

Vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar urbana en Girardot-Cundinamarca

Aldemaro Gulfo Mendoza^A, Luis Fernando Serna Hernández^B

^A Universidad Piloto de Colombia–Bogotá,

^B Universidad Viña del Mar-Chile

g-magulfo@unipiloto.edu.co, luis-serna@upc.edu.co

RESUMEN

El presente artículo exhibe un análisis de la vulnerabilidad sísmica en la estructura de 36 instituciones educativas públicas del sector urbano del municipio de Girardot – Cundinamarca. La metodología para este análisis está basada en la propuesta de Cardona y Hurtado, y en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; permitiendo evaluar cualitativamente las estructuras. Para este análisis, se realizó una caracterización y una modelación numérica de las estructuras, logrando el cálculo de las solicitaciones sísmicas, los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad, para establecer una estimación del nivel de vulnerabilidad de las estructuras. La tipología general de las estructuras (un piso) marcó la tendencia hacia una vulnerabilidad baja (66.83%).

PALABRAS CLAVES

Sismo, Vulnerabilidad, Rehabilitación, Sismo Resistencia, Esfuerzo, Flexibilidad.

ABSTRACT

This article shows an analysis of the seismic vulnerability in the structure of 36 public educational institutions in the urban sector of the municipality of Girardot - Cundinamarca. The methodology for this analysis is based on the proposal by Cardona and Hurtado, and the Colombian Earthquake Resistant Building Regulations NSR-10; allowing to evaluate the structures. To develop this analysis, a characterization and numerical modeling of the structures was performed, achieving the calculation of seismic, rates of overstrain and flexibility to establish an estimate of the level of vulnerability of the structures. The general types of structures (single floor) result in a tendency of low vulnerability (66.83%).

KEYWORDS

Earthquake, Vulnerability, Rehabilitation, earthquake resistance, Effort, Flexibility.

INTRODUCCIÓN

La amenaza sísmica en el territorio colombiano está claramente documentada y además soportada en el hecho completar un ciclo de tres versiones de normatividad sismo resistente. En esta normatividad, inspirada en la actual Constitución

Nacional, se propende por “la preservación de la vida honra y bienes” de los ciudadanos colombianos, específicamente ante la ocurrencia de un evento sísmico. Para esto en parte de su articulado se dan las indicaciones para los estudios de vulnerabilidad de estructuras existentes, con el fin de calificar su desempeño ante movimientos telúricos y determinar así la necesidad o no de su reforzamiento. El caso específico del presente estudio tiene como alcance el análisis de la infraestructura de instituciones educativas de nivel básico primaria y secundaria del sector público, pretende, en términos generales:

1. Realizar una evaluación general del comportamiento sísmico de las estructuras destinadas a ofrecer servicios educativos en el municipio.
2. Proponer modelos analíticos-matemáticos del comportamiento sísmico de instalaciones representativas del conjunto de estructuras destinadas a ofrecer servicios educativos en el municipio.
3. Proponer una calificación general de la vulnerabilidad de edificaciones educativas del municipio.

Como metodología de trabajo se procedió a la revisión de diferentes sistemas de medidas de vulnerabilidad, para luego aplicar la más adecuada a un escenario de diferentes tipologías de estructuras, como las que se encuentran en el municipio de Girardot.

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES

La vulnerabilidad estructural por causa de un sismo se refiere a la susceptibilidad que la edificación presenta frente a posibles daños en aquellas partes del sistema estructural que lo mantienen en pie ante un sismo intenso. Las metodologías para su evaluación han sido especial objeto de recopilación en trabajos de pregrado llevados a cabo en universidades colombianas.¹ La clasificación básica de estas metodologías las diferencia en analíticas y cualitativas.

Los métodos analíticos tienen su funcionamiento en la interacción de un modelo numérico que representa la estructura estudiada con la carga de un sismo probable. Su aplicabilidad se presta para

discusión, dada la alta complejidad del modelo usado y la disponibilidad de datos confiables para su conformación.²

El referente legal para Colombia de este tipo de metodología se encuentra en el actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR 10. En el capítulo A.10 de la mencionada norma se consignan los pasos para la conformación de un modelo linealmente elástico de la estructura en estudio y la posterior evaluación de su capacidad de carga. Los datos resultantes permiten asignar a la estructura su nivel de vulnerabilidad.

