

Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares en la ciudad de Mérida

Qualitative evaluation of the seismic vulnerability of school buildings in Mérida city

Suárez, Luís* ; Dávila, Nazario; Inglessis, Pether y Rivero, Pedro

Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería ULA

Mérida, 5101-Venezuela.

*luisuarez99@yahoo.com

Recibido: 06-05-2008

Revisado: 22-10-2009

Resumen

Este trabajo evalúa la vulnerabilidad sísmica, en términos cualitativos, de 65 edificaciones educativas del sector público, ubicadas a lo largo de la terraza de la ciudad de Mérida, para estimar un índice que permita conocer las condiciones que presenta la estructura ante la eventualidad de un sismo regional. La evaluación se hace en base a un formato que contempla el estudio de diferentes parámetros que se dividen en formularios que contienen preguntas donde se valoran, por ejemplo, el entorno y ubicación, suelos, seguridad y zonas de evacuación; edad de la edificación y número de pisos, cambio de uso y ampliaciones, posibilidad de golpeteo, estado y tipo de cubierta, aspectos geométricos, aspectos constructivos y grado de deterioro; estado de la estructura, muros y antepechos; así como, otros parámetros que evalúan requerimientos de la normativa sismorresistente. El grado de vulnerabilidad es el resultado de la ponderación, sobre las calificaciones asignadas a cada pregunta de cada formulario, en base a un porcentaje de incidencia distinto de acuerdo a la influencia de cada uno de los aspectos considerados en la vulnerabilidad de la edificación. Los resultados muestran que el 51% de los planteles evaluados tienen un índice de vulnerabilidad media. Sin embargo, cuando se evalúan individualmente algunos parámetros se obtienen índices de vulnerabilidad alto y muy alto. Uno de los mayores problemas, presente en el 81% del grupo analizado, lo constituye el grado de deterioro por presencia de fisuras, humedades y otros elementos que afectan la calidad de la estructura. Se hacen recomendaciones con la finalidad de corregir las condiciones físicas y estructurales que presentan un grupo de instalaciones educativas para mejorar la calidad y la seguridad de sus ocupantes.

Palabras clave: Vulnerabilidad cualitativa, edificios educativos, terremotos.

Abstract

The qualitative seismic vulnerability of 65 public educational buildings, located in the city of Mérida, is evaluated in this paper. The evaluation is done, based on a format that studies different parameters, using forms that contain questions as, for example, the environment and location, soil types, security and zones of evacuation; age of the building, number of floors, change of use, possibility of collisions between structures, current state and type of ceiling, geometric aspects, constructive aspects and degree of deterioration; state of the structure and walls; as well as, other parameters. The degree of vulnerability is obtained through the qualification of each question, based on a different incidence percentage related to the importance of each aspect analyzed in the vulnerability of the building. The results show that 51% of the buildings evaluated have an intermediate degree of vulnerability. Nevertheless, when some parameters are individually evaluated, indexes of high and very high vulnerability are obtained. One of the greater problems, present in 81% of the group analyzed, is the deterioration shown by the presence of cracks, humidities and other elements that affect the quality of the structure. In order to improve the quality and the security of their occupants, we give some recommendations with the purpose of correcting the structural and physical conditions present in a group of educational installations.

Key words: Qualitative vulnerability, Educational building, earthquake.

1 Introducción

Las edificaciones escolares han demostrado ser especialmente vulnerables durante terremotos. Escuelas públicas en las cuales se exige la asistencia obligatoria de niños, se derrumban frecuentemente durante terremotos de moderada a elevada severidad en el mundo entero, causando numerosas y trágicas pérdidas de vidas humanas.

Un evento histórico que provocó un cambio sustancial en el diseño y construcción de escuelas en California, ocurrió en Long Beach en 1933. Un terremoto de magnitud 6,3 en la escala de Richter, destruyó 70 escuelas y causó daños a otras 120; afortunadamente el evento ocurrió a las 5:54 pm, después de finalizadas las clases, con lo que probablemente se salvaron centenares de vidas. Los elevados riesgos asociados a las edificaciones escolares quedaron ilustrados en el Terremoto de Armenia del 7.12.1988 ($M=6,9$ a unos 7-8 km de profundidad); del total de 25000 muertes, más de 6000 (24%) fueron estudiantes y maestros de instituciones educativas. Otro caso notable ocurrió durante el Terremoto de Skopje, Macedonia, del 26.07.1963 con una magnitud de 6.1 y 8 km de profundidad. Del total de 77 edificaciones escolares de la ciudad de Skopje, 44 (57%) fueron destruidas provocando una interrupción masiva del proceso educacional en la ciudad y el país. Gracias a que el evento tuvo lugar a las 5:17 am, todos los edificios estaban desocupados, por lo que se salvaron numerosas vidas. La mayoría de los estudiantes tuvieron que ser trasladados a escuelas temporales mientras se construían nuevas escuelas y reforzaban otras; ni el gobierno ni las escuelas tenían planes para atender esa emergencia (López, O., et al, 2004).

El terremoto de Molise, Italia, ocurrido el 31.10.2002, causó el derrumbe de una escuela primaria y la muerte de 27 niños y un maestro. El terremoto de Boumerdés (Argelia) del 21.05.2003 de magnitud $M_w=6,8$ causó extensos daños en escuelas; 564 de un total de 1800 escuelas inspeccionadas sufrieron serios daños. El mismo año y sólo unos días antes de este evento, un terremoto de magnitud $M_w=6,4$ afectó el poblado de Bengöl de 70000 habitantes en Turquía. De un grupo de 28 edificaciones escolares inspeccionadas, 3 tuvieron daños ligeros, 12 tuvieron daño moderado, 10 daños severos y 3 se derrumbaron completamente, causando la muerte de numerosos niños. Todas las edificaciones eran de concreto armado, 17 constituidas por pórticos y una por un sistema mixto de muros y pórticos. Todas poseían paredes de mampostería de relleno colocadas entre columnas. Uno de los problemas estructurales comunes observados en estos edificios fue la presencia de columnas cortas, debido a las restricciones que imponían las paredes. Otro problema común fue el detallado inadecuado de elementos estructurales; falta de confinamientos en columnas, carencia del refuerzo transversal necesario para prevenir fallas por cortante, especialmente, en el caso de las columnas cortas y anclaje inadecuado de los extremos libres del refuerzo transversal.

