar columnas cortas, plantas débiles y ausencia de planos resistentes en alguna dirección del edificio. Se desarrolló una metodología para asignar índices de vulnerabilidad e índices de riesgo a partir de la información recolectada en campo. El índice de riesgo se obtiene combinando el índice de vulnerabilidad con el índice de amenaza y con el índice de población escolar. El índice de riesgo permite ordenar los edificios inspeccionados y seleccionar aquellos críticos que ameritan ir a una fase posterior de estudios detallados.

3.2) El instrumento de inspección rápida se aplicó a 291 escuelas distribuidas en todo el país. Como primer criterio de selección se incluyeron todas aquellas que pudiesen ser iguales o similares a las derrumbadas en Cariaco en 1997. Se priorizaron también las de mayor antigüedad. En una muestra de 55 escuelas de los estados Sucre y Carabobo se encontró que

un 55% posee mayor vulnerabilidad que la escuela Valentín Valiente derrumbada en Cariaco en 1997.

#### **4) Evaluación detallada de Edificios Escolares**

4.1) Se efectuaron estudios detallados de 14 edificios escolares localizados en los Estados Sucre, Carabobo, Aragua y el Área Metropolitana de Caracas. Para cada uno de ellos se hicieron levantamientos detallados de sus características a fin de elaborar planos, imágenes y videos descriptivos de sus características estructurales y arquitectónicas. Se desarrollaron modelos matemáticos de cada edificio y mediante técnicas de análisis lineal y análisis no-lineal se investigó el grado de vulnerabilidad de cada uno ante los sismos establecidos en la norma nacional. En función del nivel de cumplimiento de las normas vigentes, se formularon recomendaciones de refuerzo estructural y adecuación sismorresistente.

4.2) La distribución por tipo estructural de los 14 edificios escolares estudiados en detalle, es la siguiente: 2 son del tipo Antiguo I y 3 del tipo Cajetón, a los cuales pertenecen los edificios derrumbaron en Cariaco en 1997, 3 del Tipo Antiguo II, 2 del Tipo Stac, 1 del tipo Módulo Base, 1 del tipo Patrimonial, 1 del tipo prefabricado Variel y 1 del tipo sistema R.

4.3) La distribución por región es la siguiente: 3 en Carúpano y 1 en Cumaná (Estado Sucre), 4 en Caracas (Área Metropolitana), 4 en Valencia (Estado Carabobo), 1 en Guarenas (Estado Miranda) y 1 en Cagua (Estado Aragua).

#### **5) Medición de propiedades dinámicas en edificios escolares**

5.1) Se midieron y determinaron las propiedades principales de los 10 edificios escolares seleccionados como proyectos piloto, a fin de la validación de los modelos matemáticos que se emplean en el cálculo de la vulnerabilidad. Los periodos naturales, las formas modales y los coeficientes de amortiguamiento de los primeros modos de vibración fueron determinados usando técnicas de respuesta dinámica ante vibración ambiental. Se encontraron valores de amortiguamiento entre 2% y 10%. Las frecuencias del primer modo varían entre 5,4 y 7,9 Hz, valores relativamente altos debido a la contribución de los componentes no-estructurales, principalmente las paredes de relleno. Luego de que sean reforzados los edificios, se procederá a repetir las mediciones de sus propiedades dinámicas. Se seleccionaron tres escuelas del Estado Sucre para instalar acelerómetros permanentes a fin de registrar sus respuestas ante futuros eventos sísmicos. Las escuelas seleccionadas son: 1) U. E. Corazón de Jesús (tipo Cajetón, localizado en Cumaná); 2) U. E. Antonio Rodríguez Abreu (tipo Antiguo I, localizado en Carúpano); 3) U. E. María Reyna de López (tipo Antiguo II, localizado en Carúpano).