Otras metodologías de enfoque analítico tienen aplicabilidad para sistemas constructivos específicos,^{3,4} otras se centran en la evaluación post sismo de los sistemas de refuerzo con miras a proyectar su rehabilitación.⁵

Los métodos cualitativos permiten hacer la evaluación de la estructura en forma rápida y sencilla, a través de observación en campo de sus condiciones. Por esta razón, permite obtener estimativos de vulnerabilidad de zonas urbanas. El referente nacional para estas metodologías es la propuesta de Cardona y Hurtado,⁶ la cual ha sido ampliamente aplicada en el país, especialmente en la implementación de planes de prevención y mitigación de desastre.

METODOLÓGICA

La revisión de metodologías muestra que tanto los métodos cuantitativos como los cualitativos hacen referencia a edificaciones individuales, no a conjuntos de edificaciones. Para hacer evaluaciones en conjunto es factible el análisis estadístico de los resultados de las evaluaciones individuales de las estructuras que conforman la muestra.

Para el caso de análisis cuantitativos detallados la opción estadística se complica dado el esfuerzo que implica hacer un modelo matemático individual. Adicional a esto, cada institución puede contener más de una edificación, multiplicándose así el número de modelos a realizar. Los métodos cualitativos se adaptan mejor a la opción estadística, pero su nivel de confiabilidad puede presentar variaciones frente a casos individuales. Por lo anterior se adopta la siguiente metodología de evaluación para concretar el proyecto:

1. Evaluación cualitativa de las estructuras objeto del proyecto, de manera global por centro educativo, según el procedimiento propuesto por Cardona y Hurtado:
 - Caracterización, mediante visita de campo, de las condiciones estructurales de las edificaciones objeto de estudio.
 - Ponderación de las condiciones estructurales de las edificaciones objeto de estudio, según metodologías cualitativas aceptadas.
 - Formulación cualitativa de un índice de vulnerabilidad del conjunto de edificaciones objeto de estudio.
2. Análisis detallado de la estructura de dos de las instalaciones educativas en estudio, según procedimiento propuesto en NSR 10:
 - Levantamiento en campo de características estructurales tales como: La geometría, secciones estructurales, tipo de materiales, etc.
 - Determinación de las sollicitaciones sísmicas para estas estructuras, con su correspondiente modelación numérica.
 - Cálculo de índices de sobreesfuerzo y formulación de un índice de vulnerabilidad de las dos instalaciones analizadas en detalle.
3. Comparación de los resultados obtenidos para los dos análisis.

ANÁLISIS DE CONTEXTO: GIRARDOT Y SU INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA PÚBLICA

Las instituciones educativas objeto de estudio se encuentran ubicadas dentro del perímetro urbano del municipio de Girardot, este municipio se sitúa al suroccidente de Cundinamarca en la Región del



Fig. 1. Comunas de la ciudad de Girardot.

Alto Magdalena, estrecho entre la cordillera Oriental y Central, cuya máxima anchura no sobrepasa los 40 kilómetros.

La gobernación de Cundinamarca (2011) cuenta con un inventario para Girardot, 36 establecimientos escolares oficiales que brindan educación básica primaria y secundaria, como se muestra en la figura 1 y en la tabla I.

Tabla I. Distribución de la infraestructura educativa básica primaria y secundaria en Girardot.

Comunas	Escuelas	%	Densidad poblacional (Hab/Ha)
1	6	16.67	179.83
2	5	13.89	113.07
3	9	25	178.11
4	7	19.44	159.23
5	9	25	255.37
TOTAL	36	100	-

EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo de sismicidad regional del plan para la Mitigación de Riesgos en Girardot (Municipio de Girardot, 2011), la sismicidad de toda la región andina colombiana está determinada por la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Suramérica, entre las cuales se ha desarrollado una especie de microplaca en el área comprendida desde la zona de subducción frente a sus valles vertientes y mesetas hasta el piedemonte de sus tres cordilleras. Los esfuerzos producidos por la fricción entre estas placas constituyen las fuentes sísmicas para la ciudad estando dentro de las más importantes la zona de subducción, la zona de Wadati-Benioff y la de sismicidad intraplaca.