El terremoto de Cariaco, Venezuela, con una magnitud $M_w=6,9$ del 09.07.1997, derrumbó cuatro edificios escolares provocando la muerte de 23 personas entre estudiantes y maestros. Las edificaciones derrumbadas responden a dos tipologías bien definidas de edificios escolares que se encuentran distribuidas por todo el país, en un número que, probablemente, sobrepase las mil unidades, estando la mayoría de ellas localizadas en zonas de alta amenaza sísmica. Partiendo de la premisa que la seguridad de los niños en las escuelas debe ser entendida como un derecho humano fundamental y en vista del desafortunado comportamiento de estas escuelas observado en Cariaco, se hace imperiosa la necesidad de evaluar los niveles de riesgo a que están expuestas y tomar medidas necesarias para su mitigación (López, col., 2004).

2 Recientes escenarios sísmicos para la ciudad de Mérida, Estado Mérida

A lo largo del sistema de cordilleras venezolanas convergen las placas tectónicas del Caribe y Sudamérica dando lugar a los grandes sistemas de fallas de Boconó, San Sebastián y El Pilar, tal como puede verse en la Fig. 1.

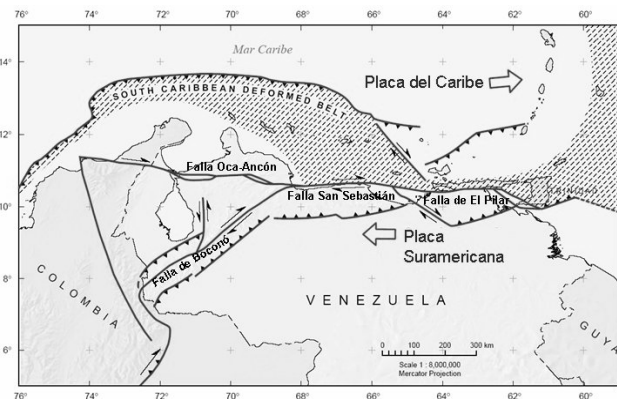


Fig. 1. El entorno tectónico venezolano

En base a la información geológica y sismológica (histórica e instrumental) se han elaborado en el país estudios de amenaza sísmica con el fin de estimar, con criterios probabilísticos, las aceleraciones máximas en roca esperadas para el diseño de estructuras. El mapa de zonificación sísmica de la Norma COVENIN 1756-2001 "Edificaciones Sismorresistentes", mostrado en la Fig. 2, divide al país en siete zonas que pueden ser clasificadas como de muy alta, elevada, moderada y baja amenaza sísmica; con amplitudes de aceleraciones que tienen un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años; cuyo objetivo de desempeño estructural alcanza el nivel de Seguridad Estructural, en el cual se permite a las edificaciones incursionar en el rango inelástico hasta alcanzar niveles de daños en componentes estructurales, pero sin que se produzca la condición de colapso estructural.

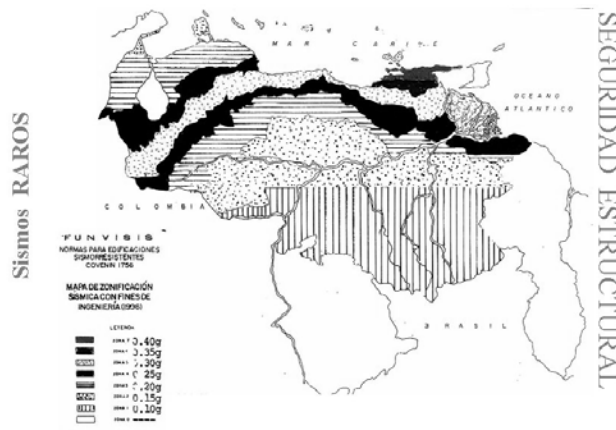


Fig. 2. Mapa de zonificación sísmica de Venezuela

De acuerdo a datos que aparecen en López, O., et al 2004, cuya fuente es el Ministerio de Educación, existen un total de 28.119 unidades educativas desde preescolar hasta bachillerado. Tal como muestra la Tabla 1, un 70%, aproximadamente, de las escuelas (19.515 unidades), se encuentran expuestas a amenazas que van de elevada a muy elevada. Es de hacer notar que las aceleraciones máximas asociadas a cada zona sísmica se incrementan en 30% para el diseño de escuelas de acuerdo al factor de importancia establecido por la norma sismorresistente venezolana, dado el carácter de edificaciones esenciales al cual pertenecen.

Tabla 1. Distribución de las escuelas en las diferentes zonas sísmicas del país

Amenaza sísmica	Zona	Aceleración (g)	Número de escuelas	% de escuelas
Muy alta	6 - 7	0,46 - 0,52	1.671	5,9
Elevada	4 - 5	0,33 - 0,39	17.844	63,5
Moderada	2 - 3	0,20 - 0,26	7.698	27,4
Baja	0 - 1	≤ 0,13	906	3,2
Total =			28.119	100

La mejora en las redes de detección sísmica que incorporan software y equipos de registro en la zona, la realización de estudios de paleosismicidad y los nuevos conocimientos en la geotectónica de la región ha generado nueva y valiosa información que ha permitido un mejor conocimiento de las características tectónicas del Occidente de Venezuela y con ello, la generación de nuevos trabajos que persiguen la estimación de la amenaza sísmica en diferentes estados de la región.

Una de las últimas investigaciones en torno a la amenaza de la ciudad de Mérida aparece en (Bendito, A., et al., 2001). En este trabajo se divide la región del Occidente venezolano en catorce fuentes sísmicas, tal como se muestra en la Fig. 3. La curva de recurrencia sísmica determinada para la fuente A4 que contiene a la ciudad de Mérida, permite estimar el período de retorno para sismos de diferentes magnitudes Fig. 4.

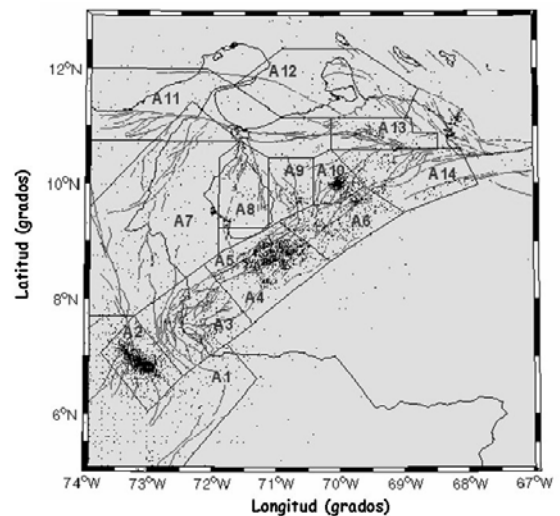


Fig. 3. Delimitación de fuentes sísmicas (Bendito, 2001)

