

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ESCUELAS PÚBLICAS DE CALI: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA.



SANTIAGO DE CALI, 2003.

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ESCUELAS
PÚBLICAS DE CALI: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA.**

**LINA FERNANDA LLANOS LÓPEZ
LINA MARÍA VIDAL GÓMEZ**

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
SANTIAGO DE CALI

2003

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ESCUELAS
PÚBLICAS DE CALI: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA.**

**LINA FERNANDA LLANOS LÓPEZ
LINA MARÍA VIDAL GÓMEZ**

**TESIS DE GRADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERAS CIVILES**

**DIRECTOR
Prof. ANDRÉS VELÁSQUEZ.
Escuela de Ingeniería Civil y Geomática – OSSO.**

**ASESOR
Prof. GILBERTO AREIZA.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
SANTIAGO DE CALI**

2003

TABLA DE CONTENIDO.

0..RESUMEN.....	1
1. EL PROBLEMA.	3
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. DESCRIPCIÓN.....	4
1.3. ANTECEDENTES.....	6
1.3.1 Antecedentes de estudios de vulnerabilidad sísmica en el mundo.....	6
1.3.2 Antecedentes de estudios de vulnerabilidad de edificaciones escolares.	8
1.4. JUSTIFICACIÓN.	11
1.4.1. Importancia de los estudios de vulnerabilidad sísmica.....	11
1.4.2. Importancia de las edificaciones de las escuelas públicas.	12
1.4.3. Algunas evidencias de la gravedad del problema.	12
1.4.4. Conclusión.....	13
1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.6. OBJETIVOS.....	14
1.6.1. Objetivo general.....	14
1.6.2. Objetivos específicos.....	14
1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES.	15
1.7.1. Alcances.....	15
1.7.2. Limitaciones.	15
2. LAS ESCUELAS PÚBLICAS DE CALI.....	17
2.1. LOCALIZACIÓN.....	17
2.2. EVOLUCIÓN DE LAS ESCUELAS DENTRO DEL DESARROLLO URBANO DE CALI.....	18
2.3. MARCO HISTÓRICO - INSTITUCIONAL DE LAS CONSTRUCCIONES ESCOLARES.....	21

2.3.1. Ministerio de Educación Nacional.	21
2.3.2. SCECA – Período 1958 a 1962.....	22
2.3.3. OAPEC – Período 1962 a 1968.	23
2.3.4. ICCE – Período 1968 a 1989.	23
2.4. SANTIAGO DE CALI COMO ESCENARIO ACTUAL DE LAS ESCUELAS.....	24
2.4.1. División Político Administrativa.....	24
2.4.2. Topografía e hidrografía.....	24
2.4.3. Geomorfología y suelos.....	25
2.4.4. Fuentes regionales de amenaza sísmica.....	26
2.4.5. Cobertura en educación básica primaria oficial.....	27
2.5. CONTEXTO SOCIAL CONTEMPORÁNEO DE LAS ESCUELAS.....	29
3. MARCO TEÓRICO.....	34
3.1. CONCEPTOS GENERALES.....	34
3.1.1. Desastre.....	34
3.1.2. Amenaza sísmica.	35
3.1.3. Magnitud de un sismo.....	35
3.1.4. Intensidad de un sismo.....	36
3.1.5. Efectos locales.....	36
3.1.6. Amenazas colaterales o efectos de segundo orden.....	37
3.1.7. Vulnerabilidad sísmica.....	38
3.1.8. Riesgo sísmico.....	39
3.2. MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES.....	40
3.2.1. Métodos analíticos.....	41
3.2.2. Métodos cualitativos.....	43
3.3. MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR VELOCIDADES Y ACELERACIONES EN EDIFICIOS.....	48
3.3.1. Descripción.....	48
3.3.2. Aplicabilidad.....	49