La zona de subducción, con una traza superficial que abarca de 130 a 200 Km en dirección paralela al litoral occidental, es la más importante de las fuentes sísmicas en Colombia, en términos de las magnitudes máximas y recurrencias de sismos grandes, con magnitudes mayores de 8.0 y su sismicidad es superficial (hasta 40 Km de profundidad). La zona de Wadati-Benioff es la continua de la zona de subducción. Su sismicidad es la más profunda de la región (hasta más de 100 Km).

Se concentra en Cundinamarca, con magnitudes que pueden ser de 5.0.

A la denominada sismicidad intraplaca pertenecen fallas como las del sistema romeral y cauca, que pueden causar los sismos más cercanos al municipio de Girardot. Los sismos de Popayán en 1983, Páez en 1994 y el Eje Cafetero en 1997, fueron generados por las fallas intraplaca.

Este cuadro de fuentes de amenazas sísmicas se expresa, en la NRS-10, en términos de definir todo el occidente de Colombia, y en él, Girardot como zona de amenaza sísmica intermedia. Por otro lado, la misma norma promulga la elaboración de una microzonificación que en la ciudad aún está prorrogada.

CALIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Con base en la revisión metodológica realizada, se adopta el procedimiento de asignar mayor o menor importancia, dentro de un índice de 100 puntos, a los siguientes aspectos, que inciden en la respuesta de la estructura ante sismos: el sistema estructural, la calidad de los suelos de la zona, la geometría de la edificación, el número de pisos y el tipo de cubierta. Los puntajes ponderados para cada aspecto se muestran en la tabla II.

A partir de los resultados de esta ponderación se obtiene una calificación del estado de vulnerabilidad estudiada según la tabla III.

Tabla II. Aspectos estructurales a ponderar en la evaluación cualitativa.⁶

PARÁMETROS TESIS	% DE INCIDENCIA
Aspectos estructurales	50
Suelos	15
Aspectos geométricos	15
Cubierta	2
Seguridad y zonas de evacuación	1
Aspectos constructivos y grado de deterioro	10
Entorno y ubicación	1
Edad y número de pisos	2
Cambios de uso y ampliaciones	2
Golpeteo	2
TOTAL	100

Tabla III. Propuesta de calificación del nivel de vulnerabilidad sísmica de edificaciones.⁶

CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Vulnerabilidad alta	$X < 30$
Vulnerabilidad media	$30 < I < 60$
Vulnerabilidad baja	$I > 60$

CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

La fase de trabajo de campo contempló la visita a los 36 centros educativos. La evaluación visual permitió la calificación de los aspectos relevantes en el comportamiento sísmico de las estructuras.

De estas instituciones, 26 cuentan con una estructura de una sola planta y el resto (10) son de dos plantas. Los sistemas estructurales consisten de muros confinados (28) y muros sin confinar (8). Los tipos de cubierta son: teja de asbesto-cemento (30) y teja de lámina (6). En cuanto a la forma, 28 son regulares y 8 son de forma irregular.

Los problemas en las edificaciones asociados al tipo de suelo, comúnmente designados como estables e inestables. En este sentido se diagnosticó, con base a la ubicación de la institución en los mapas de amenazas geológicas y deslizamientos proporcionados por la Alcaldía de Girardot, que 16 de las estructuras se encuentran sobre suelos estable y 20 sobre suelo inestable.

ESTIMACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD

La selección de los parámetros de este procedimiento simplificado se hizo bajo la ponderación de propuesta por Cardona y Hurtado.⁶ Al comparar con los aspectos recopilados en el trabajo de campo se encuentran aspectos que no se consideran en los casos evaluados, tales como:

- El golpeteo sólo se presenta en estructuras adosadas, el cual no es el caso de las estructuras estudiadas, ya que todas se tratan de edificaciones aisladas.
- Los cambios de uso y ampliaciones fueron difíciles de establecer, pero se trataba de estructuras independientes.
- La seguridad y zonas de evacuación son aspectos que más bien hacen parte de la calificación de la vulnerabilidad funcional de la edificación y no de su vulnerabilidad estructural.

- El entorno y ubicación no se consideran porque ya se estableció que las estructuras estudiadas son aisladas.

Por lo anterior se modifican las ponderaciones propuestas en la metodología, como se relaciona en la tabla IV:

Tabla IV. Ponderación modificada para la evaluación cualitativa del conjunto de estructuras evaluado.

PARÁMETROS DE LA METODOLOGÍA	ASPECTOS A EVALUAR EN LA VISITA DE CAMPO	% DE INCIDENCIA ASIGNADO
Aspectos estructurales	Organización del sistema resistente. Resistencia convencional. Diafragma horizontal.	50
Suelos	Posición del edificio y de la cimentación.	25
Aspectos geométricos	Configuración en planta. Configuración en elevación. Distancia máxima entre muros.	15
Cubierta	Tipo de cubierta.	5
Edad y número de pisos	-	5
TOTAL		100

Se utiliza el porcentaje que favorece el buen comportamiento estructural, por ejemplo en el aspecto de configuración geométrica, la regularidad es lo que favorece el buen desempeño por lo que se toma como porcentaje positivo el 77.77% que corresponde a las estructuras regulares. En el aspecto de tipo de cubierta lo que favorece es su bajo peso, por tanto se toma como porcentaje positivo el 16% que corresponde a las estructuras con cubiertas livianas. El resultado arroja una calificación de vulnerabilidad intermedia para la infraestructura analizada, como se evidencia en la tabla V.

Analizando el puntaje obtenido 66.83% con la tabla III, se puede determinar que el nivel de vulnerabilidad sísmica de edificación de las 36 instituciones es bajo.

Para contrastar estos resultados, con la evaluación detallada de dos de las instituciones, seleccionadas por su antigüedad y por su cobertura estudiantil. En la zona sur del municipio se escogió la Institución Educativa Fundadores Ramón Bueno y José Triana y en la zona norte la Policarpa Salavarrieta.

Tabla V. Calificación de la vulnerabilidad del conjunto de estructuras estudiado.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	PUNTAJE PONDERADO	% FAVORABLE OBSERVADO	PUNTUACIÓN
Sistema Estructural	50	77.77	38.89
Suelos	25	44.44	11.11
Aspectos Geométricos	15	77.77	11.66
Cubierta	5	16.70	0.835
Número De Pisos	6	72.22	4.33
TOTAL	100		66.83

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Como punto de referencia para la comprobación de la resistencia sísmica de una estructura existente, se tienen las indicaciones dadas en el capítulo A.10 del actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 “Edificaciones construidas antes de la vigencia de la versión del presente reglamento”. Especial aplicación tienen los aspectos relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad de la edificación con objeto de calificar su comportamiento, más no los aspectos relacionados con temas como modificaciones en planta o en altura de las estructuras, reforzamiento estructural o actualización a la presente norma.

Para el análisis cuantitativo de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de las instituciones educativas seleccionadas, se aplicará el siguiente proceso:

1. Evaluación de vulnerabilidad sísmica según NSR-10.

Para el cálculo de las sollicitaciones sísmicas que deben usarse para la obtención de los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad, la NSR-10 indica que debe seguirse los procesos mencionados en su capítulo A.3 “Requisitos generales de diseño sismo resistente” y A.4 “Método de la fuerza horizontal equivalente.”