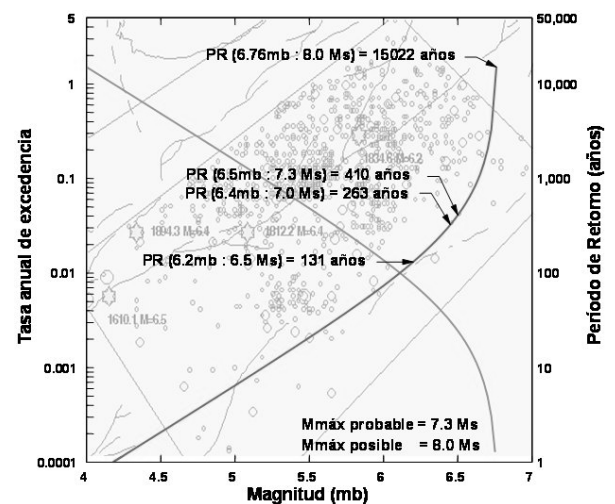


Fig. 4. Ley de recurrencia sísmica y períodos de retorno, para la fuente sísmica A4, (Bendito, 2001)

Los eventos que históricamente han sacudido violentamente varias poblaciones del estado Mérida y específicamente la ciudad de Mérida, se sucedieron en el Terremoto de 1610 con una magnitud estimada de $M_s=7.3$ (6.5mb); el Terremoto de 1812 con una magnitud estimada de $M_s=7.0$ (6.4mb), aunque aún persisten dudas sobre las características de este evento; y el gran Terremoto de Los Andes venezolanos, el día 28.04.1894 a las 10:00 pm, que con una magnitud estimada de $M_s 7.0$ (6.4mb) arruinó a Mérida, Santa Cruz de Mora, Zea, Tovar, Mesa Bolívar, Lagunillas, Chiguará y otros pueblos. A pesar de que el epicentro de este evento se ubica en una zona prácticamente despoblada en la serranía de Onia cerca de Santa Cruz, causó más de 345 muertes y destruyó poblados a lo largo de 60 km entre Mérida y Tovar. En Mérida se reportaron 116 temblores durante los tres meses siguientes, de los cuales 16 ocurrieron durante la misma noche del terremoto. Este ha sido,

hasta la fecha, el último terremoto que ha sucedido en la región occidental de Venezuela, hace ya 113 años.

De la Fig. 4 puede estimarse el período de retorno para sismos de diferentes magnitudes. De esta manera, el período de retorno estimado para eventos como el de 1610 ($M_s=7.3$) es de 410 años; para sismos de magnitud $M_s=7.0$ es de 263 años; para sismos de magnitud $M_s=6.5$ es de 131 años, aproximadamente. El período de retorno para sismos de magnitud $M_s=6.2$ (6.1mb) es de 97 años y para $M_s=6.0$ es de 80 años, aproximadamente.

Esto hace prever la posibilidad de que se puedan presentar sismos con magnitud igual o superior a $M_s=6.0$, prácticamente, en cualquier momento, aunque estas estimaciones estadísticas y probabilísticas están rodeadas de algunas incertidumbres, por lo que no son eventos predecibles en tamaño ni tiempo.

La curva de amenaza sísmica para la ciudad de Mérida determinada en (Bendito, 2001), que se presenta en la Fig. 5, estima niveles de aceleraciones máximas en roca para cuatro niveles de desempeño estructural que se corresponden con los niveles de diseño sísmico de VISION 2000. Para el estado límite de Seguridad Estructural, 10% de probabilidad de excedencia en 50 años ($TR=475$ años), la aceleración máxima es de 0.37g (percentil 84, que representa la media mas una desviación estándar). Este nivel de aceleración, junto con los otros determinados para diferentes sismos que pueden ocurrir bajo diversos niveles de frecuencia, conforman amplitudes que pueden producir de leves a fuertes niveles de daños en diversas tipologías estructurales, dentro de la ciudad de Mérida.

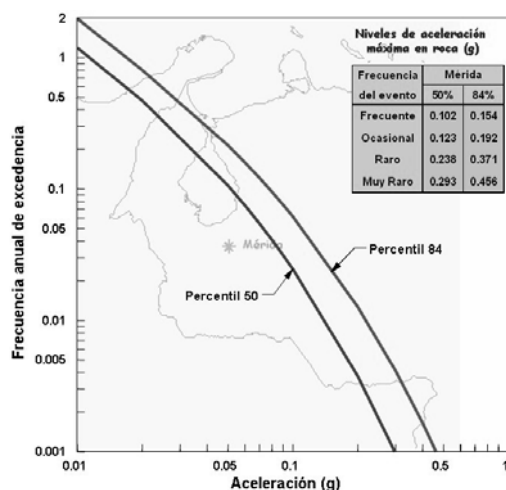


Fig. 5. Curva de amenaza sísmica para la ciudad de Mérida (Bendito, 2001)

Por ello, se justifica la realización de estudios que intenten aproximarse a valorar los niveles de vulnerabilidad estructural que puedan tener las edificaciones de la ciudad, especialmente, aquellas consideradas como esenciales, tal como es el caso de las edificaciones que sirven a propósitos educativos. Como una fase inicial se plantea una evaluación de un grupo de edificaciones escolares mediante una

evaluación cualitativa que permita identificar, preliminarmente, cuales son las edificaciones que puedan presentar mayor daños por causas sísmicas para, posteriormente, efectuar análisis cuantitativos mas detallados que permitan conocer con mayor precisión las capacidades reales de la estructura para soportar las demandas de un sismo fuerte regional.

3 Estudios de vulnerabilidad en escuelas venezolanas

En el país se han desarrollado diversos estudios de vulnerabilidad sísmica por parte de distintas universidades y organismos gubernamentales.

El terremoto de Cariaco en el año de 1997, encendió una clara alerta sobre los elevados niveles de riesgo que se ciernen sobre las edificaciones escolares del país. Las figuras 6 y 7 muestran parte de los daños sufridos por dos estructuras que servían como instituciones educativas, la Escuela Básica "Valentín Valiente" y el Liceo "Raimundo Martínez Centeno".



Fig. 6. Colapso del colegio Valentín Valiente en Cariaco, 1997



Fig. 7. Colapso del primer piso de los cuatro del Liceo Raimundo Martínez en Cariaco (1997)

Un grupo de destacados investigadores ha emprendido el estudio de edificaciones de escuelas que han sido construidas de manera repetitiva en el país. Para ello, se han estudiado los modelos, los mecanismos de falla, las deficiencias debidas a las normativas sísmicas desactualizadas, y a partir de toda información, se han diseñado mecanismos de intervención para incrementar su resistencia ante sismos y solventar las deficiencias estructurales. Ese esfuerzo es una contribución que da los primeros pasos, pero el tema requiere de toma de decisiones importantes por parte de los organismos públicos, para estudiar todos los modelos de escuelas existentes en el país, diseñar los refuerzos y proceder a su urgente reparación (Genatios y col., 2003).