## **6) Formación de docentes hacia la prevención sísmica**

6.1) Se dictaron talleres de prevención sísmica en 11 planteles educativos localizados en Caracas y en los Estados Sucre y Aragua. Se incluyen en esa lista los 10 planteles críticos en los cuales se desarrollaron proyectos de refuerzo sismorresistente. El taller es una experiencia educativa con características formales, es interactivo y participativo, valiéndose de actividades prácticas muy didácticas para la explicación de los temas. El taller tuvo como fin transmitir a las comunidades vulnerables la información científica y las medidas de autoprotección en caso de terremotos, en un lenguaje ameno, sencillo y claro, para que la información fuese accesible a todo tipo de público. El formato empleado para dictar los talleres fue el de Formación de Docentes como Entes Multiplicadores en Prevención Sísmica. Este taller suministra estrategias pedagógicas y didácticas que puedan ser usadas como elementos que puedan motivar la reducción de la vulnerabilidad no estructural de la escuela con medidas de sencilla implementación, además de propiciar la organización de la comunidad educativa para dar una oportuna y efectiva respuesta en caso de producirse una emergencia en la escuela. Asimismo, los talleres sirven de espacio para compartir con los docentes los detalles del Proyecto y su significación para la reducción del riesgo en los planteles educativos. Adicionalmente se entregaron maletines de información para la prevención sísmica a los planteles educativos que mostraron un nivel de compromiso para la organización de las actividades de autoprotección.

## **7) Desarrollo de un amortiguador sísmico**

7.1) Se desarrolló una propuesta de disipador de energía para su uso potencial en la protección de estructuras contra la acción de los terremotos. Se evaluó analíticamente su utilidad en un edificio escolar de elevada vulnerabilidad. El amortiguador consiste en una caja cerrada de dimensiones 15cm x 15cm x 32cm aproximadamente, construida con planchas de acero, en cuyo interior está contenida una serie de láminas metálicas de muy poco espesor que tienen como función disipar la energía a través de su deformación inelástica por flexión. El dispositivo opera en un rango de pequeños desplazamientos de entrepiso haciéndolo ideal para estructuras de baja altura. Es fácil de construir debido a su geometría simple y sencilla y de fácil desmontaje y reemplazo luego del sismo. El modelo numérico del disipador de energía aplicando el método de los elementos finitos, predice apropiadamente las zonas de daño del dispositivo, mostrando congruencia con el diseño conceptual del mismo. La evaluación experimental del dispositivo mostró que el comportamiento histerético del disipador es estable. Para el total de ciclos desarrollados en cada ensayo no se registró pérdida de la capacidad de disipación de energía. El daño observado en el disipador luego de los ensayos realizados fue tal como se había previsto en el diseño conceptual. Al insertar el dispositivo propuesto en las estructuras y configuraciones investigadas se producen reducciones importantes en la respuesta sísmica.

## **8) Protección de componentes no estructurales**

8.1) Se desarrollaron recomendaciones para la reducción del riesgo sísmico generado por los elementos no estructurales en edificaciones escolares. El objetivo fue identificar las fuentes

de daño a las personas, a los bienes y al funcionamiento de la escuela, ocasionados por los elementos no estructurales una vez afectados por acciones sísmicas y proponer acciones para reducir el riesgo. El fin principal es preservar la vida y reducir las lesiones que pueden generar los elementos no estructurales durante un evento sísmico; sin embargo, estas medidas adicionalmente ayudarán a reducir los daños a los bienes, facilitarán la evacuación de las estructuras seriamente afectadas y beneficiarán el funcionamiento post-sísmico de estas instalaciones. Las recomendaciones están dirigidas a los responsables de administrar las edificaciones escolares; la mayoría de estas recomendaciones podrán ser atendidas por ellos sin mayor orientación profesional, mientras que otras deberán ser implementadas con la asistencia de un profesional.