2. Metodología usada en los análisis cuantitativos.

Dado que las sedes de las instituciones seleccionadas para análisis detallados las integran varias estructuras, se hace necesario seleccionar

cuales de ellas se encuentran en un nivel de vulnerabilidad tal que ameriten su modelación numérica. Para esto se adoptó el siguiente proceso:

- Evaluación cualitativa de las diferentes estructuras que componen la instalación completa.
- Modelación numérica de la estructura con un nivel de vulnerabilidad preliminar alto o con gran margen de incertidumbre.
- Determinación de índices de sobreesfuerzos y flexibilidad.
- Calificación de la vulnerabilidad de la estructura.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA FUNDADORES

Siguiendo los requisitos de diseño indicados en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR 10, en especial las contenidas en el Título A - Requisitos generales de diseño sismo resistente, el Título B – Cargas y el Título C – Concreto estructural, se tienen los siguientes datos:

- Zona de amenaza sísmica: intermedia
- Coefficiente que representa la aceleración pico efectiva, como % de la gravedad $A_a = 0.20$
- Coefficiente que representa la velocidad pico efectiva, como % de la gravedad $A_v = 0.20$
- Perfil de suelo: D
- Coefficiente de amplificación para períodos cortos: $F_a = 1.4$
- Coefficiente de amplificación para períodos largos: $F_v = 2.0$
- Grupo de uso: III
- Coefficiente de importancia: $I = 1.25$
- Peso total de la estructura: 18728.52 KN

Los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento para el cálculo del sismo de diseño son:

Período corto de la estructura:

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} = 0.48 \frac{0.20 \times 2.0}{0.20 \times 1.4} = 0.686 \quad 0.686 \text{ s}$$

Período largo de la estructura:

$$T_1 = 2.4 \times F_v = 4.800 \text{ s}$$

Período fundamental aproximado de la estructura:

$$T_a = C_t x h^\alpha, \text{ con } C_t = 0.047 \text{ y } \alpha = 0.9 \text{ (tabla A.4.2-1 NSR-10); } h = 6.00 \text{ m (2 niveles de 3.00 m) y } T_a = 0.236 \text{ s}$$

Para el valor calculado de T_a se lee en el espectro elástico de aceleraciones un valor, $S_a = 0.875$ luego el valor del sismo de diseño es:

$$V_s = 0.875 \times 18728.52 \text{ KN}$$

por lo tanto $V_s = 1638.75 \text{ KN}$.

Como resultado de la modelación de la estructura se obtienen los desplazamientos de los centros de masas mostrados en la tabla VI:

Las solicitaciones a nivel de esfuerzos se obtiene de las combinaciones de carga muerta y carga viva más carga de sismo simultáneamente, para la determinación del índice de sobreesfuerzo se promedian los resultados obtenidos a nivel de entrespiso:

Nivel de cubierta:

esfuerzo promedio = 47.81 KN/m² (flexión)

Nivel de entrespiso:

esfuerzo promedio = 55.63 KN/m² (flexión)

El esfuerzo resistente promedio de los elementos estructurales, está generado a partir de la fórmula de la escuadría, afectada por los índices de reducción indicados en la tabla a.10.4-1 de la NSR -10. Considerando las irregularidades de la edificación como un nivel regular de calidad y diseño de la construcción el índice de reducción se establece en 0.8.

Tabla VI. Desplazamientos de centros de masa. I.E. FUNDADORES-Sede Principal.

	U1	U2	U3	R1	R2	R3
	m	m	m	Radianes	Radianes	Radianes
75	0.144936	0.017698	-0.000341	-0.000065	0.001836	-0.008168
75	0.017787	0.157834	-0.001567	-0.002870	0.000049	-0.009918
74	0.110337	0.015138	-0.000315	-0.000525	0.003953	-0.006980
74	0.015168	0.10792	-0.001367	-0.005204	0.000476	-0.008499

El índice de sobreesfuerzo se determina como el cociente entre las solicitaciones resultado de la modelación y el esfuerzo resistente real. Para el caso modelado:

Esfuerzo resistente: 49.88KN/m² (Fórmula de la escuadría)

$$\text{Índice de sobreesfuerzo: } \frac{55.63}{0.8 \times 49.88} = 1.39$$

$$\text{Vulnerabilidad de la estructura: } \frac{1}{1.39} = 0.719$$

Esta información indica que la estructura presenta el 71.9% de la resistencia correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.