En la ciudad de Mérida existen una gran cantidad de edificaciones que tienen más de 30 años de construidas, presentan algún grado de deterioro, edificaciones similares a las colapsadas durante el terremoto de Cariaco (1997), y otras que están levantadas en los alrededores de la terraza cuyos suelos presentan pendientes muy altas e inestabilidad.

En el estado Mérida la iniciativa sobre estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales es llevada, fundamentalmente, por la Universidad de Los Andes (ULA) a través de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y por la Fundación para la Prevención de Riesgos Sísmicos (FUNDAPRIS), donde la junta directiva tiene una representación de la Zona Educativa No. 12, del Ministerio de Educación.

Particular atención merece el programa educativo implementado en las escuelas elementales y secundarias del Estado. Durante los últimos seis años, el Ministerio de Educación ha permitido introducir cambios en los programas docentes de estos planteles para enseñar tópicos como, identificación y caracterización de los peligros naturales, particularmente, el sísmico en la región de los Andes venezolanos, evaluación de la seguridad de viviendas y del sitio donde están ubicadas, comportamiento humano en caso de desastres, ejercicios de evacuación, primeros auxilios y otras técnicas de autoprotección ciudadana. Para este programa, FUNDAPRIS ha preparado un extenso manual dirigido principalmente a los maestros y profesores con los tópicos a ser tratados, insistiendo en ejercicios prácticos, simulación de escenarios de desastres y aspectos metodológicos de la enseñanza. Por otro lado, varias veces al año, se organizan talleres de dos días de duración a objeto de actualizar a los maestros en estos tópicos, discutir con ellos los aspectos metodológicos, procedimientos de evacuación en cada plantel y evaluar la marcha general del programa.

Las escuelas de la ciudad de Mérida se encuentran distribuidas a todo lo largo y ancho de la ciudad. Según el directorio de planteles de educación básica, distrito escolar No. 1, perteneciente a la zona educativa No. 14 de Mérida, Estado Mérida, para el año 2001-2002 cuenta con un inventario de 130 planteles entre públicos y privados, distribuidos en todas las 15 parroquias que conforman el municipio Libertador.

En este trabajo, se evalúa la vulnerabilidad sísmica en términos cualitativos a sesenta y cinco (65) edificaciones escolares pertenecientes a once (11) parroquias del municipio Libertador, que son las que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de las edificaciones escolares en estudio por parroquia, Municipio Libertador

Parroquias	Nº de edificación escolar	% del Total
J.J. Osuna Rodríguez	9	13
Juan Rodríguez Suárez	7	11
Milla	5	8
Sagrario	3	5
Spinetti Dinni	12	18
Domingo Peña	8	12
Mariano Picón Salas	11	17
Arias	2	3
Caracciolo Parra y Olmedo	2	3
El Llano	3	5
Lasso de la Vega	3	5
Total	65	100

4 Metodología de la evaluación cualitativa

El procedimiento de evaluación ejecutado en este trabajo toma como base el estudio del método cualitativo desarrollado en (Llanos y Vidal 2003) para la definición de la metodología empleada en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares en la ciudad de Cali, Colombia. Basados en esas apreciaciones se establece una evaluación pormenorizada sobre las características en las cuales hacer énfasis para identificar si hay aspectos característicos en las edificaciones escolares evaluadas y poder determinar su influencia en el grado de vulnerabilidad.

Cada parámetro se desarrolla mediante preguntas que integran los conceptos recogidos de varios métodos de evaluación. Se diseñan varios formularios de evaluación para facilitar la recolección de la información, especialmente, cuando el establecimiento está formado por varias edificaciones con diferentes tipologías estructurales y constructivas. Así se tienen un total de cuatro (4) formularios que se presentan en las tablas 3, 4, 5 y 6.

4.1 Formulario 1

Se utiliza para recoger la información general de toda la escuela clasificada en esta categoría: datos generales, un esquema de localización de la escuela, entorno y ubicación, suelos y seguridad y zonas de evacuación.

Tabla 3. Formulario 1, con las calificaciones de los parámetros para definir los rangos de vulnerabilidad

Parámetros	Opciones				Factores		
	a	b	c	d	a	b	c
ENTORNO Y UBICACIÓN							
1. ¿Cuál es la topografía presenta la zona donde se encuentra ubicada la edificación?	1	5	10				
1.1. ¿Si la pendiente es mayor a 30°, que condición se presenta?					1	1.2	
2. ¿Se encuentra en cercanías de un río?	1	10					
3. ¿Qué situación se presenta en las zonas aledañas a la escuela?	1	5	10				
4. ¿En que situación se encuentran las viviendas aledañas a la escuela?	1	3	5				
5. ¿Que tipo de estructura presentan las viviendas aledañas?	1	3	5				
6. ¿Si el cerramiento de la escuela tiene muros parcial o totalmente, en que estado se encuentra?	1	5	10				
Calificaciones parámetro entorno y ubicación	6	52					
SUELOS							
7. ¿Cual es el perfil del suelo de la zona?	1	5	7	10			
8. ¿Se evidencian fallas de elementos estructurales y no estructurales debidas a asentamientos diferenciales?	1	10	20				
Calificaciones parámetro suelos	2	30					
SEGURIDAD Y ZONA DE EVACUACIÓN							
9. ¿Existen elementos que puedan caer en una zona transitable?	1	10					
10. ¿Si hay edificaciones que tengan más de un piso y si tienen barandas metálicas en los corredores de los pisos superiores, estas se encuentran ancladas?	1	10					
11. ¿Los salones que se encuentran en malas condiciones han sido evacuados?	1	10					
12. ¿Existe facilidad en evacuar de las aulas hacia zonas libres con rapidez?	1	10					
13. ¿Se practican con frecuencia simulacros de evacuación en caso en caso de emergencia?	1	5	10				
Calificaciones parámetro seguridad y zona de evacuación	5	50					

4.2 Formulario 2

Se utiliza para recoger la información general por cada edificación que compone el establecimiento educativo. Las categorías que se manejan son: número de pisos, año de construcción, cambios de uso y ampliaciones, golpeteo, cubierta, aspectos geométricos y aspectos constructivos y grado de deterioro.

4.3 Formularios 3 y 4

Se emplea para evaluar la conformación y calidad del sistema estructural resistente de cada edificación. Para los pórticos de concreto se tienen en cuenta aspectos estructurales y no estructurales. Para edificaciones con muros confinados se hace el mismo análisis hecho para los elementos no estructurales de los pórticos de concreto.