3.4. MUESTREO ESTADÍSTICO.....	49
3.4.1. Población, censo y muestra.	50
3.4.2. Tamaño de la muestra.....	51
3.4.3. Métodos de muestreo.....	52
4. METODOLOGÍA.....	55
4.1. MUESTREO DE ESCUELAS.	55
4.1.1. Criterios para la selección de la población estudiada.....	55
4.1.2. Selección de escuelas de la población estudiada.	57
4.1.3. Diseño de la encuesta para la evaluación preliminar.	58
4.1.4. Análisis de la información recolectada en las visitas preliminares.....	61
4.1.5. Selección de la muestra específica.....	69
4.2. EVALUACIÓN DETALLADA DE LA MUESTRA ESPECÍFICA.	73
4.2.1. Métodos analíticos y sus desventajas.....	73
4.2.2. Aplicabilidad y parámetros propuestos por los métodos cualitativos.....	75
4.2.3. Definición de los parámetros de evaluación.	80
4.2.4. Diseño de los formularios de evaluación detallada.....	90
4.2.5. Estimación del grado de vulnerabilidad en la muestra específica.....	91
4.2.6. Estimación del grado de vulnerabilidad en la población estudiada.	98
4.2.7. Estimación de daños y pérdidas económicas.	103
4.2.8. Estimación de las posibles pérdidas de vidas humanas.	108
4.3. SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA.	109
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	111
5.1. INFORMACIÓN RECOPIADA EN LA EVALUACIÓN DETALLADA.	111
5.1.1. Parámetros evaluados en el Formulario 1.	111
5.1.2. Parámetros evaluados en el Formulario 2.....	113
5.1.3. Parámetros evaluados en el Formulario 3.....	116
5.1.4. Parámetros evaluados en el Formulario 4.....	117

5.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN METODOLÓGICA.	119
5.2.1. Resultados de la evaluación detallada en la muestra específica.....	119
5.2.2. Resultados de la evaluación simplificada en la población estudiada.....	121
5.2.3. Análisis comparativo entre los procedimientos detallado y simplificado....	123
5.2.4. Análisis del procedimiento simplificado con respecto a los daños observados en edificaciones escolares de la región.....	125
5.2.5. Análisis de sensibilidad de los porcentajes de incidencia del procedimiento simplificado.	129
5.2.6. Propuesta de mejoramiento del procedimiento simplificado.....	131
5.3. ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD EN LA POBLACIÓN ESTUDIADA	134
5.3.1. Vulnerabilidad de las escuelas de la población estudiada.....	134
5.3.2. Vulnerabilidad por aspectos estructurales.....	135
5.3.3. Vulnerabilidad por características de los suelos.....	136
5.3.4. Vulnerabilidad por aspectos geométricos.....	138
5.3.5. Vulnerabilidad por año de construcción.....	139
5.3.6. Vulnerabilidad por número de pisos.....	140
5.3.7. Vulnerabilidad por tipo de cubierta.....	141
5.4. ANÁLISIS DE INFLUENCIA DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO Y LA EDAD EN EL GRADO DE VULNERABILIDAD.	143
5.5. ESTIMACIÓN DE DAÑOS, PÉRDIDAS ECONÓMICAS Y DE VIDAS HUMANAS.	148
5.5.1. Edificaciones de mampostería.....	148
5.5.2. Edificaciones con pórtico en concreto.....	154
5.5.3. Pérdidas totales.....	154
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	157
6.1. CONCLUSIONES SOBRE LA SITUACIÓN DE LAS ESCUELAS.	157
6.1.1. Entorno y ubicación.....	158
6.1.2. Suelos.....	158
6.1.3. Seguridad y zonas de evacuación.....	160

6.1.4. Edad y número de pisos.....	160
6.1.5. Cambios de uso y ampliaciones.....	162
6.1.6. Golpeteo.....	162
6.1.7. Tipo de cubierta.	163
6.1.8. Aspectos geométricos.	163
6.1.9. Aspectos constructivos.....	164
6.1.10. Aspectos estructurales.	165
6.1.11. Pérdidas económicas y de vidas humanas.....	166
6.2. CONCLUSIONES METODOLÓGICAS.	167
6.3. RECOMENDACIONES.....	168
7. BIBLIOGRAFÍA.	170
8. ANEXOS.....	179