El índice de flexibilidad se define como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación. El índice de flexibilidad en sentido de la estructura se define como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura. Para el caso modelado:

$$\text{Deriva sentido X} = 0.144936 \text{ m} - 0.110337 \text{ m} = 0.034456 \text{ m}$$

$$\text{Deriva máxima permitida} = 0.01 \text{ H piso} = 0.01 \times 3.00 \text{ m} = 0.03 \text{ m}$$

Índice de Flexibilidad en Sentido

$$\text{Deriva Sentido Y} = 0.157834 - 0.107920 = 0.04991$$

Índice de flexibilidad en sentido

$$\text{Índice de flexibilidad de la estructura} = 1.6634$$

Vulnerabilidad de la Estructura

Esta información indica que la estructura presenta un 60% de la rigidez correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA POLICARPA SALAVARRIETA

El cálculo del peso total de la estructura arroja un valor de 9521.28 KN. Los parámetros de cálculo de

sismo de diseño y de deriva máxima, corresponden con los utilizados para el análisis de la Institución Educativa Fundadores Ramón Bueno y José Triana, teniéndose un valor $S_a=0.875$; luego el valor del sismo de diseño es $V_s=0.875 \times 9521.28$ KN por lo tanto $V_s=8383.12$ KN

Como resultado de la modelación de la estructura se obtienen los desplazamientos de los centros de masas mostrados en la tabla VII:

Esfuerzo Resistente: 45.40 KN/m² (Formula de la escuadría)

Nivel de Cubierta

Esfuerzo promedio=50.18 KN/m²

Nivel de Entrepiso

Esfuerzo promedio=57,24 KN/m²

$$\text{Índice de Sobreesfuerzo} = 57,24 / (0,8 \times 45.40) = 1.576$$

$$\text{Vulnerabilidad de la Estructura: } 1/1,576 = 0.63$$

La estructura presenta 63% de la resistencia correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.

Siguiendo los pasos para el cálculo del índice de flexibilidad se obtiene:

$$\text{Deriva Sentido X} = 0,05175 \text{ m}$$

$$\text{Índice de Flexibilidad en Sentido X} = 1,725$$

$$\text{Deriva Sentido Y} = 0.04762$$

$$\text{Índice de Flexibilidad en Sentido Y} = 1.5875$$

$$\text{Índice de Flexibilidad de la Estructura: } 1.725$$

$$\text{Vulnerabilidad de la Estructura: } 1/1,725 = 0.579$$

Aquí, la estructura presenta un 57.9% de la rigidez correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.

Los resultados de este análisis se resumen en la tabla VIII.

Tabla VII. Desplazamientos de centros de masa. I.E. POLICARPA SALAVARRIETA - Sede Principal.

	U1	U2	U3	R1	R2	R3
	m	m	m	Radianes	Radianes	Radianes
113	0.187621	0.012128	-0.012654	-0.026319	-0.002855	-0.000566
113	0.015736	0.141926	-0.074249	-0.034320	0.002573	0.000930
125	0.135873	0.050277	-0.008805	-0.015887	-0.001143	-0.001426
125	0.016020	0.094302	-0.043545	-0.018876	0.000352	-0.000033