4.4 Formulario de mediciones

Se diseña este formulario para recoger las dimensiones de columnas, vigas, altura de entrepiso, altura de elementos verticales, longitud y espesor de muros en cada dirección, al igual que las áreas de los muros y sus aberturas.

Existen dos tipos de preguntas en los formularios que podrían denominarse principales y otras que se derivan de éstas. Para las principales cada respuesta tiene una calificación determinada y para las derivadas cada respuesta se asocia a un factor por el cual se multiplica la calificación de la pregunta principal, con el objetivo de mantener o incrementar su magnitud.

Con las calificaciones asignadas a cada respuesta de los formularios, en cada una de las edificaciones escolares estudiadas, se obtuvieron dos valores para cada parámetro, los cuales corresponden al mínimo y máximo valor que puede resultar de la evaluación de cada escuela. Para cada uno de esos intervalos se definen cuatro sub-intervalos que representan los rangos de vulnerabilidad baja, media, alta y muy alta, dentro de los cuales se clasificó cada edificación, para cada parámetro de evaluación.

Tabla 4. Formulario 2, con las calificaciones de los parámetros para definir los rangos de vulnerabilidad

Parámetros	Opciones				Factores		
	a	b	c	d	a	b	c
NÚMERO DE PISOS Y EDAD							
1. Número de pisos	1	7	12				
2. Año de construcción	1	7	12				
3. Sistema estructural	–	–	–				
Calificaciones parámetro Edad y número de pisos	2	24					
CAMBIO DE USO Y AMPLIACIONES							
4. ¿Se ha cambiado el uso de la edificación?	1	5	12				
5. ¿Se le han hecho remodelaciones a la edificación?	0	0					
5.1. ¿En qué consistieron las remodelaciones hechas?	1	7	12				
5.1.1. Si la remodelación es en planta (afecta 6.1b)					1	1.15	
5.1.2. Si la remodelación es en altura (afecta 6.1c)					1	1.15	
Calificaciones parámetro Cambios de uso y ampliaciones	1	28					
GOLPETEO							
6. ¿Qué situación presenta la edificación, de acuerdo a su ubicación dentro la escuela?	1	5	10				
6.1. ¿Si la respuesta a la pregunta anterior es (b) ó (c), cuál de los siguientes casos se presenta?					1	1.2	
Calificaciones parámetro Golpeteo	1	12					
CUBIERTA							
7. ¿De qué material es la cubierta?	1	5	10				
8. ¿Cuál es la estructura de cubierta?	1	10					
9. ¿Sobre qué se encuentra apoyada la estructura de la cubierta?	1	5	10				
9.1. ¿Si hay columnas o apoyos de la cubierta en los corredores, de qué material son?					1	1.2	1.5
10. ¿Se presentan corrosión en los anclajes o amarres de la cubierta?	1	10					
Calificaciones parámetro Cubierta	4	45					
ASPECTO GEOMÉTRICOS							
11. ¿Qué irregularidades presenta en planta?	1	12	12				
11.1. ¿Es simétrico?					1	1.5	
11.2. ¿Qué relación existe entre las dimensiones en planta?					1	1.5	
12. Irregularidad en altura: ¿Hay continuidad en los muros verticalmente?	1	7	12				
13. ¿Qué proporción de muros estructurales existen en las dos direcciones principales del bloque?	1	5	10				
13.1. Medir área en planta (Ap), espesor (ti) y longitud de muros en ambos sentidos (L). ¿Se cumple que la longitud de muros en cada dirección sea $L \geq (Mo^2/Ap)^{1/2}$?					1	1.2	1.5
Calificaciones parámetro Aspectos geométricos	3	54					
ASPECTO CONSTRUCTIVOS Y GRADO DE DETERIORO							
¿Qué grado de deterioro presentan los siguientes elementos?							
14. La superficie de las paredes	1	7	10				
15. Los pisos	1	5	10				
16. Las cornisas	1	3	7				
17. ¿En qué estado se encuentran los bloques?	1	5					
18. ¿Cómo están dispuestos y colocados los bloques en el muro?	1	3	5				
Calificaciones parámetro Aspectos constructivos y grado de deterioro	7	37					

Tabla 5. Formulario 3, con las calificaciones de los parámetros para definir los rangos de vulnerabilidad

Parámetros	Opciones				Factores		
	a	b	c	d	a	b	c
ESTRUCTURA							
1. ¿Cómo es la continuidad de los elementos estructurales?	1	10					
2. ¿Hay cambio de sección a lo largo de las columnas?	1	10					
3. ¿Qué aspecto tiene el concreto de vigas, columnas y losas?	1	10					
3.1. ¿Se ven manchas amarillentas en la superficie del concreto?					1	1.2	
3.2. ¿Por qué razón se encuentra expuesto el acero?(afecta 3b)					1	1.2	
4. ¿Qué condiciones presentan los siguientes elementos estructurales?							
4.1. Las vigas.	1	10					
4.2. Las columnas.	1	7	10				
4.3. La losa.	1	10					
7. ¿Cuáles son las dimensiones predominantes de las columnas?	1	5	10				
8. ¿Qué proporción guardan las dimensiones de las vigas con respecto a las dimensiones de las columnas?	1	10					
Calificaciones parámetro Estructura	8	85					
MUROS Y ANTEPECHOS							
9. ¿Los muros se encuentran confinados por columnetas y vigas de amarre?	1	5	40				
9.1. ¿Existe buen contacto entre los muros y los elementos de confinamiento?(afecta a y b)					1	1.2	
9.2. ¿Cuál es el espaciamiento máximo entre elementos de confinamiento vertical?(afecta a y b)					1	1.2	
9.3. ¿Se evidencian pandeo en las columnetas?(afecta a y b)					1	1.2	
9.4. ¿Se evidencian deflexiones en las viguetas?(afecta a y b)					1	1.2	
9.5. ¿Cuál es el área transversal de columnetas y viguetas?(afecta a y b)					1	1.2	
10. ¿Se presenta columna corta en alguna zona de la edificación?	1	12					
11. ¿En que estado se encuentran los muros?	1	10					
12. ¿Tienen confinamiento las barandas?	1	10					
12.1. ¿Si no tienen confinamiento en qué piso se encuentran?(afecta 12b)					1	1.2	
13. ¿En que estado se encuentran las barandas?	1	10					
14. ¿Tienen confinamiento las culatas?	1	10					
15. ¿Qué % de área total del muro tienen las aberturas y distancia entre ellas?	1	10					
15.1. ¿Cómo es la longitud total de las aberturas con respecto a la longitud del muro?					1	1.2	
15.2. ¿Qué distancia existe desde el borde del muro hasta la abertura adyacente?					1	1.2	
Calificaciones parámetros Muros y Antepechos	7	109					