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Localización del universo de estudio.....	17
Figura 2. Número de escuelas públicas por comunas.	28
Figura 3. Escuelas públicas de la población estudiada.....	58
Figura 4. Encuesta de evaluación preliminar.	60
Figura 5. Histograma de años de construcción de las escuelas visitadas.....	63
Figura 6. Escuelas de la muestra específica.....	72
Figura 7. Curva para obtener el valor del coeficiente sísmico exigido para $A_a=0.25g$	106
Figura 8. Síntesis de la metodología.....	110
Figura 9. Distribución porcentual del grado de vulnerabilidad por escuelas y por edificaciones independientes.	121
Figura 10. Fotos de escuelas del Quindío afectadas por el sismo del 25 de Enero de 1999 en el Eje Cafetero.....	127
Figura 11. Formulario mejorado de evaluación simplificada.	132
Figura 12. Propuesta alternativa para estimar el grado de vulnerabilidad total.	133
Figura 13. Distribución espacial del grado de vulnerabilidad en la población estudiada.....	134
Figura 14. Distribución porcentual del grado de vulnerabilidad en la población estudiada.	135
Figura 15. Distribución porcentual del grado de vulnerabilidad por aspectos estructurales.....	135
Figura 16. Distribución espacial del grado de vulnerabilidad por aspectos estructurales.....	136

Figura 17. Distribución del grado de vulnerabilidad por comportamiento de los suelos.	137
Figura 18. Distribución espacial de la vulnerabilidad por comportamiento de los suelos.	137
Figura 19. Distribución espacial del grado de vulnerabilidad por aspectos geométricos.....	138
Figura 20. Distribución del grado de vulnerabilidad por aspectos geométricos....	139
Figura 21. Distribución espacial del grado de vulnerabilidad por edades.	139
Figura 22. Distribución porcentual del grado de vulnerabilidad por edades.....	140
Figura 23. Distribución del grado de vulnerabilidad por número de pisos.....	140
Figura 24. Distribución espacial del grado de vulnerabilidad por número de pisos.	141
Figura 25. Distribución del grado de vulnerabilidad por tipo de cubierta.....	142
Figura 26. Distribución espacial del grado de vulnerabilidad por tipo de cubierta.	142
Figura 27. Distribución porcentual del estado de daños por bloques y escuelas.....	153

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Cobertura en educación básica primaria oficial en las comunas de Cali.	29
Tabla 2. Distribución de las escuelas visitadas de acuerdo con el número de edificaciones.	61
Tabla 3. Distribución de las escuelas visitadas de acuerdo con el número de pisos.	62
Tabla 4. Distribución por décadas de los años de construcción de las escuelas públicas visitadas.	63
Tabla 5. Distribución por décadas de los años de construcción de las escuelas en relación con las tipologías estructurales.	66
Tabla 6. Distribución de las escuelas visitadas de acuerdo con el tipo de cubierta.	67
Tabla 7. Distribución de las escuelas visitadas de acuerdo con los elementos que presentan posibles fallas.	67
Tabla 8. Distribución de las escuelas de acuerdo con los problemas asociados al comportamiento del suelo.	68
Tabla 9. Problemas generales observados en las edificaciones escolares.	68
Tabla 10. Muestra específica para evaluación detallada.	71
Tabla 11. Desarrollo del parámetro de evaluación del Entorno y ubicación.	82
Tabla 12. Desarrollo del parámetro de evaluación de los Suelos.	83
Tabla 13. Desarrollo del parámetro de evaluación de Seguridad y zonas de evacuación.	83
Tabla 14. Desarrollo de los parámetros de evaluación de Edad y Número de pisos.	84