## **9) Proyectos de refuerzo de edificios escolares**

9.1) Se definieron diez proyectos piloto para el reforzamiento estructural de edificios escolares que corresponden a los tipos constructivos más antiguos y más vulnerables: Ocho (8) están ubicados en el Estado Sucre de los cuales cinco (5) en la ciudad de Carúpano y tres (3) en la ciudad de Cumaná, mientras que los dos (2) restantes están en el Municipio Libertador del Área Metropolitana de Caracas. Por tipo de construcción se tienen: a) Cuatro (4) del tipo Cajetón; b) Tres (3) del tipo Antiguo I; c) Uno (1) del tipo Antiguo II; d) Uno (1) del tipo Módulo Base; e) Uno (1) del tipo Stac. Como estrategia de refuerzo se propusieron estructuras auxiliares que están diseñadas para soportar la mayor parte de las cargas sísmicas, conectadas con los diafragmas de las estructuras existentes y apoyadas sobre nuevas fundaciones diseñadas con micropilotes. Se da atención especial a la compatibilidad de deformación entre la estructura auxiliar y la estructura existente; como requerimiento de diseño de la estructura auxiliar, las derivas se mantienen por debajo de 0,7 % para no poner en riesgo la capacidad de soportar cargas de gravedad de la estructura existente. Este valor es aproximadamente la mitad del valor permitido en la norma sismorresistente vigente para nuevas construcciones. Los costos del refuerzo estructural son entre 15 y 22% del costo de reposición total de la escuela.

## **10) Actividades de divulgación y formación**

10.1) Se desarrollaron un conjunto de actividades de divulgación y formación relativas a la temática de las escuelas y los terremotos. En particular, 34 estudiantes universitarios completaron 17 Trabajos Especiales de Grado para obtener el título de Ingeniero Civil, se completó una tesis de maestría y una tesis de especialización en Ingeniería Sismorresistente, se publicaron 17 artículos en revistas y congresos, se presentaron 12 trabajos en diversas reuniones y eventos científicos, se dictaron 23 charlas, se elaboraron y distribuyeron 1.000 trípticos y 200 afiches, se elaboraron 2 videos y se desarrolló un portal informativo que se encuentra en el servidor de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) en la dirección electrónica <http://www.funvisis.gob.ve/proyectoescuela/>.



# Participantes

## 1.- Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME, FI-UCV):

- Azuaje Yeslín
- Báez Vanessa
- Baloa Trino
- Barrios Elione
- Betancourt Nelson
- Bonilla Ricardo
- Burgos Juan Robert
- Castilla Enrique
- Coronel D. Gustavo
- Fernández Norberto
- Hernández Adriana
- Jiménez María
- López Oscar A.
- Marinilli Ángelo
- Medina Igor
- Paredes Andrés
- Peñuela Cesar
- Pereira Ricardo
- Pérez Jonathan
- Rodríguez Sergio
- Safina Salvador
- Silva Yeimi

### Tesistas Pregrado

- Al Jarrouj Yoman
- Azancot Roberto
- Borrego Randolf
- Bule Wadih
- Ebres Deglys
- Espluga Carlos
- Gascón Johanna
- Goncalvez Zulimar
- Jaramillo Omar
- Lárez Manuel
- Olivo María Carolina
- Olivo Mary Ann
- Paredes Damaris Karina
- Sucre María Carolina
- Sosa Marcos
- Taboada Adrián
- Ynfante Marialth

### Tesistas de Postgrado

- Beyer Martín
- Colmenárez Leonardo
- Espinosa Luís F.
- Fernández Aura
- Hernández Eliud
- Jraige Cristian
- Lee Carlos
- Montilla Omar
- Rodríguez Denis
- Tenreiro Esteban
- Tovar Carolina

## 2.- Fundación Venezolana de Investigación Sismológica (FUNVISIS, MCTII):

- Aguilar Antonio
- Betancourt Ángel
- Bueno Mary
- Colmenárez Leonardo
- Domínguez Jean
- García Kenny
- González Jorge
- Guzmán Juan Luís
- Hernández Julio J.
- Medina Julio
- Pérez Ana María
- Petitjean Adolfo
- Quintero Ben
- Rodríguez Edgar

## 3.- Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE, MPPE):

- Martín Mary
- Vielma Ramón
- Rengifo Catalina
- Ríos Víctor

## 4.- Colaboradores de la Universidad de Carabobo, Escuela de Ingeniería Civil:

- Alvarado Clara
- Prado Gabriela
- Villalobos Fernando

### Tesistas de Pregrado

- Acosta Ildemaro
- Builes Johan
- Chang Maryeling
- Contreras Osmary
- Duarte Erika
- Gil Wilmer
- Guzmán Gabriela
- Grippi Luís
- Hernández Elimar
- Márquez Laura
- Rojas Lizardo
- Rodríguez Harcyó
- Rodríguez Mónica
- Sequera Luis