Tabla 6. Formulario 4, con las calificaciones de los parámetros para definir los rangos de vulnerabilidad

Parámetros	Opciones				Factores		
	a	b	c	d	a	b	c
1. ¿Los muros se encuentran confinados con columnetas y viguetas?	1	10	20				
1.1. ¿Existe buen contacto entre los muros y los elementos de confinamiento?					1	1.2	
1.2. ¿Cuál es el espaciamiento máximo entre elementos de confinamiento?					1	1.2	
1.3. ¿Se evidencia pandeo en las columnetas?					1	1.2	
1.4. ¿Se evidencian deflexiones en las vigas de amarre?					1	1.2	
1.5. ¿Cuál es el área transversal de columnetas y viguetas?					1	1.2	
2. ¿Cómo es la continuidad de los elementos estructurales?	1	10					
3. ¿Qué aspecto tiene el concreto de viguetas y columnetas?	1	10					
3.1. ¿Se ven manchas amarillentas en la superficie del concreto? (afecta a 3)					1	1.2	
3.2. ¿Por qué razón se encuentra expuesto el acero? (afecta a 3b)					1	1.2	
4. ¿En qué estado se encuentran los muros?	1	10					
5. ¿Tienen confinamientos las barandas?	1	10					
5.1. ¿Si no tienen confinamiento en qué piso se encuentran? (afecta 8b)					1	1.2	
6. ¿En qué estado se encuentran las barandas?	1	10					
7. ¿Tienen confinamiento las culatas?	1	10					
8. ¿Qué % de área total del muro tienen las aberturas y distancia entre ejes?	1	10					
8.1. ¿Cómo es la longitud total de las aberturas con respecto a la longitud del muro?					1	1.2	
8.2. ¿Qué distancia existe desde el borde del muro hasta la abertura adyacente?					1	1.2	
9. ¿Se presenta columna corta en alguna zona de la edificación?	1	12					
Calificaciones parámetro Estructura	9	143					

A medida que se fueron evaluando las escuelas mediante el procedimiento definido en Llanos y Vidal (2004), se hizo necesario una calibración de los porcentajes de incidencia de algunos parámetros con el fin de ajustar algunas ponderaciones estipuladas en el procedimiento original para calibrar en mejor medida las aplicaciones al caso en estudio, verificando para todos los establecimientos que correspondiera un grado de vulnerabilidad consistente con las condiciones observadas. En la Tabla 7 se muestra un resumen de las calificaciones parciales obtenidas y los porcentajes de incidencia finales. En ella puede observarse que los formularios y los parámetros difieren en la cantidad de preguntas y, por tanto, los puntajes obtenidos para cada parámetro de evaluación no se encuentran normalizados.

Tabla 7. Rangos de vulnerabilidad, calificaciones y porcentajes de incidencia

Parámetro	Calific.		Rango de vulnerabilidad								% de Incidencia
	Min	Máx	Bajo		Medio		Alto		Muy alto		
			Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	
Formulario 1											
Entorno y ubicación	6	52	6	18	18	29	29	41	41	52	1
Suelos	2	30	2	9	9	16	16	23	23	30	15
Seguridad y zona de evacuación	3	50	3	15	15	27	27	38	38	50	1
Formulario 2											
Edad y numero de pisos	2	24	2	7	7	13	13	18	18	24	2
Cambio de usos y ampliaciones	1	28	1	7	7	14	14	21	21	28	2
Golpeteo	1	12	1	4	4	7	7	9	9	12	2
Cubierta	4	45	4	14	14	25	25	35	35	45	2
Aspectos geométricos	3	54	3	15	15	27	27	40	40	54	15
Aspectos constructivos y grado de deterioro	5	37	5	13	13	21	21	29	29	37	10
Formulario 3											
Estructura: pórtico en concreto	8	85	8	27	27	47	47	66	66	85	30
Muros y antepechos	7	109	7	33	33	58	58	84	84	109	20
Total 1	42	526	42	162	162	284	284	404	404	526	100
Formulario 4											
Estructura: Muros confinados	9	143	9	43	43	76	76	110	110	143	50
Total 2	38	477	38	148	148	258	258	367	367	477	100

Para normalizar las calificaciones se consideraron intervalos uniformes con valores para cada rango de vulnerabilidad, los cuales fueron tomados a partir de los valores que utiliza el método del índice de vulnerabilidad para las categorías A, B, C y D, con puntajes de 0, 5, 25 y 45, respectivamente. La facilidad de adaptación de los parámetros definido en este estudio con los parámetros de evaluación que plantea el método del índice de vulnerabilidad, hizo posible su aplicabilidad en la definición de la forma de calificación de los parámetros. Fue necesario entonces, convertir los intervalos definidos en la Tabla 7 a una calificación comprendida en los intervalos normalizados mostrados en la Tabla 8, en la cual se muestra las formulas para calcular el equivalente del valor de "x", siendo este la calificación resultante del formulario, en el intervalo estandarizado. Con todos los puntajes convertidos a los intervalos normalizados se procede a determinar el grado de vulnerabilidad total, calculando el promedio ponderado de todos los parámetros, de acuerdo con el porcentaje de incidencia que se definió para cada uno.

Tabla 8. Intervalos normalizados de acuerdo con el grado de vulnerabilidad

Grado de vulnerabilidad	Intervalo normalizado	Formula de conversión(*)
Bajo	De 0 a 10	$\left(\frac{10}{\text{sup} - \text{inf}}\right) * (x - \text{inf})$
Medio	De 10 a 20	$10 + \left(\frac{10}{\text{sup} - \text{inf}}\right) * (x - \text{inf})$
Alto	De 20 a 30	$20 + \left(\frac{10}{\text{sup} - \text{inf}}\right) * (x - \text{inf})$
Muy alto	De 30 a 40	$30 + \left(\frac{10}{\text{sup} - \text{inf}}\right) * (x - \text{inf})$

5 Resultados

Las visitas a los distintos planteles educativos permitieron constatar aspectos importantes sobre las condiciones en las cuales se encuentran las escuelas. Muchos de estos aspectos estaban incluidos dentro de los parámetros y eran objeto de evaluación y calificación.



Fig. 8. (Izq.) Cercanía del río La Pedregosa con la U.E. Ramón Ignacio Guerra, (Der.) Daños ocasionados durante la crecida del río

En la Fig. 8 se observa la cercanía de la fachada posterior de la U.E. Ramón Ignacio Guerra, respecto al río La Pedregosa y los daños que ocasionó el río durante una crecida que propició la pérdida total de la cancha de usos múl-

tiples. El margen del río permanece en contacto con la parte posterior de la unidad educativa, lo que puede seguir acarreando daños en el futuro. Muchas estructuras se encuentran construidas en pendientes importantes. La Fig. 9 corresponden a la U.E. Las Quebraditas construida en una pendiente superior a los 30° y la Fig. 10 muestra el detalle de la conexión del techo, evidentemente, poco adecuado.