Tabla VIII. Análisis General de la Vulnerabilidad Sísmica Estructural

EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFRAESTRUCTURA	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	
	I. E. FUNDADORES - Sede Principal	
	RESISTENCIA	RIGIDEZ
Análisis de Vulnerabilidad 66.83%	La estructura presenta el 71.9% de la resistencia correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.	La estructura presenta un 60% de la rigidez correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.
Según la tabla III, se puede determinar que el nivel de vulnerabilidad sísmica de edificación de las 36 escuelas determinadas para el estudio es bajo.	I. E. POLICARPA SALAVARRIETA - Sede Principal	
	RESISTENCIA	RIGIDEZ
	La estructura presenta 63% de la resistencia correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.	La estructura presenta un 57.9% de la rigidez correspondiente a los requisitos de una estructura nueva.
ANÁLISIS GENERAL DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA		
<p>De acuerdo a la evaluación cualitativa de la infraestructura, es evidente que la vulnerabilidad sísmica de las 36 instituciones educativas utilizadas en este estudio es bajo, lo que indica que tiene poca susceptibilidad de daño estructural o colapso. Se espera un escenario de daños menores que llegarían a imposibilitar su uso en condiciones seguras.</p> <p>Es incuestionable que la resistencia estructural promedio de las instituciones educativas escogidas para el análisis detallado es de 67.45% lo que indica que su comportamiento ante cargas verticales y uso normal, están dentro de los parámetros aceptables; con respecto a su comportamiento o desempeño frente a la fuerzas horizontales inducidas por el sismo (Según la norma actual), las rigidez promedio 58.95% indica una respuesta probablemente negativa de las estructuras.</p>		

CONCLUSIONES

Si bien desde el punto de vista cualitativo la estructura de las instituciones presenta una vulnerabilidad baja, estos resultados pueden estar generados porque en su totalidad se tratan de edificaciones de baja altura, sin masas de entrepiso que se aceleren, lo que lleva a otorgar calificaciones de buen comportamiento.

La anterior calificación contrasta con la evaluación de las estructuras seleccionadas, la cual arrojó que muchas de ellas a pesar de ser de un solo nivel tienen grandes fallas, llegando a sugerir la inviabilidad de su rehabilitación.

Una extrapolación de los resultados de la evaluación a todo el conjunto sugiere un nivel de vulnerabilidad diferente. Por lo anterior la evaluación cualitativa se le debe otorgar un margen de error y considerar su calificación con tendencia a un nivel intermedio de vulnerabilidad.

Las modelaciones numéricas de las estructuras seleccionadas muestran correspondencia con el nivel de resistencia, en comparación con una estructura nueva en cuanto a resistencia por cargas verticales y se alejan de los requisitos de flexibilidad ante cargas horizontales (sismo), influenciadas tal vez

por los cambios en los requisitos de simoresistencia realizados en las distintas versiones de la normalidad. Por ejemplo la modelación del sismo de diseño varió drásticamente pasándose de modelar en promedio aceleraciones de 40% de la gravedad en la norma 84 hasta 87.5% de aceleración de la gravedad como es el caso de las estructuras modeladas. El valor de los índices de sobreesfuerzos y flexibilidad hace viable la opción de actualización de las estructuras a la norma NSR-10, ya que están cerca del límite de 1.5.

En este sentido, este estudio resalta la necesidad de implementar un programa de rehabilitación de las estructuras de los centros educativos en este sector, con el fin de evitar un escenario de lesiones físicas humanas y/o inhabilitación de uso de las estructuras. De igual forma, prepondera la importancia de continuar realizando este tipo de investigaciones y/o estudios en los diferentes escenarios de los municipios aledaños, con el objetivo de generar alertas y planes de mejora para el bienestar de las diferentes comunidades que hacen uso de los mismos.

REFERENCIAS

1. D. Chavarría y D. Gómez, Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2

- pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono Cañaveralejo. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Cali: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, 2001.
2. C. Palomino, Metodologías para Estudios de Vulnerabilidad Sísmica Estructural de Edificaciones Existentes, Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1999.
 3. E. Maldonado, I. Gómez y G. Chio, Funciones de Vulnerabilidad y Matrices de Probabilidad de Daño Sísmico para Edificaciones de Mampostería Utilizando Técnicas de Simulación, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
 4. S. Moreno, Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de Hormigón Armado. Tesis de Maestría, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2011.
 5. J. Velásquez y M. Blondet, Estimación de Pérdidas Sísmicas Mediante Curvas de Fragilidad Analíticas, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005.
 6. O. Cardona y J. Hurtado, Propuesta Metodológica para los Análisis de Vulnerabilidad, Bogotá: Proyecto UNDRO/ACDI/ONAD, 1990.



Ingenierías
en línea

 A TEXTO COMPLETO
DESDE EL NÚMERO 1

CONSULTA EN:
<http://ingenierias.uanl.mx>