Tabla 15. Desarrollo del parámetro de evaluación de Cambios de uso y ampliaciones.	85
Tabla 16. Desarrollo del parámetro de evaluación de Golpeteo.....	86
Tabla 17. Desarrollo del parámetro de evaluación de las Cubiertas.	86
Tabla 18. Desarrollo del parámetro de evaluación de Aspectos geométricos.	87
Tabla 19. Desarrollo del parámetro de evaluación de Aspectos constructivos y grado de deterioro.....	88
Tabla 20. Desarrollo del parámetro de evaluación estructural para pórticos.	88
Tabla 21. Desarrollo del parámetro de evaluación de elementos no estructurales para pórticos en concreto.	89
Tabla 22. Preguntas complementarias para la evaluación estructural de las edificaciones con muros confinados.	90
Tabla 23. Pesos originales y modificados para cada parámetro del método del índice de vulnerabilidad.	93
Tabla 24. Equivalencia de los parámetros del método del índice de vulnerabilidad con los planteados en este estudio.	95
Tabla 25. Rangos de vulnerabilidad, calificaciones y porcentajes de incidencia. ..	97
Tabla 26. Intervalos normalizados de acuerdo al grado de vulnerabilidad.....	97
Tabla 27. Parámetros de evaluación y porcentaje de incidencia.....	99
Tabla 28. Calificaciones asignadas a las edificaciones con muros confinados. ...	100
Tabla 29. Calificaciones asignadas al parámetro de evaluación de los Suelos....	101
Tabla 30. Calificaciones asignadas a los Aspectos geométricos.	102
Tabla 31. Relación entre la categoría de daños y la demanda de ductilidad.	105
Tabla 32. Factor de reducción de la cortante resistente en relación con el grado de vulnerabilidad.....	106
Tabla 33. Categoría de daños y porcentaje de la edificación afectada.....	107
Tabla 34. Costo de construcción por metro cuadrado, uso y estrato socioeconómico.	107
Tabla 35. Costo por metro cuadrado de muro en ladrillo tolete común de 10 cm de espesor.	109
Tabla 36. Porcentajes de posibles pérdidas de vidas humanas.....	109

Tabla 37. Grados de vulnerabilidad de las escuelas de la muestra específica obtenidos con el procedimiento de evaluación detallado.	120
Tabla 38. Grado de vulnerabilidad de las escuelas restantes de la población estudiada.	122
Tabla 39. Grados de vulnerabilidad de las escuelas de la muestra específica.	123
Tabla 40. Comparación entre grados de vulnerabilidad de la muestra específica y las demás de la población estudiada.	124
Tabla 41. Análisis de sensibilidad de los porcentajes de incidencia.	130
Tabla 42. Distribución de las escuelas emplazadas sobre conos aluviales de acuerdo con el grado de vulnerabilidad.	143
Tabla 43. Cálculo de la demanda de ductilidad de los bloques de las escuelas de la muestra específica.	150
Tabla 44. Cálculo de las pérdidas económicas y de vidas humanas.	152
Tabla 45. Pérdidas económicas en edificaciones con pórtico en concreto.	154
Tabla 46. Pérdidas económicas en edificaciones con muros confinados y sin confinar.	156

LISTADO DE ANEXOS.

ANEXO 1. Listado de las escuelas de la población estudiada.

ANEXO 2. Listado de las escuelas públicas de Cali en mayor riesgo, de acuerdo con el reporte de la Secretaría de Educación Municipal.

ANEXO 3. Información recolectada en las visitas preliminares.

ANEXO 4. Formularios de evaluación detallada.

ANEXO 5. Calificaciones de los parámetros evaluados para definir los rangos de vulnerabilidad.

ANEXO 6. Evaluación del grado de vulnerabilidad de las escuelas de la muestra específica.

ANEXO 7. Cálculo del grado de vulnerabilidad de las escuelas públicas de la muestra específica.

ANEXO 8. Cálculo del peso de las edificaciones de las escuelas de la muestra específica.

ANEXO 9. Análisis particular de las escuelas de la muestra específica.