Fig. 9. U.E. Las Quebraditas en una pendiente mayor de 30 grados



Fig. 10. Detalle de la unión central del techo de la U.E. Las Quebraditas

La Fig. 11 muestra el estado del muro estabilizador lateral de la U.E. Loma de la Virgen Baja, con una aparente inclinación.



Fig. 11. U.E. Loma de la Virgen Baja donde se observa el muro estabilizador con una aparente inclinación ante el empuje del terreno.

En muchas escuelas se observaron deterioros en com-

ponentes no estructurales causados, probablemente, por asentamientos del terreno. Tal es el caso de la U.E. Los Maitines, mostrado en la Fig. 12, donde se evidencia el deterioro de la cancha deportiva por problemas de asentamientos diferenciales del terreno. Igual situación se presenta en el Centro Escolar Especial No. 1, donde se observan en varias paredes y pisos agrietamientos importantes, que requieren de la atención de las autoridades.



Fig. 12. Cancha deportiva U.E. los Maitines con desniveles producto de asentamientos diferenciales del terreno



Fig. 13. Agrietamiento por asentamiento en paredes del Centro Escolar Especial No. 1

En el entorno de algunas escuelas se encuentran árboles que, en algunos casos, caen y pueden ocasionar daños. Tal es el caso de la U.E. Caracciolo Parra Fig.14. Afortunadamente, no había estudiantes en el momento del suceso. En algunas edificaciones se acometieron trabajos de remodelación y ampliaciones que, en algunos casos, acarrear modificaciones de cargas y de distribución de rigidez. Cuando estas modificaciones se hacen sin supervisión de profesionales y organismos competentes pueden traer consecuencias en el comportamiento de la estructura. Otro caso común es el deterioro de las cercas perimetrales. Toda la información está documentada por cada edificación, y en una detallada forma fotográfica, la cual se espera hacer llegar a las autoridades competentes a fin de que conozcan los principales problemas que presentan cada una de estas es-

cuelas.



Fig. 14. Caída de un árbol en las cercanías de la U.E. Caracciolo Parra

5.1 Desagregación de la información obtenida en campo

Los resultados de la evaluación del parámetro entorno y ubicación muestra que el 62% de las edificaciones se encuentran bajo un índice de vulnerabilidad medio, un 12% con una alta vulnerabilidad y un 3% con una muy alta vulnerabilidad, tal como se observa en la Fig. 15.

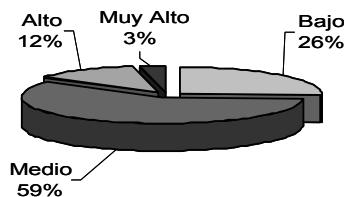


Fig. 15. Distribución porcentual del parámetro entorno y ubicación

En cuanto a la topografía de la zona, el 28% se encuentran construidas en pendientes que tienen entre 20° y 30°, y un 72% se encuentran ubicadas en zonas con pendiente superior a los 30° ver Fig. 16.

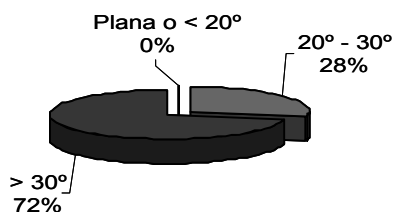


Fig. 16. Distribución porcentual del parámetro Topografía de la zona

La distribución porcentual del parámetro Seguridad y Zonas de Evacuación, muestra que el 6% de las escuelas tiene un rango de vulnerabilidad bajo, 92% medio y 2% alto. En la Fig. 17 se muestra que los simulacros de evacuación son frecuentes en un 2% de las instituciones, poco frecuentes en un 40% y en un 58% de las escuelas nunca se han realizado simulacros de evacuación. Esto es preocupante y deben motivar a preparar debidamente a estudiantes y maestros para conocer como realizar las tareas de evacuación en caso de emergencia.

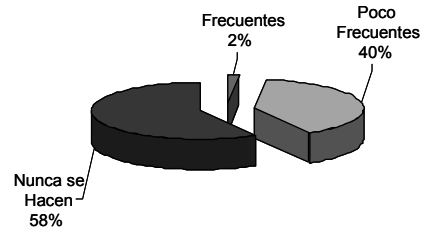


Fig. 17. Distribución porcentual del parámetro Simulacros de Evacuación

La Fig. 18 presenta la distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad por el parámetro Número de Pisos y Edad, se tiene que un 12% de las escuelas se encuentran con un nivel de vulnerabilidad bajo, un 47% con vulnerabilidad media, un 23% con vulnerabilidad alto y un 18% con vulnerabilidad muy alta. El 38% de las escuelas fueron construidas antes de 1982, un 48% entre 1982 y 1998, y un 14% fueron construidas después de la entrada en vigencia de la última norma sismorresistente venezolana.

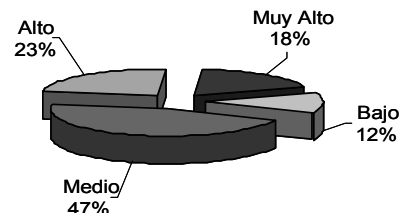


Fig. 18. Distribución porcentual del parámetro Número de Pisos y Edad

5.2 Índice del grado de vulnerabilidad total

El grado de vulnerabilidad total se estimó individualmente para 99 edificaciones que componen los 65 planteles; mediante un ponderado para cada parámetro de acuerdo a lo descrito en el punto 4. De esta manera, el 49% de estas edificaciones presenta un grado de vulnerabilidad bajo y un 51% un grado de vulnerabilidad medio, tal como se muestra en la Fig. 19.

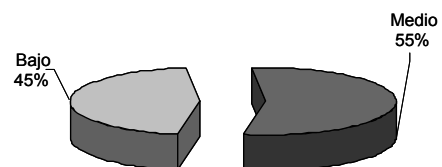


Fig. 19. Distribución porcentual del grado de vulnerabilidad total

5.3 Observaciones sobre algunas escuelas visitadas

Se reseñan observaciones realizadas por el personal docente y obreros de algunas escuelas visitadas y que pudieron ser corroboradas durante la inspección Tabla 9. Parte de sus inquietudes no se encontraban en las preguntas de los formularios. La mayor parte de las observaciones tienen que ver con trabajos urgentes de mantenimiento. En muchos casos, estos planteamientos habían sido dados a conocer a las autoridades correspondientes, pero no habían sido

atendidos a la fecha. Es importante mencionar que existe una gran preocupación del personal docente en torno al problema sísmico y un gran interés por ampliar la enseñanza y los conocimientos sobre terremotos para mitigar los daños en caso de sismos severos.

Tabla 9. Observaciones realizadas por el personal de algunas escuelas

Plantel	Observación
E.B. "José María Velaz."	Las tribunas de la cancha se encuentra con grietas de considerable separación y debajo de estas hay salones.
Liceo Libertador.	El módulo 1 se presenta alto grado de deterioro (filtraciones y acero expuesto)
E.B. "Vicente Dávila."	Se observó una sola junta de dilatación en toda la estructura.
E.B. "Rafael Antonio Godoy"	No se observó muro estabilizador y la estructura se encuentra a una distancia cercana al talud.
U.E. Bolivariana "Bella Vista."	El muro estabilizador ubicado hacia la parte de arriba de la escuela presenta grietas considerables.
U.E. Ramón Ignacio Guerra	No se observaron vigas de amarre en el primer y segundo piso, solo en el tercer piso
U.E. Mons. Dr. Santiago Hernández	Se observan asentamientos en el patio y el cerramiento se encuentra inclinado.
U.E. 15 de Enero	Se observan aumento de las fisuras en el piso y grietas en las paredes debido a los movimientos sísmicos de Diciembre.
U.E. El Rodeo	En la cancha deportiva se observan asentamientos.
E.B. 10 de Diciembre.	Las lámparas están colgadas del machihembrado, provocando goteras.
U.E. Caracciolo Parra	Se encuentran dos salones desalojados con rastros de incendio,
Escuela Mérida N° 023 Santa Rosa.	La edificación se encuentra cerca del río y el muro armado sobre sale unos metros y sobre él se encuentra un muro confinado de bloque.
U.E. Rómulo Betancourt	En la parte de arriba de la escuela no hay muro estabilizador, solo esta terracedo y hay mucha humedad.
U.E. Bolivariana Loma de la Virgen Baja	Los muros estabilizadores se encuentran en alto grado de deterioro (grietas), presentan inclinación ante el empuje del terreno.
E.B. Eloy Paredes	La Escuela cuenta con dos tanques para agua potable en la losa del techo.
Pre-escolar Parque Ciudad de los Niños	Se encuentra cerca de un río y no tiene muro estabilizador aguas arriba.
Pre-escolar Virgen de las Nieves	Los marcos de las puertas se han descuadrado con el tiempo.
Centro Pre-escolar Especial N° 1	La escuela se encuentra a 10 m. del talud y a presentados asentamientos, todas las paredes del lado del talud tienen fisuras.
Escuela Estatal U.E. Las Quebraditas	El muro que estabiliza el terreno sobre la cual se encuentra la escuela, presenta grietas.
U.E. Cecilio Acosta	El cerramiento que esta hacia la laguna presenta inclinación.
U.E. El Rincón	La edificación se encuentra sobre una naciente de agua. Presenta asentamientos.
U.E. Bolivariana los Maitines	Cerca de dicha institución están realizando la construcción de un conjunto residencial tipo Edificio, lo cual genera inquietud a los directivos del plantel por problemas futuros del terreno.
E.B. Emiro Fuenmayor	Las vigas de amarre llegan a la columna mas abajo que las vigas de carga.
U E Josefa Molina de Duque	

6 Conclusiones

- El estudio revela que el 51% de los planteles presenta un rango de vulnerabilidad medio y un 49% un rango de vulnerabilidad bajo. Sin embargo, un buen número se encuentran con índices de vulnerabilidad alto y muy alto cuando se evalúa algún parámetro en forma individual
- Los problemas de deterioro físico de las edificaciones, fallas en los muros, asentamientos de los suelos y aspectos constructivos, son una situación generalizada en la mayoría de las escuelas de la ciudad de Mérida, que requieren trabajos menores y mayores de mantenimiento.
- El hecho de que un 78% de las edificaciones educativas se encuentren ubicadas en pendientes mayores de 30°, y que de éstas, el 30% no dispongan de muros estabilizadores, puede afectar el desempeño y la utilidad de estas edificaciones en caso de sismos o deslizamientos producto de

lluvias, por lo que requieren de pronta atención.

- Los suelos de fundación son de gran importancia para la funcionalidad de las edificaciones y la seguridad de los ocupantes. La mayoría de las edificaciones estudiadas presentan problemas en la tabiquería (fisuras, grietas, etc.), probablemente, consecuencia de asentamientos del suelo.
- La falta de capacitación del personal directivo y docente en temas de prevención y mitigación de desastres se pone de manifiesto en la mayoría de las instalaciones educativas. Esto se agrava por la presencia de elementos no estructurales que no están bien amarrados a la estructura y que, en caso de sismo, pueden caer en zonas transitables.
- En 21% de las edificaciones se realizó algún tipo de remodelación. Un 10% por actualización a la norma sísmica, un 24% por ampliación en planta y un 66% a ampliación en altura.
- El 81% de las edificaciones presenta algún grado de deterioro por presencia de humedades, filtraciones y fisuras, un 5% tiene un alto grado de deterioro por este concepto y un 14% no presentan este tipo en sus paredes o muros.

Recomendaciones

- Una parte de las edificaciones arrojaron valores en el límite para una vulnerabilidad alta. De éstas, la Escuela Raimundo Centeno y el Liceo Libertador fueron las de mayor puntaje, por lo que se sugiere que sean evaluados mediante un análisis más detallado.
- Resulta importante que los organismos públicos atiendan con diligencia y prontitud las solicitudes de las instituciones educativas para evitar su deterioro progresivo, ya que esto contribuye a elevar el nivel de vulnerabilidad.
- Es necesario implementar o extender programas de capacitación a estudiantes, docentes y empleados, para que estén en capacidad de identificar a tiempo los problemas que pueden generarse y hacer el seguimiento de las condiciones físicas de estos establecimientos.

Referencias.

- Bendito A, 2001, Análisis de sismicidad y curvas de isoaceleración para estados de desempeño estructural en el Occidente venezolano, Tesis de Maestría en Ingeniería Estructural, Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida, Venezuela.
- Genatios C y Lafuente M, 2003, Terremotos, peligro y prevención, <http://www.voltairenet.org/article138263.html>.
- Llanos L y Vidal L, 2003, Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali. Una propuesta metodológica, Trabajo de Grado Ingeniería Civil, Universidad del Valle, Colombia.
- López O, Del Rey G, Hernández J y Puig J, 2004, Reducción del riesgo sísmico en escuelas en Venezuela, Boletín IMME, Vol. 42, No. 3, 33-56, Caracas, Venezuela.